

INFLUÊNCIA DA COMINUIÇÃO DA FRAÇÃO CERÂMICA DOS RESIDUOS DE
CONSTRUCÃO E DEMOLICÃO NA SUA ATIVIDADE POZOLÂNICA E NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E DURABILIDADE DE ARGAMASSAS
DE CIMENTO

Luciane Farias Ribas

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientadores: Romildo Dias Toledo Filho

Luís Marcelo Marques Tavares

Rio de Janeiro

Junho de 2014

INFLUÊNCIA DA COMINUIÇÃO DA FRAÇÃO CERÂMICA DOS RESIDUOS DE
CONSTRUCAO E DEMOLICAO NA SUA ATIVIDADE POZOLÂNICA E NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E DURABILIDADE DE ARGAMASSAS
DE CIMENTO

Luciane Farias Ribas

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Romildo Dias Toledo Filho, D. Sc.

Prof. Luís Marcelo Marques Tavares, Ph.D.

Prof. Eduardo de Moraes Rego Fairbain, Dr. Ing.

Prof. Guilherme Chagas Cordeiro, D.Sc.

Prof. Jo Dweck, D.Sc.

Prof. Jardel Pereira Gonçalves, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ -BRASIL

JUNHO DE 2014

Ribas, Luciane Farias

Influência da cominuição da fração cerâmica dos Resíduos de construção e demolição na sua atividade pozolânica e nas propriedades físicas, mecânicas e durabilidade de argamassas de cimento/ Luciane Farias Ribas. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XXI, 368 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Romildo Dias Toledo Filho

Luís Marcelo Marques Tavares

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 354-368.

1. RCD. 2. Adições Minerais. 3. Cominuição.
I. Toledo Filho, Romildo Dias, *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III Título

*Ao mais novo amor da minha vida ...
Minha amada filha Luísa.*

AGRADECIMENTOS

Realizei o sonho de fazer um doutorado em uma das maiores universidades do País. Eu tive ainda uma oportunidade ímpar de crescimento pessoal e profissional. Por isso tenho que agradecer a muitas pessoas que passaram por essa experiência comigo.

Agradeço, primeiramente, a Deus pela oportunidade de crescimento pessoal que o doutorado me proporcionou.

A minha mãe, Luzanira Farias Ribas, pelo apoio emocional e financeiro aos meus estudos os quais escolhi como opção profissional. Por ter cuidado da minha filha, desde o seu nascimento até aos seus dois anos de idade, enquanto eu realizava a fase experimental da minha tese. Aos meus irmãos Lillian Luiza e André pelo amor e incentivo à minha escolha. Ao meu marido Gilson Castro Afonso pela parceria e dedicação durante o doutorado. A minha sogra, Maria de Lourdes Castro Afonso, que a poucos dias da minha defesa, cuidou da minha filha enquanto eu finalizava a tese.

Aos meus professores da UFAM: DSc. Raimundo Kennedy Vieira e DSc. Raimundo Pereira de Vasconcelos por viabilizarem a minha participação no programa Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD).

Ao PROCAD por ter promovido essa parceria com uma das melhores universidades do Brasil, dando a oportunidade a estudantes de outros estados.

Aos meus orientadores no doutorado os professores: DSc. Romildo Dias Toledo Filho e PhD. Luís Marcelo Marques Tavares por terem acreditado em mim para o desenvolvimento da tese e pela dedicação a promoverem o meu crescimento como pesquisadora. Aprendi muito com vocês, muito obrigada.

Às fomentadoras dos meus estudos CAPES e FAPESAM.

Aos funcionários do LABEST Sandra, Luzidele, Paulinho, Renan, Clodoaldo, Rosângela, Flavio, Júlio, Alessandro, Eduardo, Rodrigo, Márcio, Adailton, Josimar (Jo), Luci, Maria de Lourde (Skol), Hidekel e Hugo. Os quais sempre estiveram à disposição para ajudar. Especialmente a Sandra e Luzidele pelo apoio nas “horas de sufoco”. Ao meu querido amigo e parceiro Renan.

Aos colaboradores e amigos do PEC: Prof.º DSc. Guilherme, Prof.º DSc. Silvos, Prof.ª DSc. Reila, Prof.ª DSc. Vivian, Prof.ª DSc. Ana Catarina e Prof.ª DSc. Janine pelas dúvidas respondidas com especial atenção a mim.

Aos companheiros de doutorado: Carlos Rossegali, Adicleides, Étore, Maria Rita, Mônica, Edisley, Marcos, Alex, Ederli, Cintia Fontes, Ana Cristina Vilaça, Shirley, Margareth Magalhães, Eliane, Paulo, Ana Paula, André, Márcia, Adriana, Maria Enertina, Andrielli, Rosana, Thiago, Fabrício, Saulo, Dimas, Lourdes, Carlos Seruti, Eduardo Javier, Iolanda, Flávia, Natasha e todos os que passaram pelo Labest e deixaram saudades.

Especial agradecimento a João e Reila pela recepção amigável nos primeiros dias no Rio de Janeiro.

A querida amiga Jaqueline Feitoza pela acolhida no Rio de Janeiro, pela moradia e amizade.

Aos meus amigos conterrâneos: Samantha e Otavio, pela amizade e ajuda de todas as horas.

Aos queridos amigos: Gorett e Prof.º Vasconcelos, pela ajuda nos momentos difíceis e pela ajuda financeira, muito obrigada.

Aos funcionários do LTM (Laboratório de Tecnologia Mineral) Rangler, Alessandro (Ted), Sr. Luis e os estagiários que passaram por lá durante o meu doutorado.

A minha amiga e companheira de ensaios de altas horas Yemcy Flores.

Ao Prof. Reinner, à Jaqueline e ao Josimar do CETEM pelas difrações de raios-x realizadas e Fluorescência de RX no setor de Caracterização Tecnológica e Ambiental.

Ao Departamento de "Cemento y Reciclado de Materiales" do "Instituto de Ciências de la Construcción Eduardo Torroja", representado pelo Prof.º Dr. Moisés Frías Rojas, pelas análise de reatividade em cal saturada.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

INFLUÊNCIA DA COMINUIÇÃO DA FRAÇÃO CERÂMICA DOS RESÍDUOS DE
CONSTRUCAO E DEMOLICAO NA SUA ATIVIDADE POZOLÂNICA E NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E DURABILIDADE DE ARGAMASSAS
DE CIMENTO

Luciane Farias Ribas

Junho/2014

Orientadores: Romildo Dias Toledo Filho

Luís Marcelo Marques Tavares.

Programa: Engenharia Civil

O uso dos resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado em concreto ainda é restrito devido a sua heterogeneidade. Mesmo quando pré-classificados por sua coloração em resíduos cinza (oriundos predominantemente de rochas e materiais cimentícios), ou vermelhos (oriundos de materiais cerâmicos) os mesmos ainda apresentam alguma heterogeneidade. Os RCDs cerâmicos tais como fragmentos de tijolo, telha e cerâmica de piso não são efetivamente recomendados para uso como agregado devido a elevada absorção. Assim, devido ao potencial pozolânico que apresentam, os mesmos têm sido propostos como substitutos parciais do cimento. O objetivo deste estudo é avaliar se a cominuição dos diferentes tipos de cerâmica dos RCDs pode resultar numa maior homogeneidade desse tipo de resíduo. Para tanto se determinou as mudanças nas suas propriedades micro-estruturais com a redução do tamanho dos componentes cerâmicos dos RCDs por meio de diferentes técnicas analíticas. A atividade pozolânica de cada tipo de partícula resultante e a sua influência nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas de consistência normal e de máxima compactidade granular seca também foram avaliadas. Foram usados tijolos, telhas e cerâmica de piso moídos em três tamanho de partículas (30, 10 e 1 μm) em dois teores de substituição (10% e 20%) do cimento em argamassas. O estudo demonstrou que na mesma escala de tamanho, o tijolo e a telha apresentaram comportamento similar nas propriedades das argamassas. A cerâmica de piso somente apresentou o mesmo comportamento que o tijolo e a telha com tamanho de partícula de 1 μm . Tais resultados são importantes por demonstrarem que esses resíduos podem ser cominuídos conjuntamente, permitindo o seu uso como adição mineral em concretos.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ROLE OF COMMINUTION OF THE CERAMIC FRACTION OF BUILDING AND
DEMOLITION RESIDUE IN ITS POZOLANIC ACTIVITY, PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF CEMENT MORTARS

Luciane Farias Ribas

June/2014

Advisors: Romildo Dias Toledo Filho

Luis Marcelo Marques Tavares.

Department: Civil Engineering

The use of construction and demolition waste (CDW) as aggregate in concrete is still restricted due to their heterogeneity. Even when presorted by color in gray waste (from predominantly of rocks and cementitious materials), or red (from ceramic materials) the same still feature some heterogeneity. The CDWs such as ceramic fragments of brick, tile and stoneware tiles are not effectively recommended for use as aggregate due to high absorption. Thus, due to the potential pozzolanic that feature, the same have been proposed as partial cement replacement. The aim of this study is to evaluate the ground of the different ceramic types of CDWs can result in a greater homogeneity of this type of waste. For this purpose was determined the changes in their microstructure properties with the downsizing of the ceramic components of CDWs through different analytical techniques. The Pozzolanic activity of each obtained particle type and their influence on physical and mechanical properties of mortars normal consistency and maximum packing dry granular were also evaluated. Were used bricks, tiles and stoneware tiles ground into three particle size (30, 10, and 1 μm) in two replacement levels (10% and 20%) in mortars. The study showed that on the same size scale, brick and tile had similar behavior in the mortar properties. The stoneware tile only showed the same behavior as the brick and tile with particle size of 1 μm . These results are important because they demonstrate that such waste can be ground together, allowing its use as supplementary cementitious materials.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE TABELAS	XVII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIX
CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 RESUMO DOS CAPÍTULOS	3
CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	4
2.2 USO DE AGREGADOS RECICLADOS DE RCD.....	5
2.3 ADITIVOS MINERAIS	8
2.3.1 <i>Mecanismos de hidratação do cimento Portland</i>	8
2.3.2 <i>Adições minerais</i>	10
2.3.2.1 Pozolanas	10
2.3.2.2 Fíleres	10
2.3.3 <i>Efeito das adições minerais em materiais cimentícios</i>	11
2.3.3.1 Propriedades no estado fresco	11
2.3.3.2 Propriedades mecânicas	12
2.3.3.3 Propriedades físicas	12
2.3.3.4 Durabilidade.....	13
2.3.3.4.1 Estrutura de poros.....	14
2.3.4 <i>RCD como adição mineral</i>	17
2.3.4.1 Ativação da reatividade dos materiais cerâmicos.....	18
2.3.4.2 Trabalhabilidade de concretos contendo RCD como adição mineral	20
2.3.4.3 Propriedades mecânicas de concretos contendo RCD como adição mineral.....	22
2.3.4.4 Propriedades físicas de concretos contendo RCD como adição mineral.....	24
2.3.4.5 Durabilidade de concretos contendo RCD como adição mineral	25
2.4 OBTENÇÃO DE PARTÍCULAS ULTRAFINAS.....	28
2.4.1 <i>Tipos de moinho</i>	29
2.4.2 <i>Moinhos de meio agitado</i>	30
2.4.2.1 Moinho atritor.....	33
2.4.3 <i>Resistência de partículas</i>	34
CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS	39

3.1 MATERIAIS	39
3.1.1 Cimento Portland	39
3.1.2 Aditivos minerais	41
3.1.3 Areia	43
3.1.4 Aditivos químicos	44
3.1.5 Água	45
3.2 MÉTODOS	45
3.2.1 Caracterização física	46
3.2.1.1 Ensaio de Moabilidade de Bond	46
3.2.1.2 Microcompressão de partículas	48
3.2.1.3 Microdureza superficial	52
3.2.1.4 Processo de moagem	57
3.2.1.4.1 Britagem primária e secundária dos materiais	59
3.2.1.4.2 Moagem em circuito fechado	60
3.2.1.4.3 Moagem de alta energia	66
3.2.1.5 Análise Granulométrica	77
3.2.1.6 Massa Específica	78
3.2.2 Caracterização química	79
3.2.2.1 Análise Química	79
3.2.2.2 Análise Térmica Termogravimétrica e Diferencial	79
3.2.2.3 Perda ao Fogo	80
3.2.2.4 Índice de Atividade pozolânica	80
3.2.2.5 Método de dissolução em cal saturada	80
3.2.3 Caracterização mineralógica	81
3.2.3.1 Difração de Raios-X	81
3.2.4 Dosagem	82
3.2.4.1 Argamassa de Consistência Normal - ACN	82
3.2.4.2 Obtenção do traço de máxima compacidade	84
3.2.4.2.1 Modelo de empacotamento compressível - mec	85
Simulações no	90
3.2.4.2.2 Programa betonlabPro 3 [®]	90
3.2.4.3 Argamassa de máxima compacidade - TMC	99
3.2.5 Propriedades no Estado fresco	99
3.2.5.1 Consistência	99
3.2.5.2 Teor de ar incorporado	100
3.2.6 Moldagem, Adensamento e Cura dos Corpos de prova	100
3.2.7 Ensaio Mecânicos	102

3.2.7.1 Resistência à Compressão - Rc	102
3.2.7.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral - R _{tcd}	103
3.2.8 <i>Ensaio de Durabilidade</i>	103
3.2.8.1 Penetração Acelerada por Íons Cloreto.....	104
3.2.8.2 Permeabilidade a Gás	106
3.2.8.3 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio	108
3.2.9 <i>Ensaio Físicos</i>	109
3.2.9.1 Absorção de Água por Imersão e por Capilaridade.....	109
3.2.10 <i>Análise Estatística</i>	111
CAPÍTULO 4- APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	113
4.1 COMPORTAMENTO NA MOAGEM	113
4.1.1 <i>Conclusões sobre o comportamento na moagem</i>	124
4.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS ADIÇÕES MINERAIS	126
4.2.1 <i>Conclusões sobre as propriedades físico-químicas das adições minerais</i>	141
4.3 ARGAMASSAS DE CONSISTÊNCIA NORMAL - ACN.....	142
4.3.1 <i>Consistência</i>	142
4.3.2 <i>Propriedades Mecânicas</i>	143
4.3.2.1 Evolução da resistência à compressão com a idade.....	143
4.3.2.2 Comportamento Tensão x Deformação.....	148
4.3.2.3 Módulo de Elasticidade	150
4.3.2.4 Deformação de Pico	152
4.3.2.5 Resistência à tração por compressão diametral	154
4.3.3 <i>Propriedades Físicas</i>	157
4.3.3.1 Absorção total, Índice de vazios e Massa específica.....	157
4.3.3.2 Absortividade.....	161
4.3.4 <i>Durabilidade</i>	164
4.3.4.1 Permeabilidade a gás	164
4.3.4.2 Penetração Acelerada de íons Cloreto	165
4.3.4.3 Estrutura de poros.....	167
4.3.5 <i>Comparação entre os Resultados Teóricos e Experimentais das ACNs</i>	170
4.3.6 <i>Conclusões sobre as propriedades das ACNs</i>	180
4.4 ARGAMASSA DE COMPACIDADE MÁXIMA.....	183
4.4.1 <i>Obtenção do Traço de Maior Compacidade (TMC)</i>	183
4.4.2 <i>Consistência</i>	184
4.4.3 <i>Propriedades Mecânicas</i>	185
4.4.3.1 Comportamento Tensão x Deformação.....	186
4.4.3.2 Módulo de Elasticidade	187

4.4.3.3 Deformação de Pico	188
4.4.3.4 Resistência à tração por compressão diametral	188
4.4.4 <i>Propriedades Físicas</i>	190
4.4.4.1 Absorção Total, índice de vazios e Massa Específica.....	190
4.4.4.2 Absortividade.....	192
4.4.5 <i>Estrutura de poros</i>	194
4.4.6 <i>Comparação entre os Resultados Teóricos e Experimentais das TMCs</i>	195
4.4.7 <i>Conclusões sobre as propriedades das TMCs</i>	199
4.5 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ACN E TMC.....	201
4.5.1 <i>Estudo Comparativo das Argamassas de Referência- CTRL x TMC</i>	201
4.5.2 <i>Estudo Comparativo das Propriedades Mecânicas entre as misturas A20 e TMC20</i>	205
4.5.2.1 Resistência à Compressão	205
4.5.2.2 Módulo de Elasticidade	207
4.5.2.3 Deformação de Pico	208
4.5.2.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral	209
4.5.3 <i>Estudo Comparativo das propriedades Físicas entre as misturas A20 e TMC20</i>	211
4.5.3.1 Absorção total, Índice de Vazios e Massa Específica.....	211
4.5.3.2 Absortividade.....	213
4.5.4 <i>Estrutura de poros</i>	214
4.5.5 <i>Conclusões sobre o estudo comparativo entre as Misturas A20 e TMC20</i>	216
CAPÍTULO 5- CONCLUSÃO	217
ANEXO A – PROCEDIMENTO DE UTILIZAÇÃO DO BETONLABPRO 3[®]	220
APÊNDICE A – ANOVA DAS ACNS.....	235
APÊNDICE B – ANOVA DAS TMCs.....	292
APÊNDICE C – ANOVA ACN VS TMC.....	306
CAPÍTULO 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	354

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Representação esquemática da hipótese que explica o aumento de hidratação do cimento (LAWRENCE <i>et al.</i> , 2003).....	11
Figura 2.2 Curvas típicas de Porosimetria por intrusão de mercúrio.....	17
Figura 2.4 Moinho agitado industrial “Vertimill®” (FONTE: Metsso) (a) e o movimento da polpa e as cargas de moagem no interior da carcaça do moinho agitado Vertimill® (b) (FLORES, 2010).....	32
Figura 2.5 Moinho agitado atritor Szegvari (a) e o mecanismo de funcionamento e as forças exercidas no moinho atritor (b) (FLORES, 2010).....	33
Figura 2.6 Diagrama de tensões de uma particular de clínquer.....	36
Figura 2.7 Curva força –deformação de uma esfera de vidro e de uma partícula de quartzo.....	37
Figura 2.8 Gráfico típico de força-deformação de particular obtido por um “robotic compression test”.....	37
Figura 3.2 Curvas de escoamento em cone Marsh para pastas com diferentes teores de aditivo.....	41
Figura 3.3 (a) Distribuições granulométricas das amostras TJ30, TL30 e C30, (b) das amostras TJ10, TL10 e C10 e (c) das amostras TJ1, TL1 e C1, todas em comparação a CPI-32.....	42
Figura 3.4 Distribuição granulométrica da areia padrão do IPT.....	44
Figura 3.7 (a) Micro Compression Tester MCT-W /SHIMADZU; (b) Local de posicionamento da amostra.....	49
Figura 3.9 (a) Microdurômetro Dynamic Ultra-micro Hardess DUH-211/SHIMADZU; (b) Local de posicionamento da amostra.....	53
Figura 3.11 Procedimento de preparação das amostra para o DUH. (a) Moldagem das pastilhas de resina; (b) desmoldagem; (c) polimento da superfície com amostra; (d) Sentido das ranhuras após sequência de lixamento e (e) superfície acabada após polimento na lixa # 2400.....	56
Figura 3.13 Britador de mandíbula (DENVER, 5”X6”).....	59
Figura 3.14 Britador cônico (DENVER Nº 12), sem o cone de alimentação para mostrar os detalhes da câmara de britagem.....	59
Figura 3.15 Procedimento de quarteamento das amostras: (a) amostras, (b) empilhamento da amostra, (c) quarteamento em quantidades iguais e (d) porção central da pilha utilizada para os ensaios.....	60
Figura 3.16 Moinho em circuito fechados (ver detalhes na Figura 3.16).....	61
Figura 3.17 Detalhes do moinho em circuito fechado. Detalhes (A) Alimentador, (B) Material saindo alimentador entrando no moinho, (C) Material saindo do moinho entrando no classificador, (D) Separação do material fino, (E) Separação do material grosso para o transportador, (F) Retorno do material grosso para o moinho.....	62

Figura 3.18 Distribuição granulométrica dos materiais cerâmicos após moagem a seco em circuito fechado	65
Figura 3.20 (a) Seção transversal do tanque do moinho atritor em funcionamento; (b) ilustração das forças atuantes no interior do moinho (FLORES, 2010)	68
Figura 3.22 (a) Mistura e homogeneização das polpas obtidas ao final de todas as moagens de cada material; (b) Determinação do volume da polpa utilizando quantidade de água equivalente; (c) Medição da profundidade da polpa no tambor; (d) Quantidade de água com a mesma profundidade da polpa determinada e (e) Medição da quantidade de água equivalente ao volume da polpa com auxílio de proveta graduada de 2000ml.....	71
Figura 3.23 (a) Divisor Rotativo de polpa EP-012 Série 2560; (b) Funil com a polpa sendo homogeneizada por uma agitador de hélice; (c) saída do funil com válvula aberta despejando a polpa nas canecas em movimento; (d) retirada das canecas e esvaziamento das mesma em sacos para armazenar as polpas e (e) sacos com a polpa para armazenamento	74
Figura 3.25 Granulometro a laser Malvern Mastersizer.....	78
Figura 3.26 (a) SQT 600 e (b) Porta amostra com o cadinho de platina	79
Figura 3.28 Cone de Marsh e proveta utilizados no ensaio de compatibilidade.....	92
Figura 3.29 Ensaio de demanda d'água com a mostra TJ30: (a) Fase seca; (b) Fase pendular; (c) Fase funicular; (d) Formação dos gomos e (e) Fase capilar.....	94
Figura 3.31 (a) As frações da areia do IPT utilizadas no ensaio; (b) Mesa vibratória com o aparato do ensaio montado; (c) Cilindro com o pistão fixados da mesa vibratória; (d) preenchimento do cilindro com areia; (e) Pistão sem material; (f) Leitor de nível posicionado na direção do cilindro em cima da mesa vibratória e (g) material compactado após o ensaio	97
Figura 3.32 Espalhamento da argamassa CTRL obtido na mesas de consistência padrão.....	100
Figura 3.33 (a) Moldes sobre a mesa vibratória prontos para preenchimento; (b) Moldes preenchidos com a primeira camada; (c) primeira camada após vibração; (d) Moldes preenchidos com a segunda camada; (e) Moldes após a vibração da segunda camada; (f) Moldes armazenados cobertos com manta e (g) Corpos de prova imersos em água com cal	101
Figura 3.34 (a) Prensa AGX 100KN da Shimadzu; (b) Medição do diâmetro dos corpos de prova e (c) Posicionamento dos LVDTs.....	102
Figura 3.35 (a) Corpos de prova de 50 x100mm cortados em discos de 25mm; (b) Setup do ensaio de R _{tcd} e (c) Discos após o ensaio.....	103
Figura 3.37 (a) Sistema de alimentação e medição do gás que passa pela amostra no interior do cilindro; (b) Amostra com a lateral selada esfriando no dessecador; (c) Anel de borracha curando no molde; (d) manômetro acoplado ao cilindro indicando a pressão aplicada; (e) Conector que liga a tubulação de gás ao cilindro e (f) pipetas graduadas adaptadas com seringas acopladas preenchidas com água e sabão	108
Figura 3.38 (a) Corpos de prova imersos em água deionizada por 72horas antes da fervura e (b) Aquecimento dos corpos de prova imersos em água deionizada por 5horas.....	110

Figura 3.39 Corpos de prova de 50 x 100 mm envolvidos por fita colante de alumínio deixando 5 mm descoberto na base	110
Figura 3.40 Curva esquemática do ganho de massa do corpo de prova com o tempo (FONTES, 2008)	111
Figura 4.1 Distribuição granulométricas após britagem.....	113
Figura 4.2 Distribuição granulométricas após moagem em circuito fechado	114
Figura 4.4 Granulometria dos materiais cerâmicos com d80 de (a) 10 μ m e (b) 1 μ m.....	116
Figura 4.5 Distribuição das (a) resistências de partículas e das (b) energias de fratura de partículas de TJ, TL e C	118
Figura 4.6 Imagens captadas de vídeo do carregamento de uma partícula tipo “amorfa”.....	119
Figura 4.7 Imagens captadas de vídeo do carregamento de uma partícula tipo cristalina.....	120
Figura 4.8 Distribuição das (a) resistências de partículas e (b) energias de fratura de partículas tipo “amorfos” e “cristalinas”.....	121
Figura 4.9 Distribuição de Weibull das tensões e energias de fratura de partículas de vários materiais e de partículas de TJ, TL e C (RIBAS <i>et al.</i> , 2014).....	122
Figura 4.10 Energia esp. total para cominuir os materiais cerâmicos até os tamanhos de 30, 10 e 1 μ m.....	123
Figura 4.11 Distribuição granulométrica do material retido das adições minerais (a) de 30 μ m, (b) de 10 μ m e (c) de 1 μ m	127
Figura 4.12 (a) Granulometria bem graduada e (b) Granulometria mono tamanho	128
Figura 4.13 Morfologia das partículas das adições minerais produzidas (imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura com detecção por elétrons retro espalhados – aumento de 1.000 vezes).....	129
Figura 4.14 Curvas de TG e DTG das amostras TJ, TL e C.....	130
Figura 4.15 Difratogramas das adições minerais agrupadas por tamanho de partícula com as suas composições.....	134
Figura 4.16 Difratogramas agrupados por tamanho nominal de partícula (a) TJ, (b) TL e (c) C	136
Figura 4.17 Porcentagem teórica de sílica cristalina, amorfa e de outros amorfos	139
Figura 4.18 Cal fixada no tempo pelas cerâmicas estudadas pelo ensaio de dissolução saturada de cal.....	140
Figura 4.19 Curvas de evolução da resistência à compressão com a tempo de cura das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μ m.....	143
Figura 4.21 Curvas da relação Rc28 e CaO(OH) ₂ fixada das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μ m.....	147
Figura 4.23 Módulo de elasticidade das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μ m.....	151

Figura 4.25 R _{tcd} das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm.....	155
Figura 4.26 Absorção total das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm.....	158
Figura 4.27 Índice de vazios das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm.....	159
Figura 4.28 Massa específica das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm.....	161
Figura 4.29 Curvas do ganho acumulativo de massa com o tempo das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm.....	162
Figura 4.31 Penetração acelerada de íons cloretos das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm.....	166
Figura 4.32 Porosimetria por intrusão de mercúrio das ACN com 20% nos tamanho 30 μm (“a” e “b”), 10 μm (“c” e “d”) e 1 μm (“e” e “f”).....	168
Figura 4.33 Curvas de evolução da resistência a compressão da CTRL simulada e experimental.....	172
Figura 4.34 Curvas da evolução da resistência a compressão com tempo das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) no tamanho de 30μm, simulação vs experimental.....	173
Figura 4.35 Módulo de elasticidade teórico e experimental das ACN de 30μm.....	174
Figura 4.36 Curvas de dados da simulação e experimentais da evolução da resistência a compressão com tempo das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) no tamanho de 10 μm.....	175
Figura 4.37 Módulo de elasticidade teórico e experimental das ACN de 10μm.....	176
Figura 4.38 Curvas de dados da simulação e experimentais da evolução da resistência a compressão com tempo das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) no tamanho de 1μm.....	177
Figura 4.39 Módulo de elasticidade teórico e experimental das ACN de 1μm.....	178
Figura 4.40 Gráfico comparativo das compacidades das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) no tamanho de 30, 10 e 1μm.....	179
Figura 4.43 Módulo de elasticidade médio das TMCs.....	187
Figura 4.44 Deformação de pico média das TMCs.....	188
Figura 4.45 R _{tcd} das TMCs.....	189
Figura 4.47 Índice de vazios das TMCs.....	191
Figura 4.48 Massa específica das TMCs.....	192
Figura 4.49 Curvas de ganho acumulativo de massa com o tempo das TMCs.....	193
Figura 4.50 Porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas TMC.....	195
Figura 4.52 Módulo de elasticidade teórico e experimental das TMCs.....	198
Figura 4.53 Gráfico comparativo das compacidades das TMCs.....	199

Figura 4.54 Gráficos comparativos das propriedades físicas e mecânicas das argamassas de referência CTRL e TMC.....	202
Figura 4.55 Porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas de referência CTRL e TMC	204
Figura 4.57 Gráficos comparativos do módulo de elasticidade das argamassas A20 e TMC20	207
Figura 4.58 Gráficos comparativos da deformação de pico das argamassas A20 e TMC20	208
Figura 4.59 Gráficos comparativos da R_{td} das argamassas A20 e TMC20.....	209
Figura 4.60 Gráficos comparativos da compactidade das misturas A20 e TMC20	210
Figura 4.61 Gráficos comparativos da absorção total das argamassas A20 e TMC20	211
Figura 4.62 Gráficos comparativos do índice de vazios das argamassas A20 e TMC20	212
Figura 4.63 Gráficos comparativos da massa específica das argamassas A20 e TMC20.....	213
Figura 4.64 Gráficos comparativos da curva de ganho acumulativo de massa com o tempo das argamassas A20 e TMC20.....	214
Figura 4.65 Porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas A20 e TMC20 de TJ	215

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Requisitos para o uso de agregados reciclados em concreto (Fonte: NBR 15116/2004, pág. 5)	6
Tabela 2.2 Tipos de moinho (WELLEMKAMP, 1999).....	30
Tabela 3.1 Ensaio Físicos e Mecânicos do CPI-32.....	40
Tabela 3.2 Ensaio Químicos do Cimento	40
Fonte: PAIVA, 2009.....	41
Tabela 3.3 Características físicas, químicas e mineralógicas das adições minerais	43
Tabela 3.4 Caracterização física da areia do IPT	44
Tabela 3.5 Características físicas e químicas do superplastificante	45
Tabela 3.6 Parâmetros de alimentação para o ensaio de moabilidade de Bond.....	47
Tabela 3.7 Parâmetros de ensaio para o teste de carregamento e descarregamento	53
Tabela 3.8 Constante k dada por faixa de força de carregamento, para o Load-Unload test	57
Tabela 3.9 Parâmetros adotados para a condição de moagem e cálculo das quantidades de corpos moedores e de material	63
Tabela 3.10 Quantidade de material por peneira para ajuste da granulometria das amostras de 30 μ m.....	66
Tabela 3.11 Parâmetros de moagem a úmido para obtenção das amostras de 10 μ m no moinho atritor	69
Tabela 3.12 Parâmetros para o quarteamento das polpas de 10 μ m	73
Tabela 3.13 Parâmetros calculados da moagem a úmido para obtenção das amostras de 1 μ m	75
Tabela 3.14 Teor de sólidos das polpas de 10 μ m e 1 μ m produzidas.....	76
Tabela 3.15 Indicadores estatísticos utilizados no refinamento através do método de Rietveld para cada amostra	82
Tabela 3.16 Consumo de material em massa por m ³ das argamassas de consistência normal	83
Tabela 3.17 Índice K para diferentes protocolos de empacotamento (DE LARRARD, 1999)	87
Tabela 3.18 Dados de entrada necessários para a formação do banco de dados.....	91
Tabela 3.19 Consumo de material por m ³ de argamassa em massa e volume das argamassas de máxima compactidade	99
Tabela 3.20 Classificação das misturas de acordo com relação entre a passagem de carga e a penetração dos íons cloretos (ASTM C 1202-10, 2010).	106
Tabela 4.1 Índice de trabalho de Bond do TL, TL e C para diâmetro de corte de 45 μ m.	114
Tabela 4.2 Dados de resistência à compressão e dureza de partículas de 45 μ m.....	117
Tabela 4.3 Custo estimado da energia no Brasil em R\$/t para a moagem dos resíduos cerâmicos.	124
Tabela 4.4 Compacidades experimentais do cimento e das adições	126

Tabela 4.5 Porcentagem de perda de massa de água livre e resíduo calcinado a 1000°C.....	131
Tabela 4.6 Requisitos avaliados nos RCDs estudados de acordo com NBR 12653 (ABNT, 2012)	132
Tabela 4.7 Composição mineralógica quantitativa	137
Tabela 4.8 Ganho de massa devido à reação de oxidação do Fe ⁰ nas amostras.....	138
Tabela 4.9 Espalhamento das misturas de consistência normal e teor de superplastificante* ..	142
Tabela 4.10 Resistências a compressão nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias das ACNs	144
Tabela 4.11 ANOVA dos dados de Rc28 das argamassas ACNs.	145
Tabela 4.12 Teste de Tukey dos dados de Rc28 das argamassas ACNs.	145
Tabela 4.13 Módulo de elasticidade médio das ACNs.....	152
Tabela 4.14 R _{tcd} média das ACNs.....	156
Tabela 4.15 Valores médios de Absorção total, Índice de vazio e Massa específica das ACNs	157
Tabela 4.16 Parâmetros de absorvidade das ACNs.....	163
Tabela 4.17 Parâmetros de porosimetria das ACNs.....	169
Tabela 4.18 Resultados teóricos e experimentais das ACNs.....	171
Tabela 4.19 Dados simulados no BetonlabPro 3 das misturas CTRL, MC e TMC com frações de areia do IPT separadas	183
Tabela 4.20 Dados de parâmetros de dosagem e de propriedades físicas e mecânicas das TMCs obtidos pelo BetonlabPro 3.....	184
Tabela 4.21 Espalhamento das TMCs e o teor de superplastificante.....	185
Tabela 4.22 Resistência à compressão média (M) e desvio padrão (dp) das TMCs por idade	186
Tabela 4.23 R _{tcd} média das TMCs.	189
Tabela 4.24 Parâmetros de absorvidade das TMCs.....	193
Tabela 4.25 Parâmetros obtidos das análises de porosimetria por intrusão de mercúrio das TMCs.....	194
Tabela 4.26 Resultados teóricos e experimentais das TMCs	196
Tabela 4.27 Parâmetros de porosimetria por intrusão de mercúrio das referências CTRL e TMC	204

Lista de Símbolos

a/c: relação entre quantidade de água e cimento

ACN: Argamassas de consistência normal

C: Cerâmica de piso

C1: Amostra de cerâmica com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a $1 \mu\text{m}$

C10: Amostra de cerâmica com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a $10 \mu\text{m}$

C30: Amostra de cerâmica com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a $30 \mu\text{m}$

Ca/Si: Relação entre quantidade de cálcio e sílica

CH: Hidróxido de cálcio

C_{NU} : Coeficiente de não uniformidade

C-S-H: Silicato de cálcio hidratado

CTRL: Argamassa de referência das argamassas do tipo ACN

cv: Coeficiente de variação

d_{10} : Diâmetro correspondente a 10% das partículas da distribuição granulométrica

d_{50} : Diâmetro correspondente a 50% das partículas da distribuição granulométrica

d_{60} : Diâmetro correspondente a 60% das partículas da distribuição granulométrica

d_{80} : Diâmetro correspondente a 80% das partículas da distribuição granulométrica

dcr, dc: diâmetro crítico

dp: desvio padrão

dl: Diâmetro limite

DTA: Análise térmica diferencial

DTG: Derivada da curva de termogravimetria

E: Módulo de elasticidade

fc1: Resistência a compressão na idade de 1 dia

fc28: resistência à compressão na idade de 28 dias

fc3: Resistência à compressão na idade de 3 dias

fc7: Resistência a compressão na idade de 7 dias

G.L.: Grau de liberdade

H: Hidrogênio

HR: umidade relativa do ar

IAP: Índice de atividade pozolânica

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry

M: Média

M.Q.: Média quadrática

MIP: mercury intrusion porosimetry

Rc: Resistência a compressão

Rc28: Resistência a compressão na idade de 28 dias

RCD: Resíduos de Construção e Demolição

Rtcd: Resistência à tração por compressão diametral

S.Q.: Soma quadrática

Si/Ca: Relação entre quantidade de sílica e cálcio

TG: Termogravimetria

TJ: Tijolo

TJ1: Amostra de tijolo com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a 1 μm

TJ10: Amostra de tijolo com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a 10 μm

TJ30: Amostra de tijolo com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a 30 μm

TL: Telha

TL1: Amostra de telha com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a 1 μm

TL10: Amostra de telha com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a 10 μm

TL30: Amostra de telha com distribuição granulométrica cujo d_{80} é inferior a 30 μm

TMC: Traço das argamassas de máxima compactidade

ϕ : Compactidade experimental

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

Os RCD (Resíduos de Construção e Demolição) são muito pesquisados como agregados miúdos e graúdos para concretos. Esse é um material que, por princípio, é heterogêneo. Assim, tem sido muito avaliada a influência de seus componentes de forma separada, dada a diferença do desempenho como agregado desses diferentes componentes. Desconsiderando a contaminação por componentes nocivos ao concreto devido a deposição inadequada, a composição básica do RCD é de resíduos de tijolos, argamassas, fragmentos de concreto, cerâmica de piso e telha. Esses materiais possuem diferentes propriedades, que incluem a absorção, a massa específica, a resistência, à abrasão, bem como a forma e textura das partículas. Essas várias características influenciam diretamente na dosagem e na resistência a compressão dos concretos.

Em geral, os agregados de RCD têm uma quantidade de material abaixo de $75\mu\text{m}$ maior que os agregados convencionais. Partículas com tamanhos inferiores a $75\mu\text{m}$ em quantidades elevadas nos agregados de RCD são indesejáveis porque podem resultar na perda de trabalhabilidade de concretos e argamassas e, conseqüentemente, afetar as demais propriedades desses materiais. Porém, por outro lado, há uma probabilidade dessas partículas finas apresentarem alguma reatividade devido à presença de partículas de materiais cerâmicos calcinados e de grãos de cimento não hidratados. Portanto, o aproveitamento dessa fração torna-se potencialmente vantajoso para uso como adição mineral.

Vários estudos já comprovaram o efeito pozolânico de alguns componentes individuais dos RCDs tais como o tijolo e telha e cerâmica de piso. Caso pudesse ser demonstrado que a redução sistemática de tamanho de partículas permitiria homogeneizar as propriedades desses diferentes tipos de componentes do RCD, uma das principais limitações do RCD cerâmico, que é a sua heterogeneidade, seria contornada e seu uso poderia ser feito de forma mais racional.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo principal determinar até que tamanho de partículas a variabilidade da composição das fases cerâmicas dos RCD influencia nas propriedades dos materiais cimentícios quando os mesmos são usados como adição mineral.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter partículas dos principais componentes do RCD cerâmico (tijolo, telha e cerâmica de piso) por moagem em circuito fechado até uma granulometria similar àquela do cimento;
- Produzir partículas dos principais componentes do RCD cerâmico (tijolo, telha e cerâmica) com tamanhos 80% aproximadamente menores que 10 μm e 1 μm utilizando moagem de alta energia;
- Estudar as mudanças nas propriedades micro estruturais com a redução do tamanho dos componentes cerâmicos dos RCD por meio de diferentes técnicas analíticas.
- Estudar as alterações na reatividade das adições minerais com a redução do tamanho de partículas.
- Determinar as propriedades reológicas, físicas e mecânicas de argamassas contendo os RCDs cerâmicos nos tamanhos de partículas propostos. Argamassas de consistência normal e de máxima compactação, dosada utilizando-se o quadro teórico do empacotamento granular de partículas, foram avaliadas.
- Estudar as alterações na distribuição de tamanho de poros de argamassas com diferentes graus de empacotamento (incluindo uma mistura na compactação máxima) com a redução do tamanho de partículas do RCD.

1.3 RESUMO DOS CAPÍTULOS

O **Capítulo 1** apresenta uma breve introdução sobre os fatores relevantes que motivaram a pesquisa. O objetivo geral e os objetivos específicos também são apresentados contextualizando o foco da pesquisa.

O **Capítulo 2** é dividido em três subtítulos: o primeiro apresenta os problemas ambientais causados pela geração dos RCD, o uso como agregado em concretos e argamassas como solução a esses problemas e a influência da heterogeneidade da sua composição nas propriedades desses materiais como fator limite. No segundo subitem são apresentadas propriedades de concretos e argamassas com substituição parcial do cimento por RCD. O terceiro e último item trata da cominuição partículas, os tipos de moinhos de alta energia e da relação da resistência de partículas com a moagem para tamanhos micrométricos.

No **Capítulo 3** são apresentadas a origem, os tipos e as características dos materiais utilizados na pesquisa. O capítulo apresenta também a descrição dos procedimentos de preparação das amostras, além dos métodos de ensaios para a determinação das propriedades físico-química dos componentes e das propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade das argamassas.

Os resultados são apresentados e discutidos no **Capítulo 4**, dividido em cinco subitens. O primeiro trata das características da moagens do tijolo, da telha e da cerâmica de piso para os materiais dentro das três faixas de granulometrias obtidas. O segundo subitem trata das propriedades pozolânicas desses materiais. O terceiro trata das propriedades das argamassas de consistência normal com adição desses materiais. O quarto analisa argamassas de compacidade máxima. A análise comparativa entre essas argamassas é feita no quinto subitem.

No **Capítulo 5** são apresentadas as conclusões da tese e algumas sugestões de estudos futuros e no **Capítulo 6** as referências citadas no texto da tese.

CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

De acordo o Art. 13 da Lei N° 12.305 de agosto de 2010 o resíduo da construção civil é aquele gerado nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos. Os resíduos de construção e demolição (RCD) aceitos em locais específicos para o seu descarte são: fragmentos de rochas, concreto, argamassas tijolos, telhas, cerâmica de piso e revestimento, após seleção e separação dos resíduos recicláveis como plásticos, metais e papeis. O maior ou menor volume de RCD está associado a problemas tais como falta de treinamento de mão de obra e de gestão da qualidade os quais provocam perdas adicionais ao processo construtivo tradicional. O aumento anual do volume de RCD está relacionado ainda com o crescimento econômico do País.

A deposição irregular do RCD é um grave problema, pois pode causar assoreamento de córregos, contaminação do solo e do lençol freático. A falta de espaço para a destinação adequada dos RCD também é outra preocupação. Países como Japão, Holanda e Alemanha impõem a reutilização de RCD como agregados em concreto através de legislações rigorosas para diminuir o volume desses resíduos devido a falta de espaço para armazená-los (PINTO, 1999; LIMA, 1999). A utilização em larga escala de RCD nas construções, como solução para redução de volume de resíduos e para suprir a falta de agregados naturais, se deu após a Segunda Guerra Mundial. No entanto, atualmente, o maior volume de RCD utilizado nas construções ocorre em obras de pavimentação. O Brasil, mesmo com mais investimentos no setor da construção civil e aumento no volume de obras, ainda não possui como prática o reaproveitamento de RCD como agregado em concretos estruturais.

A reutilização de RCD em concretos estruturais seria a forma mais sustentável por agregar valor a um resíduo composto por materiais antes extraídos da natureza. No entanto, a variabilidade na sua composição impede que isso ocorra sem que cuidados e limites de quantidade por metro cúbico de concreto sejam estabelecidos. No item a

seguir serão apresentadas as propriedades dos agregados reciclados de RCD em concretos e as diferenças entre elas devido a variabilidade da composição.

2.2 USO DE AGREGADOS RECICLADOS DE RCD

Os RCDs podem ser divididos, genericamente, em resíduos de cor cinza ou vermelha. A composição de cor cinza é formada pelos resíduos de elementos a base de cimento (argamassas e concretos) e rochas. Os resíduos de cor vermelha são os componentes a base de argila calcinada que contenham óxido de ferro (Fe_2O_3). Existem ainda fragmentos compostos pelas duas composições. A norma inglesa BS 8500-2 (BS, 2006) também classifica os agregados reciclados de RCD pela presença de produtos a base de concreto e de argila calcinada. A ABNT NBR 15116 (ABNT, 2004) é a norma que estabelece os requisitos para agregados reciclados para concretos sem função estrutural cuja resistência é de até 20Mpa. A norma também classifica os agregados reciclados em dois tipos:

- ARC¹: agregado cuja composição possui 90% ou mais, em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas;
- ARM²: agregado cuja composição possui menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

A norma NBR15116 estabelece parâmetros específicos de aceitação para cada propriedade de acordo com a classificação (Tabela 2.1).

¹ ARC – Agregados de resíduo de concreto.

² ARM – Agregado de resíduo misto.

Tabela 2.1 Requisitos para o uso de agregados reciclados em concreto (Fonte: NBR 15116/2004, pág. 5)

Propriedades	ARC		ARM	
	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)	≥ 90	-	< 90	-
Absorção de água (%)	≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17
Contaminantes – teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materiais não minerais		Cloretos	1
			Sulfatos	1
			Torrões de argila	2
			Teor total máximo de contaminantes	3
Teor de matéria passante na peneira 75µm (%)	≤ 10	≤ 15	≤ 10	≤ 20

Em se tratando de resíduos de construção, as porcentagens de ARC e ARM variam de acordo com o tipo de obra (residencial, comercial, industrial, infraestrutura), padrão e etapa de construção. A quantificação das fases torna-se mais difícil quando o resíduo é proveniente de demolição. A organização no canteiro visando reaproveitar os resíduos, favorece a separação dos resíduos de acordo com a sua composição. O reaproveitamento na própria obra que gerou o resíduo diminuiria o volume de resíduo em aterros (PALIARI, 1999).

Fragmentos compostos pelas duas composições podem ser, por exemplo, agregados com argamassa, fragmentos de tijolos com argamassa, revestimento cerâmicos com argamassas e etc. A presença de argamassa aderida modifica a porosidade do agregado reciclado e a zona de transição entre a nova pasta e o agregado reciclado (CASUCCIO *et al.*, 2012; XIAO *et al.*, 2012; POON *et al.*, 2004; RYN, 2002; CORINALDESI, 2010; TAM *et al.*, 2009; BUTTER *et al.*, 2005; HANSEN, 1983).

Agregados reciclados de concreto apresentam taxa de absorção entre 6% e 7%, e os reciclados de alvenaria entre 22% a 25%. A taxa elevada de absorção dependerá da resistência do concreto e da temperatura de calcinação dos materiais cerâmicos (HANSEN, 1992; TOPÇU e GÜNÇAN, 1995; QUEBAUD, 1996; DHIR *et al.*, 1998; MANSUR *et al.*, 1999).

Devido a sua elevada absorção, o uso de agregados graúdos de resíduo de tijolo tem limitações, e recomenda-se a pré-saturação dos mesmos antes da mistura ao concreto

(GOMEZ-SOBERÓN, 2002). Vários estudos utilizando agregados reciclados de tijolo em concreto observaram perda na resistência (BEKTAS *et al.*, 2009; CACHIM, 2009; BINICI, 2007; POON e CHAN, 2006; DE BRITO *et al.*, 2005; KHALAF e DEVENNY, 2004). Debieb e Kenai (2008) obtiveram perdas de 35% na resistência de concretos da classe C30 (concretos com 30MPa) com 20% de agregados graúdos de resíduo de tijolo. As perdas são atribuídas a absorção elevada dos agregados reciclados de tijolos. Pacheco-Torgal e Jalali (2010) não observaram perda em concreto de 40MPa com 100% de uma mistura de resíduos cerâmicos vermelhos e brancos como agregado graúdo, mas o estudo ainda não recomenda a utilização neste teor devido ao aumento da absorção e permeabilidade do concreto com esses agregados.

A resistência de concretos com agregados reciclados de concreto depende da resistência e da idade do concreto de origem do agregado reciclado. A resistência do concreto de origem deverá ser maior que a do concreto em que será utilizado (TABSH e ABDELATAH, 2009; WAGIH *et al.*, 2013; MEDINA *et al.*, 2013; AJDUKIEWICZ e KLISZCZEWICZ, 2002; WANG *et al.*, 2013). Em concretos de alto desempenho agregados reciclados de concreto com 60MPa de resistência não apresentam perdas na resistência substituindo totalmente o agregado graúdo (ANDREU e MIREN, 2014). Isso foi explicado pelos autores pela maior quantidade de cimento presente na mistura.

Ao diminuir o tamanho dos agregados reciclados para a granulometria abaixo de 4,75mm (agregado miúdo), a substituição de 100% de agregado miúdo natural por agregado reciclado de concreto reduziu a resistência a compressão em 30% em concretos de classe C30 (DEBIEB e KENAI, 2008). Em concretos com agregado miúdo reciclado de tijolo não foram observadas perdas e podendo até ser maior que o concreto de referência para teores de até 100% (PACHECO-TORGAL e JALALI, 2010; KHATIB, 2005). O tipo de resíduo cerâmico também influencia nas características dos agregados devido às diferentes temperaturas de queima (PACHECO-TORGAL e JALALI, 2010). Poon e Chan (2007) obtiveram perdas da resistência em concretos com 20% de agregados miúdos reciclados de tijolo e telha, enquanto Alves *et al.* (2014) obtiveram perdas na resistência em concretos com agregado miúdo reciclado de louça

sanitária em comparação a concretos com agregado miúdo reciclado de tijolo, o qual em relação a referência não apresentou perdas.

As propriedades mecânicas podem ser previamente avaliadas pela resistência a compressão, e se espera que concretos com perda da resistência devido a substituição por agregados reciclados não apresentem também propriedades físicas e de durabilidade aceitáveis para o uso em concretos estruturais. Por essa razão, muitos Países como o Japão, onde o uso de agregados reciclados em concretos da classe C30 é incentivado, somente são aceitos agregados reciclados de concreto (POON e CHAN, 2007).

Com relação aos finos do resíduo cerâmico, a redução de tamanho de partículas para a faixa micrométrica pode ativar suas fases tornando-os uma pozolana reativa. Por essa razão os ganhos nas propriedades de concretos com o uso de tijolo na fração abaixo de 75 μ m podem potencializar o reaproveitamento do resíduo cerâmico. O item seguinte abordará sobre a utilização de resíduos cerâmicos do RCD, contextualizando e apresentando as lacunas que o presente estudo se propõe a preencher.

2.3 ADITIVOS MINERAIS

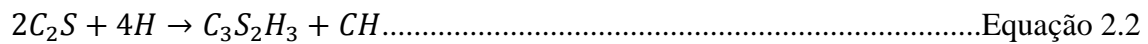
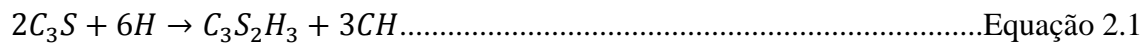
2.3.1 Mecanismos de hidratação do cimento Portland

O cimento Portland é produzido a partir da queima a elevada temperatura da mistura de rocha calcária e argila até a sua parcial fusão formando o clínquer que é finamente moído com gesso. Sua composição após esse processo de queima e moagem é de silicatos, aluminatos, ferroaluminatos, óxidos e sulfatos.

Os componentes efetivamente responsáveis pelas reações de hidratação que formarão a estrutura do concreto endurecido são silicatos e aluminatos de cálcio. Os mecanismos de hidratação desses compostos são dois: Dissolução-Precipitação e Topoquímico. As reações de dissolução ocorrem ainda nas primeiras horas de contato do clínquer com a água, onde a quantidade de água é maior permitindo a dissociação dos componentes que formarão hidratos os quais precipitarão, devido à redução da solubilidade. Com o aumento da quantidade de hidratos precipitados e a redução da mobilidade iônica as reações do cimento passam a ser por contato na sua superfície. As reações dos silicatos

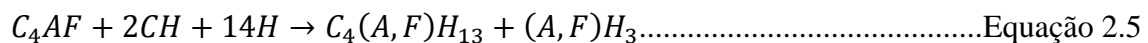
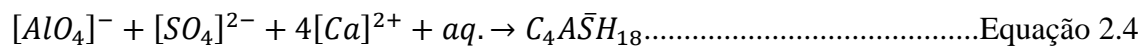
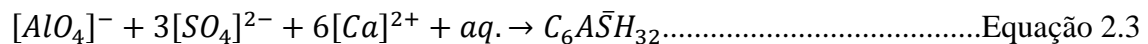
e aluminatos ocorrem simultaneamente, sendo que os aluminatos reagem mais rapidamente que os silicatos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Os silicatos presentes no cimento são dois, representados pelas siglas C_3S e C_2S e suas reações estão representadas nas Equações 2.1 e 2.2 (YOUNG *et al.*, 1998):



Os hidratos formados são responsáveis pela resistência nas idades avançadas. O silicato de cálcio hidratado (C-S-H) é um gel rígido de estrutura nanoestruturada com nanoporos denominados de poro gel devido a suas dimensões. O C-S-H é responsável pela resistência da pasta e a movimentação da água adsorvida entre as folhas de silicatos de cálcio é responsável pelo módulo de elasticidade. O hidróxido de cálcio é outro hidrato formado pela reação dos silicatos, e a sua presença reduz a durabilidade da pasta de cimento endurecida às águas ácidas e sulfatadas.

A hidratação do C_3A ocorre juntamente com o ferroaluminato (C_4AF) formando produtos similares devido a presença do sulfato. As Equações 2.3, 2.4 e 2.5 (YOUNG *et al.*, 1998) representam as reações químicas do C_3A :



Os produtos formados dependem da concentração de aluminatos e íons sulfatos. O primeiro hidrato a ser formado é etringita devido a maior relação sulfato/aluminato. A etringita se cristaliza como pequenas agulhas. O monossulfato se cristaliza como placas hexagonais. Esses hidratos são responsáveis pelo tempo de endurecimento e resistência inicial da pasta.

2.3.2 Adições minerais

Segundo MEHTA (1983), as adições minerais podem ser classificadas em: Cimentantes e pozolânicas; Pozolanas altamente reativas; Pozolanas comuns e Pozolanas pouco reativas. Essa classificação considera a composição mineralógica e as características das partículas.

2.3.2.1 Pozolanas

Os mecanismos de ação pozolânica das adições são diferentes entre si, sendo bem estabelecido que os hidratos formados nestas misturas com adições minerais são diferentes daqueles formados nas misturas com cimento Portland comum. A fase mais afetada pela reatividade pozolânica é C-S-H. As adições minerais ricas em sílica diminuem a relação Ca/Si do C-S-H formado apresentando defeitos nas posições da sílica. O aumento da relação Si/Ca aumenta a concentração de alumina, também presente nas adições minerais em quantidades significativas, permitindo a sua incorporação no C-S-H formando o C-A-S-H e C-A-H (PARDAL *et al.*, 2009). Esses hidratos são considerados menos resistentes que o C-S-H, mas contribuem para a densificação da estrutura do concreto. A reação da maioria das adições minerais é menor que a do clínquer, e a cinética de hidratação das misturas com adições depende da composição química, dos tamanhos de partículas, da proporção de componentes amorfos reativos assim como da composição da solução (LOTHENBACH *et al.*, 2011).

2.3.2.2 Fíleres

Por vezes, torna-se difícil separar a reatividade das adições minerais e o efeito fíler. O efeito fíler ocorre quando partículas inertes muito finas aceleram a hidratação do cimento. Como as partículas são inertes, não reagem formando hidratos adicionais e isso possibilita que maior quantidade de água fique disponível para hidratação do clínquer formando mais hidratos, sendo esse mecanismo denominado de “efeito de diluição”. As partículas muito finas se aglomeram na superfície do clínquer aumentando a sua área superficial e, conseqüentemente, a área de contato, o que resulta em maior

quantidade de hidratos formada. Esse mecanismo é conhecido como “nucleação heterogênea” (Figura 2.1).

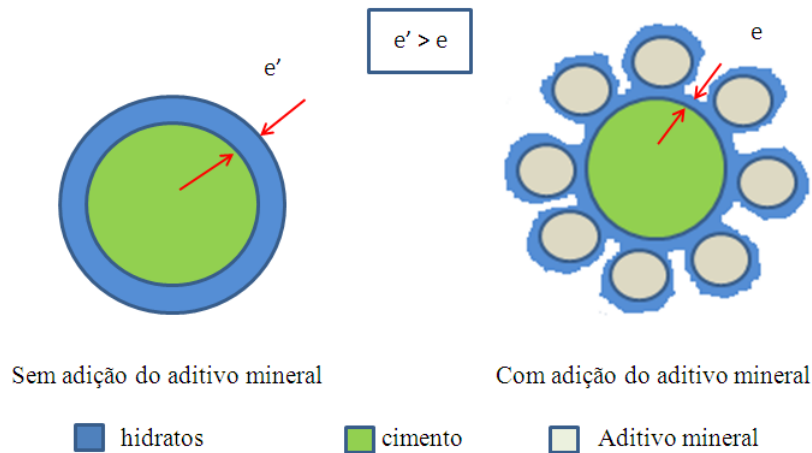


Figura 2.1 Representação esquemática da hipótese que explica o aumento de hidratação do cimento (LAWRENCE *et al.*, 2003)

O efeito fíler ocorre nas primeiras horas devido à maior quantidade de solução aquosa a qual propicia maior mobilidade elétrica. Isso ocorre por que essas partículas muito finas podem ser ativadas eletricamente por moagem de alta de energia (RAHHAL *et al.*, 2012). Além do tamanho de partícula, o teor de substituição também pode potencializar os mecanismos do efeito fíler (LAWRENCE *et al.*, 2003).

2.3.3 Efeito das adições minerais em materiais cimentícios

2.3.3.1 Propriedades no estado fresco

As adições minerais tendem a melhorar a trabalhabilidade de argamassas e concretos. Isso se deve à granulometria mais fina das adições em comparação a do cimento. A melhoria na trabalhabilidade é avaliada pela redução da segregação e da exudação. Adições como a cinza volante e a escória ainda permitem reduzir a quantidade de água devido ao tamanho e textura vítrea das suas partículas. Nem todas as adições melhoram a trabalhabilidade reduzindo a quantidade de água. Esse é o caso da cinza da casca de

arroz e da sílica ativa que, devido à elevada área superficial, aumentam a demanda de água. A forma das partículas também pode interferir na trabalhabilidade. Partículas angulosas e de textura áspera tendem a diminuir a consistência do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Janotka *et al.* (2010) demonstraram através de determinação de parâmetros reológicos que pastas com metacaulim têm trabalhabilidade prejudicada devido à maior área de superfície específica, à maior porcentagem de partículas finas e ao aumento do teor de substituição. A tensão cisalhante é o parâmetro reológico avaliado em concretos, argamassas e pastas submetidas a ensaios com reômetros e viscosímetros, e depende basicamente das forças de interação entre as partículas. Quanto maior essa força, maior a tensão cisalhante, e o que pode aumentar essa força interpartículas é a redução do tamanho da partícula e o aumento da concentração de sólidos na solução aumentando o contato entre as partículas (BANFILL, 2006). Isso foi observado por Banfill e Frías (2007) em pastas com metacaulim e resíduo de lodo de papel. Outro efeito observado pelos autores foi o da forma e da afinidade química das partículas com tendência a se aglomerar como metacaulim.

2.3.3.2 Propriedades mecânicas

As adições minerais também são utilizadas para aumentar as propriedades mecânicas do concreto pelo seu refinamento de poros. Isso ocorre devido ao consumo de hidróxido de cálcio, produzindo C-S-H e outros hidratos de estrutura similar, que além de aumentar o tamanho de poros gel reduzem os poros capilares por se depositarem e obstruírem os poros, reduzindo a sua conectividade.

2.3.3.3 Propriedades físicas

Existe uma relação diretamente proporcional entre a absorção de água e a dificuldade de penetração de íons agressivos. Quanto mais baixa a absorção, maior a dificuldade de penetração desses íons. Portanto é esperado que a densificação da estrutura dos poros reduza a absorção e a permeabilidade. Porém deve ser considerado que medidas de

absorção em pastas, argamassas e concretos sejam influenciadas pela presença de agregados devido aos seus poros e vazios.

Quanto à absorção capilar, Hall (1990) demonstrou em suas pesquisas que pastas e argamassas com cimento pozolânico apresentam menor absorvidade que pastas e argamassas de cimento Portland. Porém após apenas um ano as argamassas com cimento pozolânico passam a apresentar redução na absorção capilar à mesma taxa que as argamassas com cimento Portland. A granulometria também influencia na conectividade dos poros devido à alteração no volume de pasta para preencher os espaços entre as partículas de areia (HALL, 1990;).

2.3.3.4 Durabilidade

O refinamento dos poros reduz a permeabilidade, aumentando a durabilidade dos concretos. Concretos com cimento que contém pozolanas em sua composição apresentam maior resistência ao ataque por sulfatos devido à redução da proporção de hidróxido de cálcio. A impermeabilidade e a menor quantidade de hidróxido de cálcio também reduz o ataque químico de águas ácidas e marinhas. Porém a quantidade elevada de alumina reativa aumenta o teor de aluminatos de cálcio hidratado e monossulfatos que são atacados por sulfatos. Esse é o caso de concretos com adição de algumas escórias e cinza volante (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Pozolanas muito reativas são recomendadas para inibir a reação álcali-agregado sem redução da resistência inicial, mas com teores inferiores a 10%. A diminuição da permeabilidade e da concentração iônica da solução dos poros diminui a penetração de íons coretos devido ao efeito das adições minerais. A redução da conectividade e do tamanho de poros devidos às adições minerais e baixa relação a/c em concretos de alto desempenho diminui também a resistividade elétrica do concreto.

Portanto, a durabilidade de concretos com adições minerais esta diretamente relacionada com o efeito de densificação e refinamento dos poros. Por isso para entender como a formação dos hidratos aumenta o volume de poros gel e diminui a conectividade o item a

seguir trata dos tipos de poros formados em pasta de cimento e as formas como a água é encontrada após o endurecimento.

2.3.3.4.1 Estrutura de poros

A qualidade de concretos e argamassas esta diretamente relacionada com a estrutura da pasta correspondente (LEA, 1970). Por esta razão a maioria dos estudos de estrutura de poros é realizada em pasta de cimento. Os tipos de poros encontrados nas pastas são (ALIGIZAKI, 2006):

- Os poros gel, os quais são os poros do C-S-H de alta e baixa densidade, sendo somente os poros de baixa densidade acessíveis por nitrogênio;
- Os poros capilares, os quais são os espaços deixados pela água após a hidratação, e que podem ser conectáveis ou não entre si.
- “hollow-shell pores” são poros inacessíveis e geralmente têm a forma do grão de cimento.
- Os vazios de ar que podem ser incorporados ou aprisionados, os incorporados são intencionalmente criados por aditivos, enquanto que os aprisionados ocorrem inevitavelmente durante o processo de mistura e adensamento.

Quanto ao tamanho desses poros a IUPAC (“International Union of Pure and Applied Chemistry”) os classificam em:

- Microporos ($d < 2\text{nm}$);
- Mesoporos ($2\text{nm} < d < 50\text{nm}$);
- Macroporos ($d > 50\text{nm}$).

Outra classificação usual é de Mindess *et al.* (2002):

- Poros maiores que $10\mu\text{m}$;

- Capilares grandes de $10\mu\text{m}$ a $0,05\mu\text{m}$;
- Capilares médios de $0,05\mu\text{m}$ a $0,01\mu\text{m}$;
- Capilares pequenos de $0,01\mu\text{m}$ a $0,0025\mu\text{m}$

Os poros em argamassas e concretos podem ser divididos em (MEHTA e MONTEIRO, 2008):

- Poros da pasta (poros gel, poros capilares, “hollow-shell” pores e vazios de ar);
- Poros dos agregados;
- Poros da interface pasta e agregado;
- Vazios de água oriundos da mistura e adensamento que se forma na superfície dos agregados e armadura;
- Descontinuidades na pasta devido às variações térmicas e de umidade.

A pasta de cimento mesmo após o endurecimento retém água em seus poros e em suas estruturas cristalinas. Água presente na pasta de cimento é classificada de acordo com o grau de dificuldade de remoção. Neste caso é importante o conhecimento da forma como água se encontra na pasta endurecida para a determinação da estrutura de poros e dos hidratos formados (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Os tipos de água são:

- Água capilar que é encontrada nos poros capilares de duas formas. Como água livre, em poros maiores que 50 nm , cuja remoção não causa qualquer alteração de volume; e como água retida por tensão capilar em poros capilares entre 5 e 50 nm , a qual ao ser removida causa retração do sistema de poros.
- Água adsorvida fisicamente por pontes de hidrogênio na superfície dos sólidos da pasta pode formar camadas de moléculas de água de até 15 \AA , e grande parte pode ser removida com HR (umidade relativa do ar) 30% , sendo que sua remoção pode causar retração.

- Água interlamelar é encontrada na estrutura do C-S-H como uma camada de água monomolecular ligada por pontes de hidrogênio entre camadas de C-S-H, sendo apenas removida por intensa secagem, causando retração forte na estrutura do C-S-H.

- Água quimicamente combinada são moléculas de água que compõem a estrutura de hidratos sendo apenas removida pela decomposição de seus componentes.

Para a medição do tamanho de poros é necessário remover a água dos poros capilares. Dentre os métodos de secagem indicados por causar menor dano à estrutura é em estufa a 40°C. O método de medição mais utilizado é o de porosimetria por intrusão de mercúrio, por ser relativamente fácil e rápido. Porém algumas considerações são feitas quanto a suas limitações:

- o risco a saúde pela toxicidade do mercúrio;

- os poros devem estar completamente livres de qualquer outro líquido, exigindo uma secagem eficaz;

- limitações quanto ao tamanho da amostra, não sendo representativa do volume total de poros;

- o uso de pressão elevada pode apresentar medidas de volume total de poros maior do que o real devido à alta compressibilidade do mercúrio.

Dos parâmetros determinados por MIP (“mercury intrusion porosimetry”) são obtidas algumas curvas, entre elas: Porcentagem acumulativa de volume de mercúrio introduzido vs diâmetro e volume de mercúrio introduzido vs diâmetro (Figura 2.2). A porosidade total corresponde ao ponto de maior pressão e menor tamanho de poro correspondente, sendo este o ponto de máxima intrusão de mercúrio.

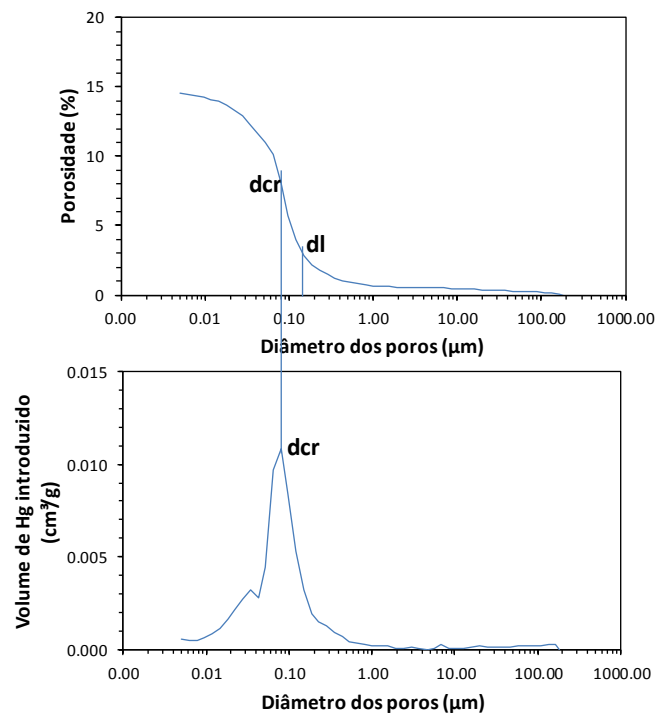


Figura 2.2 Curvas típicas de Porosimetria por intrusão de mercúrio

Outro parâmetro determinado por MIP é o diâmetro crítico (dcr), que é o tamanho máximo de poro conectável. Ele é o responsável pela transporte dos fluidos no material poroso. dl é o diâmetro limite que corresponde ao diâmetro a partir do qual houve aumento repentino no volume de mercúrio introduzido. Ele é considerado o maior tamanho de poro penetrado pelo mercúrio (ALIGIZAKI, 2006).

2.3.4 RCD como adição mineral

Os resíduos cerâmicos moídos finamente podem ser utilizados em substituição parcial ao cimento por apresentarem propriedades pozolânicas. Essa reatividade é devido ao processo de queima, que ativa fases amorfas sílico-aluminosas reativas. Nos itens a seguir serão explicados como essas fases são ativadas e como a adição de cerâmicas calcinadas finamente moídas como o tijolo, a telha e a cerâmica de piso moídos contribuem para as propriedades dos materiais cimentícios como adições minerais.

2.3.4.1 Ativação da reatividade dos materiais cerâmicos

A ativação dos componentes reativos ocorre pela temperatura e pela cominuição. A perda da água combinada devido ao tratamento térmico causa uma destruição da rede cristalina da argila, formando sílica e alumina com estrutura desordenada e instável, caracterizada como estrutura amorfa (NACERI e HAMINA, 2009). A estrutura amorfa em contato com a água e o hidróxido de cálcio, formado com a hidratação do cimento, se solubiliza, liberando a sílica e alumina para formar hidratos nanoestruturados insolúveis, responsáveis pelo refinamento da estrutura do concreto aumentando a sua durabilidade (HE *et al.*, 1994; BARONIO e BINDA, 1996; O'FARELL *et al.*, 2001). A ativação da argila calcinada depende do tipo e da pureza dos argilominerais constituintes, da temperatura de queima, do tempo de residência e da taxa de aquecimento (SABIR *et al.*, 2001).

A qualidade dos produtos cerâmicos é avaliada pelas variações volumétricas, mudanças de fases e fenômenos de cristalização e essas reações são observadas por análises térmicas. A temperatura de queima ideal é obtida quando essas reações ocorrem em faixas de temperatura específicas. Essas faixas de temperatura são determinadas pelas análises térmicas nas argilas que serão utilizadas na produção dos materiais cerâmicos calcinados. Após a queima dos produtos cerâmicos as curvas de análise termogravimétrica (TG), derivada da termogravimetria (DTG) e da análise térmica diferencial (DTA) podem ainda apresentar essas reações indicando se a queima foi suficiente para as mudanças de fases e cristalizações necessárias a atingir a qualidade do produto. As faixas de temperatura das reações esperadas na calcinação de argilas são observadas por DTA, sendo elas de forma geral (RAMACHANDRAN *et al.*, 2002):

- Uma reação endotérmica abaixo de 200°C normalmente indica a presença de montmorilonita ou illita;
- Uma reação endotérmica entre 300°C e 500°C indica hidróxido de alumínio ou ferro;
- Uma larga reação exotérmica entre 200°C e 600°C na calcinação da argila, é devido à presença de material orgânico;

- Uma intensa reação endotérmica entorno de 600°C seguida de uma curta reação exotérmica próxima a 975°C, indica a presença de caulinita;
- Um pico de baixa intensidade entorno de 500°C ou 700°C seguido por outra reação endotérmica próxima a 900°C e, no final uma reação exotérmica indica também montmorilonita ou illita.
- Um pequeno pico na curva DTA indicando uma reação endotérmica a 573°C é devida a mudança de quartzo α para o quartzo β .

Além dessas reações típicas em argilas sobre a ação da temperatura têm-se a perda de água livre entre 100°C e 150°C e uma nova cristalização da caulinita com temperatura elevada entre 950°C e 1000°C. Essa nova fase da caulinita nessa temperatura é a mulita que também pode ter sua formação acelerada devido à presença de óxidos adicionais (RAMACHANDRAN *et al.*, 2002).

O tijolo cerâmico é submetido a temperaturas de queima inferiores a 900°C. Cada argila tem uma temperatura adequada de calcinação para a quebra da estrutura cristalina e formação da fase amorfa (NACERI e HAMINA, 2009). Entre as argilas mais comumente usadas na produção de materiais cerâmicos, a illita é a mais presente na produção de tijolos e telhas (SANTOS e SANTOS, 1975).

O argilomineral illita é constituído por duas folhas de silicato tetraédricas, com uma folha central octaédrica, unidas entre si por oxigênios comuns às folhas, cuja fórmula teórica do grupo é $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4.n\text{H}_2\text{O}$ (n é a água interlamelar). Sua estrutura cristalina é semelhante à da montmorilonita, sendo que há uma substituição maior de alumínio por silício. A desidroxilação ocorre entre 450°C e 600°C (SANTOS, 1992). HE *et al* (1995) utilizaram várias argilas calcinadas em argamassas, entre elas caulinita e a illita, e encontraram resistência à compressão de 84,6 MPa e 54,6 MPa respectivamente, ambas com temperatura de calcinação de 930°C.

A temperatura de queima a qual tijolos e telhas cerâmicos são submetidos (600°C a 900°C) é a requerida para a formação de estrutura amorfa como na caulinita pura.

Quando submetidos a temperaturas elevadas, tipicamente entre 1000°C e 1100°C, forma-se uma fase vítrea amorfa similar à fase vítrea presente na cinza volante (O'FARRELL *et al.*, 2006). Este é o caso de cerâmicas para pisos as quais são submetidas a temperaturas entre 1000°C e 1250°C (SANTOS e SANTOS, 1975). O efeito dos resíduos de tijolos e telhas como pozolanas é bem conhecido. O índice de atividade pozolânica do tijolo moído com cimento encontrado varia de 78% a 88% (CORDEIRO *et al.*, 2001 e 2002; LEITE e DAL MOLIN, 2002; GONÇALVES, 2005).

2.3.4.2 Trabalhabilidade de concretos contendo RCD como adição mineral

Estudos de concretos com adição de tijolo moído demonstraram que partículas com tamanhos abaixo de 90 µm já apresentam redução da trabalhabilidade, sendo maior essa perda com o aumento do teor (KARTINI *et al.*, 2012). Gonçalves (2007) utilizou superplastificante para alcançar o abatimento de 130 mm em concreto com 20% de tijolo moído sendo 50% das partículas com tamanho inferiores a 20 µm.

Argamassas com 25% de resíduo de cerâmica de piso esmaltada com área superficial (BET) igual a 25,9 m²/g, apresentaram perda na trabalhabilidade, atribuída a forma angular das partículas (BIGNOZZI e SACCANI, 2012). Embora a elevada área superficial deva ser considerada como outro potencial motivo para esse comportamento. A redução da consistência em argamassas com substituição parcial do cimento por telha e tijolo é atribuída aos tamanhos de partícula mais finos e ao teor elevado de substituição (O'FARRELL *et al.*, 2001; L.A. PEREIRA-DE-OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Porém, Bektas *et al.* (2008) não encontraram diferenças significativas na demanda de água para atingir a consistência normal (ASTM C187, 2006) de pastas com adições de tijolo moído de até 25% (cujas áreas superficiais eram de 370 m²/kg próxima a do cimento Portland comum). Pastas com telha moída substituindo o cimento em teores variados (25, 30, 35 e 40%) apresentaram aumento na demanda de água para a requerida consistência normal em 30% (AY e ÜNAL, 2000), muito maior em comparação as pastas de Bektas *et al.* (2008), que foram de 4%, no máximo. No entanto as áreas superficiais específicas, apesar de determinadas a partir das misturas de cimento e telha, não apresentaram valores muito distintos da área superficial do tijolo moído de Bektas

et al. (2008). Foi observado também no estudo de Ay e Ünal (2000) que, com o aumento do teor em relação à argamassa de referência, a demanda de água diminuiu, passando de 30% para 23%. O que refletiu no aumento do tempo inicial e final de secagem. Naceri e Hamina (2009) moeram clínquer com porcentagens variadas de tijolo até 20% e apresentaram porcentagens de aumento da demanda de água entre 3 e 6%, com redução nos tempos inicial e final de secagem. A redução no tempo de secagem foi atribuída ao aumento da relação gesso/clínquer, devido à fixação da quantidade de gesso adicionado às misturas com substituição por tijolo. Dois fatores podem explicar a diferença de efeito da substituição na consistência entre as pastas com tijolo e telha. Primeiramente o tamanho de partícula, sendo a telha mais fina que o tijolo. O outro fator é o teor de substituição, que foi maior nas pastas com telha.

Em pasta com adição de resíduo de louça sanitária as propriedades reológicas não foram prejudicadas, apenas melhorando com aumento da relação a/c ou com o uso de superplastificantes. Porém no mesmo estudo utilizando resíduo de construção e demolição finamente moído, as pastas apresentaram aumento na tensão cisalhante (MEDINA *et al.*, 2013). Isso pode ser atribuído à elevada área superficial das partículas (sendo para o pó de louça sanitária e RCD igual a 1,36 e 6,58m²/g respectivamente, determinadas por BET), devido à presença de partículas de cimento não hidratado, e também a componentes hidratados do cimento como a alita e aluminatos que são física e quimicamente induzidos pela calcita (BANFILL *et al.*, 2009). Embora secundário, o teor de substituição, demonstrou influenciar a viscosidade das pastas aumentando a tensão cisalhante com 20% de substituição (MEDINA *et al.*, 2013). HEIKAL *et al.* (2013) também observaram o mesmo efeito em pastas com 37,5%, de substituição do cimento por tijolo moído, sendo que o uso de determinado aditivo permitiu diminuir a tensão cisalhante para teores de substituição mais altos, o que está de acordo com o que Bektas *et al.* (2008) demonstraram, mesmo tendo utilizado técnicas diferentes para a avaliação da trabalhabilidade.

2.3.4.3 Propriedades mecânicas de concretos contendo RCD como adição mineral

Concretos com substituição parcial do cimento de até 25% apresentaram perda da resistência nas primeiras idades, não apresentando diferenças significativas a partir dos 91 dias de cura. Nas propriedades de módulo de elasticidade, flexão e tração por compressão diametral não se observaram perdas a partir dos 28 dias (BEKTAS *et al.*, 2008). Gonçalves (2007) não encontrou ganhos de resistência aos 28 dias em concretos com teores variados de relação a/c com 20% de substituição, apresentando perdas de até 12% no módulo de elasticidade sem mudanças na resistência à tração por compressão diametral e flexão. Em concretos auto adensáveis somente observaram-se ganhos na resistência com o uso de aditivo para teores de substituição de até 37,5%, e com aumento do consumo de cimento, em até 40% de substituição (HEIKAL *et al.*, 2013). Kartini *et al.* (2012) recomendam para concretos com relação a/c 0,6 e consumo de cimento de 350 kg/m³ a utilização de tijolo moído em teores de até 30% de substituição. Por outro lado, Pacheco-Torgal e Jalali (2010) obtiveram, para mesma relação a/c de 0,6 e mesmo consumo de cimento de 350 kg/m³, o teor de 20% como sendo o de menor perda da resistência à compressão aos 28 dias. Heidari e Tavakoli (2013) também não observaram efeitos negativos na resistência à compressão de concretos com substituição de até 20% do cimento por cerâmica de piso esmaltada moída. Vejmelková *et al.* (2012) limitam o teor de substituição de menor impacto nas propriedades mecânicas em 20%, apesar da tenacidade à fratura efetiva, energia específica de fratura e resistência química não terem sido afetadas em teores de substituição de até 40% por tijolo moído.

As resistências à compressão em argamassas é a propriedade mecânica mais utilizada na avaliação do desempenho mecânico para determinação do potencial de utilização de tijolo e telha moídos como pozolanas. As pesquisas demonstram que o desempenho nas primeiras idades é inferior à referência, mas nas idades avançadas essa diferença diminui, se igualando estatisticamente e muitas vezes superando a argamassa de controle, principalmente ao atingir os 90 dias de cura. Porém há um decréscimo na resistência com o aumento do teor, como é comum também com as outras pozolanas devido ao efeito de diluição (SABIR *et al.*, 1998, FARIAS FILHO, 2000; AY e ÜNAL, 2000; O'FARRELL *et al.*, 2001 e 2006; GONÇALVES *et al.*, 2006; NACERI e

HAMINA, 2009; LAVAT *et al.*, 2009; PEREIRA-DE-OLIVEIRA *et al.*, 2012). Essa variação pode estar relacionada com diferenças entre os traços das argamassas, o tipo de cimento e a distribuição granulométrica dos materiais cerâmicos utilizados. A distribuição granulométrica apresentou-se com diâmetro máximo de partículas finas variando de 75 μ m a 44 μ m.

O'Farrell *et al.* (2006) não encontraram diferenças significativas nas resistências de argamassas com até 20% de substituição aos 90 dias de idade. Gonçalves *et al.* (2009) também não observaram diferenças significativas na resistência à compressão aos 28 dias em argamassas com teor de substituição de até 10% com mesma relação a/c, mas com metade da quantidade de areia. Toledo Filho *et al.* (2007) observaram para o mesmo traço de argamassa de Gonçalves *et al.* (2009) com até 20% de substituição por tijolo moído que, com relação a/c mais baixa na mesma idade as perdas de resistência foram menores, sendo menor a diferença.

O'Farrell *et al.* (2001) observaram que o desempenho das argamassas foi melhor com o tipo de tijolo moído cuja quantidade de amorfos é maior. Com relação ao tipo de cerâmica não foram observadas, em argamassas com mesmo traço de O'Farrell *et al.* (2001) com substituições de 25% até 35% do cimento por telha moída, perdas significativas na resistência à compressão e à flexão em todas as idades (Ay e Ünal, 2000). Esse comportamento pode ser atribuído à granulometria mais fina da telha. Higashiyama *et al.* (2012), empregando isoladores elétricos cerâmicos como agregado fino e pó em substituições de até 30% do cimento em argamassas de traço 1:2 de areia e a/c de 0,5, obtiveram ganho na resistência em todas as idades.

Quanto à reatividade, ela foi maior para a telha em comparação ao tijolo para a fração de tamanho de partículas de 75 a 150 μ m, mesmo com área superficial maior que a da telha (399 e 544m²/kg respectivamente) (PEREIRA-DE-OLIVEIRA *et al.*, 2012). Puertas *et al.* (2008) encontrou para cerâmica de piso vermelha maior reatividade para tamanhos de partícula menores que 90 μ m. Quanto aos resíduos de construção e demolição apesar dos poucos estudos, foi observado aumento da reatividade, em argamassa com cal, com o aumento da área de superfície específica com tempos de

moagem de até 90min (AMORIM *et al.*, 2003). Foi encontrada também diferença na resistência à compressão de argamassas com resíduos de construção e resíduos de demolição, tendo esta última apresentado resistência inferior à primeira. Isso foi atribuído à heterogeneidade do resíduo de demolição e ainda à presença de materiais não reativos em sua composição (FARIAS FILHO, 2006).

2.3.4.4 Propriedades físicas de concretos contendo RCD como adição mineral

Em concretos com relação a/c de 0,6 foi encontrado valores de absorção total menores com teores de substituição de 20% e 30% (KARTINI *et al.*, 2012). Utilizando método a vácuo de determinação da absorção de concreto com mesmo traço, Pacheco-Torgal e Jalali (2010) obtiveram absorção total com 20% de tijolo moído 5% maior que o concreto de referência. O mesmo estudo obteve valores mais baixos de absorção total para concretos com louça sanitária, cerâmica de piso branca e vermelha, que a referência. Concretos com cerâmica de piso vermelha com traço similar utilizando superplastificante e relação a/c de 0,5 resultaram em menor absorção de água em todas as misturas com teores de 10% a 40%, sendo a maior redução com 20%, apresentando sensível aumento novamente com aumento do teor de 25% a 40% (HEIDARI e TAVAKOLI, 2013). Concretos de alto desempenho com teores de substituição de 10% a 60% por tijolo moído apresentaram aumento do índice de vazios e redução da massa específica e densidade volumétrica indicando maior facilidade de ingresso de fluídos. Isso não é desejável para um concreto de alto desempenho, e a justificativa foi a maior relação cimento/agregado e elevada quantidade de agregado graúdo (VEJMELKOVÁ *et al.*, 2012).

Toledo *et al.* (2007) observaram que o índice de vazios de argamassas com teores de relação a/c de 0,5 aumentou com a substituição de 10% a 40%. No entanto, com a redução da relação a/c para 0,4 o índice de vazios não apresentou diferenças significativas com a substituição por tijolo nos mesmos teores (TOLEDO *et al.*, 2007). Isso significa que a redução da relação a/c não desempacotou a mistura conforme Gonçalves *et al.* (2009) identificaram posteriormente. Estudos com argamassas incorporando tijolos de várias origens nos teores de 10%, 20% e 30% apresentaram

maior absorção total e absorvidade que a argamassa de referência com mesma relação a/c de 0,5 (SABIR *et al.*, 1998). Isso contrasta com os resultados de Toledo *et al.* (2007) cujas argamassas nos mesmos teores e relação a/c apresentaram menor absorvidade com a substituição do cimento por tijolo. Isso pode ser explicado pela quantidade de areia cuja diferença é 50% maior nas argamassas de Sabir *et al.* (1998). Segundo Halamickova *et al.* (1995) no sistema de argamassas com relação a/c de 0,5 e 55% de areia do volume total da mistura, a permeabilidade à água é maior do que aquela em argamassas com 45% de areia. Ainda foram realizados testes com argamassas com relação a/c de 0,4 cuja permeabilidade foi maior para 45% de areia do volume total da mistura. Essa diferença é explicada pela densificação da zona de transição que aumenta com a redução da relação a/c. Toledo *et al.* (2007) também observaram menor absorvidade nas argamassas com relação a/c de 0,4.

2.3.4.5 Durabilidade de concretos contendo RCD como adição mineral

A durabilidade de concretos com adições minerais está diretamente associada à sua permeabilidade, a qual também está relacionada com a porosidade. Concretos com teores de substituição de até 30% com relação a/c de 0,6 apresentaram redução de 5% na permeabilidade à água (KARTINI *et al.*, 2012; PACHECO-TORGAL e JALALI, 2010). O transporte de íons também está relacionado com a permeabilidade. Concretos com até 25% de substituição com relação a/c de 0,45 apresentaram redução de 14% na carga de íons que passaram pelo corpo de prova (BEKTAS *et al.*, 2008). Com relações a/c elevadas a redução na penetração de íons cloreto pode ser de até 50% com 30% de substituição (HIGASHIYAMA *et al.*, 2012; PACHECO-TORGAL e JALALI, 2010). Halamickova *et al.*, (1995) identificaram por medidas de permeabilidade, penetração de íons cloretos e porosimetria que argamassas com relação a/c de 0,5 têm essas medidas influenciadas pela conectividade de poros capilares, enquanto que com relação a/c de 0,4 a percolação é a nível de poros gel.

Gonçalves *et al.* (2009) obtiveram redução na carga de íons cloretos de 32% com 20% de substituição, para um traço de argamassa considerado equivalente a de um concreto de alto desempenho. Resultados de parâmetros de durabilidade para concreto de alto

desempenho com até 60% de substituição por tijolo moído apresentam-se satisfatoriamente comparáveis a concretos de mesmo traço com metacaulinita (VEJMELKOVÁ *et al.*, 2012). Porém, para diferentes teores esses parâmetros são considerados aceitáveis para concreto de alto desempenho, como para resistência química até 40% e o congelamento até 60%.

As argamassas do estudo de Toledo Filho *et al.*, (2007) também foram submetidas ao ensaio de resistência a sulfatos e a perda da resistência após exposição à solução de sulfato de magnésio foi de 3% e 5% para os teores de 10% e 20%, respectivamente, enquanto que a argamassa de controle apresentou perda de 12% na resistência após a exposição. O'Farrell *et al.* (1999) encontraram diferentes comportamento das argamassas com substituição parcial do cimento por tijolo expostas à solução de sulfato de sódio com relação à expansão. As diferenças foram atribuídas à composição química, à quantidade de fases amorfas presentes e à quantidade de sulfato nas amostras de tijolo moído. Os autores relacionam o aumento da expansão em algumas argamassas à elevada razão de CaO/quantidade de amorfos das amostras de tijolo moído, de modo que as que apresentam baixa expansão apresentaram baixa razão CaO/Quantidade de amorfos. Os pesquisadores ainda observaram que pequenas quantidades de SO₃ nas amostras não apresentaram efeito deletério na expansão das argamassas (O'FARRELL *et al.*, 1999).

Apesar da mesma relação a/c (0,5) do traço utilizado por Toledo Filho *et al.* (2007) a quantidade de areia é maior, o que implica em maior porosidade. Na pesquisa publicada pelos mesmos autores (O'Farrell *et al.*, 2001) foram realizadas análises de porosimetria nas mesmas argamassas, e o volume de poros menores que 0,05 µm da argamassa de referência não apresentaram diferença significativa em relação ao volume de poros na mesma faixa das argamassas de Toledo Filho *et al.* (2007) cuja distribuição de poros foi é apresentada em Gonçalves *et al.* (2009). Porém as diferenças aparecem com a substituição, tendo as argamassas de Gonçalves *et al.* (2009) apresentado 42% de poros menores de 0,05 µm comparados a 50% de O'Farrell *et al.* (2001) para o teor de 20% de substituição. Isso indica que, para cada sistema existe um teor ótimo de

substituição que pode influenciar na distribuição dos poros e na sua resistência ao ataque por sulfatos.

Outra explicação pode estar na conectividade dos poros das argamassas com diferentes quantidades de areia, a qual já foi verificada anteriormente nos dados de absorvidade. Foi observado maior absorvidade nas argamassas analisadas por O'Farrell (1999, 2001) do que as de Gonçalves *et al.* (2009). O'Farrell *et al.* (2000) ainda submetem as mesmas argamassas à exposição de águas salinas, apresentando o mesmo comportamento na expansão observado quando expostas à solução de sulfato de sódio. Em um trabalho com argilas calcinadas por tratamentos diferentes e tijolo moído O'Farrell *et al.* (2006) observaram que as argilas tratadas termicamente apresentam menor expansão quando expostas a águas salinas.

Foram encontrados também estudos que demonstraram redução nos efeitos deletérios da reação alcali-silica em concretos e argamassas com substituições em até 35% por tijolo (TURANLI *et al.*, 2003; BEKTAS *et al.*, 2007; BEKTAS e WANG, 2012) ou por cerâmica de piso (BIGNOZZI e SACCANI, 2012).

Quanto às alterações na estrutura dos poros com a adição de RCD cerâmicos, foram observadas reduções no volume total de mercúrio introduzido e do diâmetro crítico em concretos com substituição de até 20% por tijolo e com isoladores cerâmicos elétricos moídos (VEJMELKOVÁ *et al.*, 2012; HIGASHIYAMA *et al.*, 2012). Foram ainda observados, refinamento dos poros com significativa redução nos macroporos e aumento dos meso e microporos em argamassas com até 30% de substituição por tijolo. Porém as reduções foram maiores para argamassas com maior compacidade e menor relação *a/c* para os teores de substituição de 10% e 20% (GONÇALVES *et al.*, 2009; O'FARRELL, 2001). Quanto aos reflexos dessa densificação da estrutura de poros nas propriedades mecânicas O'Farrell *et al.* (2001) observaram aumento da resistência relativa com o refinamento dos poros e a redução do diâmetro limite (“*threshold*”) de poros. Isso pode ser explicado pelos acréscimos na resistência aos 90 dias, porém aos 28 dias a densificação na estrutura dos poros não foi o suficiente para promover acréscimos e, com o aumento do teor de substituição, esse efeito foi ainda maior. Observaram

também que, para grandes reduções do diâmetro limite abaixo de $0,1 \mu\text{m}$ não ocorreram acréscimos correspondentes na resistência. Por outro lado, Gonçalves *et al.* (2009) somente observaram o reflexo da densificação na resistência à compressão para o teor de 10% de substituição o qual não apresentou significativa alteração na mesma.

2.4 OBTENÇÃO DE PARTÍCULAS ULTRAFINAS

A produção de partículas ultrafinas é desejável pela alta área específica, alta deformação, amorfização, além de maior reatividade química. Entretanto sua operação é difícil e dispendiosa, devido ao elevado consumo energético. À medida que as partículas diminuem de tamanho a resistência aumenta o que dificulta a moagem. Além disso, a tendência dessas partículas a se deformarem plasticamente, até mesmo os materiais frágeis como o quartzo, reduz a probabilidade de ruptura. Outro motivo é a probabilidade de captura pelos corpos moedores, que se torna menor para partículas finas e ultrafinas (OZKAN *et al.*, 2009).

Com a formação de finos surge outro fator que retarda a moagem dessas partículas. O efeito de amortecimento de impactos causado pelo acúmulo de partículas mais finas, e ainda a sua tendência a reaglomerar, devido à elevada energia livre das superfícies recém-formadas, são aspectos importantes associados à moagem ultrafina. Os efeitos causados por esses fatores podem ser evidenciados na prática pela diminuição da taxa de cominuição do material, observada em partículas menores que, aproximadamente, $0,5 \mu\text{m}$. Portanto as curvas de distribuição de tamanhos do produto tendem a se tornar mais verticais à medida que materiais se tornam menores que, aproximadamente, $1 \mu\text{m}$. A lei de Rittinger é a que melhor descreve esses efeitos na prática quando relaciona o consumo de energia na moagem com a área de superfície das partículas geradas.

Outros motivos relacionados às condições de moagem que podem diminuir a energia de cominuição são a baixa velocidade de rotação e o revestimento liso do moinho, pois altera o movimento dos corpos moedores fazendo com que simplesmente rolem uns sobre os outros, cominuindo as partículas pelos mecanismos da abrasão e por impactos de magnitude baixa. As velocidades maiores dos corpos moedores são desejadas por impor um movimento parabólico (efeito de catarata) promovendo estilhaçamento das

partículas. No entanto o movimento dos corpos moedores não determina necessariamente a cominuição, apenas a potência requerida para o moinho, mas a energia de impacto de um corpo moedor deve ser suficientemente alta para quebrar as partículas mais grosseiras e não causar a reaglomeração dos finos resultante da quebra da partícula original.

Ainda quanto à energia de cominuição, se mais baixa que a energia de fratura da partícula, a quebra não ocorrerá causando apenas danos, sendo a energia de fratura maior para eventos de quebra secundários dos fragmentos primários, mas ainda com baixa eficiência (TAVARES, 2007).

Os fatores que contribuem para a ineficiência da moagem de partículas finas e ultrafinas são evidentes na moagem a seco, uma vez que a água é um bom auxiliar para eliminar ou reduzir os efeitos como o revestimento das esferas e a reaglomeração das partículas finas. Além disso, ela permite melhor transferência da ação mecânica dos movimentos das esferas para o carregamento das partículas, porém o aumento de finos no moinho torna a densidade da polpa mais viscosa diminuindo a taxa de quebra (OZKAN *et al.*, 2009).

2.4.1 Tipos de moinho

Os moinhos de alta energia são capazes de transferir altas taxas de transferência de energia promovendo maior fragmentação de partículas (CARREÑO e GARCIA, 2008). Esses moinhos ainda podem ter mecanismos de fragmentação diferentes e sob condições de moagem diferentes (a úmido e a seco) (WELLEMKAMP, 1999). Na Tabela 2.2 são listados os tipos de moinhos usados na moagem ultrafina, com os correspondentes classes de esforço predominante e o ambiente de moagem.

Tabela 2.2 Tipos de moinho (WELLEMKAMP, 1999)

Moinho esforço	Pressão	Atrição	Impacto	Ambiente
MOINHOS COM MEIO MOEDOR				
a) moinhos planetários	X	X		seco/úmido
b) moinhos de atrição		X		úmido
MOINHOS DE IMPACTO				
Moinhos com rotor				
a) moinhos de pinos			X	seco
b) moinhos de rotor			X	seco
Moinhos a jato				
a) oval			X	seco
b) espiral			X	seco
c) contra fluxo			X	seco

Os moinhos de bolas tubulares e rotativos têm limitada capacidade de transferência de energia, devido à baixa frequência de revoluções. Isso faz com que os corpos moedores sejam arremessados nas paredes do moinho produzindo baixa quantidade de material fino. Quanto mais fino se deseja o produto maior é esse efeito.

2.4.2 Moinhos de meio agitado

Para aumentar a eficiência da moagem de finos e ultra finos foi proposto um moinho com uma câmara de moagem estacionária vertical na qual as cargas de moagem fossem movimentadas pelo agitador girando lentamente (KWADE e SCHWEDES, 1997). Funcionam em circuito fechado e com classificadores dinâmicos acoplados. A Figura 2.3 compara produtos de um moinho agitado e de um moinho do tipo tambor, ou seja, tubular rotativo.

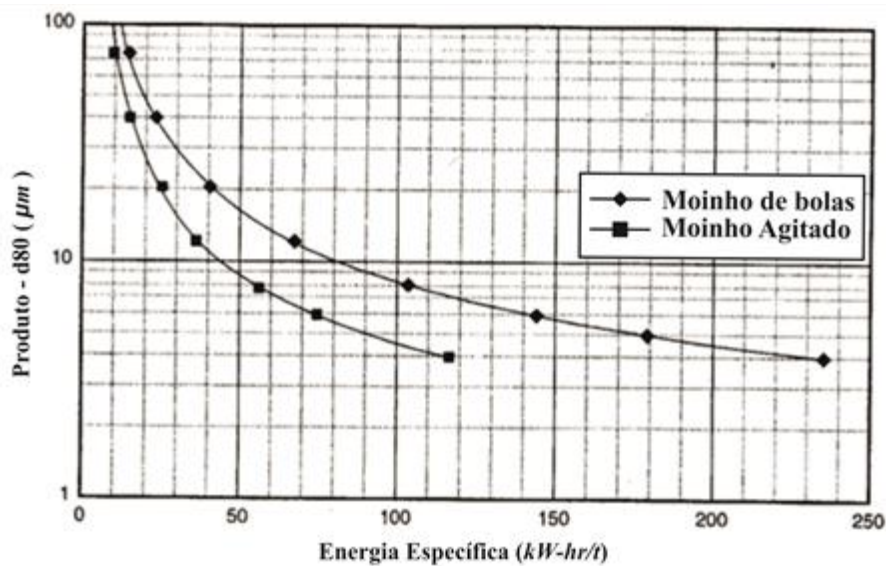


Figura 2.3 Comparação do desempenho do moinho de bolas tipo tamboramento e o moinho de meio agitado, operados a circuito fechado (LICHTER e DAVEY 2006).

O moinho agitado gasta até metade da energia que o moinho do tipo tambor, para gerar um produto com tamanho de partícula entre 1 a 10 µm (LICHTER e DAVEY 2006). Além mais eficientes para moagens de finos e ultrafinos eles também são mais econômicos (JANKOVIC *et al.*, 2003).

Esses moinhos são utilizados pelas indústrias: química, cerâmica, mineral, pigmentos, micro-organismos e outros materiais, sendo principalmente operados a úmido (KWADE *et al.*, 1997). Em 1950 com melhorias no *design* passaram a ser denominados de atritores. Operando ainda com baixa velocidade de rotação (velocidades tangenciais máximas de 6 m/s). Simultaneamente foram sendo desenvolvidos moinhos de meio agitado de alta velocidade, que operam com velocidades tangenciais de rotação entre 8 e 20 m/s, e com corpos moedores de menores dimensões. Logo foram substituídos por moinhos fechados, cujas carcaças ainda eram equipadas com uma jaqueta de resfriamento, sendo aquelas estacionárias e podendo ter uma disposição horizontal ou vertical (KWADE *et al.*, 1997). Os moinhos agitados podem ser utilizados em operações contínuas e descontínuas, embora sejam de aparência similar, seus regimes de

operação e seus desempenhos podem ser diferentes e divididos em duas classes: verticais e horizontais (LICHTER e DAVEY, 2006).

Exemplos de moinhos verticais são: Vertimill® (Figura 2.4), moinho de torre e moinho de pinos convencional (“Sala agitated mil”), os quais mesmo com baixas velocidades são muito eficientes na moagem de finos e ultrafinos. O agitador desses moinhos movimenta o meio junto com o fluido, existindo um efeito limite na interação entre eles. Durante a moagem atuam forças centrífugas que, somadas às forças gravitacionais, atuam em conjunto no carregamento de partículas pelos corpos moedores.

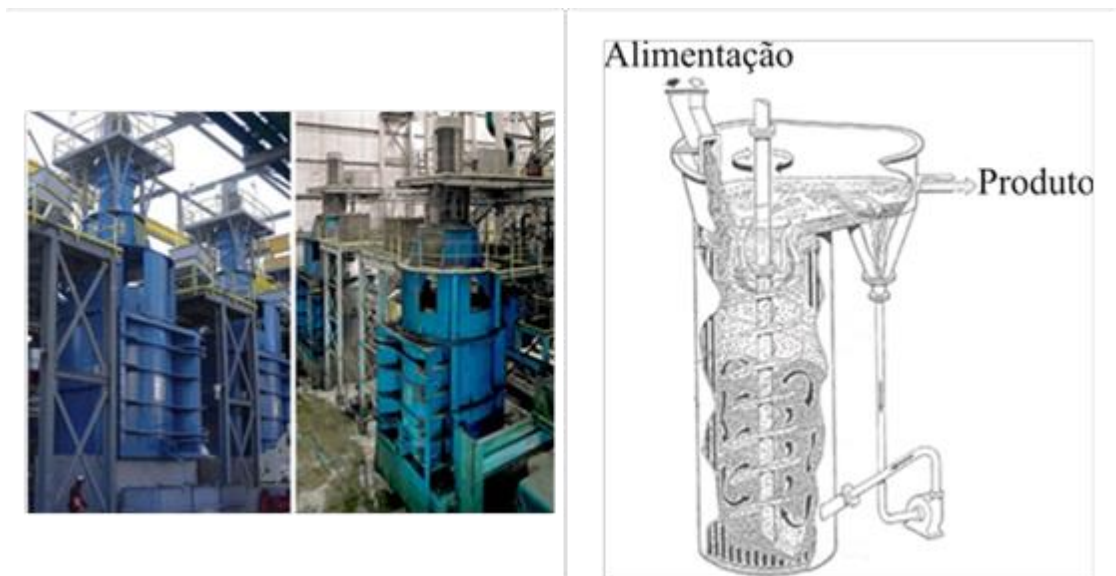


Figura 2.4 Moinho agitado industrial “Vertimill®” (FONTE: Metso) (a) e o movimento da polpa e as cargas de moagem no interior da carcaça do moinho agitado Vertimill® (b) (FLORES, 2010)

Exemplos de moinhos horizontais são: “stirred media detritor” (SMD) e o Netzsch - IsaMill, que utilizam corpos moedores muito pequenos e elevada velocidade de agitação, a qual é suficiente alta para fluidizar o meio. No item 2.4.2.1 serão descritas em maior detalhe as características do moinho atritor utilizado neste trabalho devido a sua eficiência na moagem de finos e ultra finos.

2.4.2.1 Moinho atritor

O moinho de atrição é um dos equipamentos mais eficientes para moagem fina, ultrafina ou dispersão para o processamento de materiais cerâmicos, indústrias de papel, mineral, fíleres, etc. Operando somente a úmido, a moagem ocorre como resultado do choque mecânico entre os corpos moedores e as partículas de materiais com baixa ou média resistência à fragmentação, apresentando forças de impacto e cisalhamento, que resultam na redução do tamanho (Figura 2.5).

Moinhos atritores usam corpos moedores de aço ou cerâmica em operações na indústria mineral, com diâmetros entre 1 e 10 mm. Na indústria cerâmica e química são usados corpos moedores de alumina, nitreto de silício e zircônia, os quais se destacam por sua alta densidade e resistência ao desgaste e à fratura, entre outras propriedades. Também são utilizados corpos moedores com diâmetros entre 12 μm e 0,045 μm , que são adequados para moagem ultrafina, permitindo uma melhor dispersão da energia transmitida ao moinho.



Figura 2.5 Moinho agitado atritor Szegvari (a) e o mecanismo de funcionamento e as forças exercidas no moinho atritor (b) (FLORES, 2010)

2.4.3 Resistência de partículas

A maior parte das pesquisas em cominuição se preocupa em determinar o tamanho de partículas ao longo do processo ou como se processa essa redução de tamanho (TAVARES *et al.*, 2009), principalmente quando o objetivo da cominuição é a produção de micropartículas e nanopartículas. A redução ocorre com a fratura (quebra) das partículas maiores devido a tensões que são geradas no interior do moinho. Porém, o mecanismo de quebra das partículas também influencia a distribuição de tamanho da carga moída.

Dois mecanismos já são bem estudados e aceitos como causadores de quebra de partículas que são a fratura e atrição. O mecanismo de fratura de partículas ocorre com a propagação de fissuras no seu interior dividindo-a em fragmentos menores, enquanto que a atrição consiste em um desgaste da superfície tornando-a menor (PICHUMANI, *et al.*, 2004). Esses mecanismos são denominados com base no efeito causado na partícula.

Os efeitos são oriundos de forças que atuaram sob a partícula deformando-a e criando um estado de tensões que corresponde a um aumento de energia no interior da partícula. Após certo limite ela responderá deformando inelasticamente ou propagando fissuras, dependendo do estado de tensões, das funções mecânicas do material, da sua homogeneidade e tipo de falhas.

O comprimento e números de falhas internas influenciam na quebra de partículas. Quanto menor a partícula maior a tensão para quebrá-la, isso por que, em micropartículas essas falhas são menores em número e comprimento (SCHÖNERT, 1988). Portanto, o tamanho da partícula influencia no mecanismo de redução do seu tamanho, sendo que quanto menor a partícula maior a sua resistências às tensões externas geradas durante o processo de cominuição.

Yashima, *et al.* (1987) relacionaram a resistência à compressão com o volume de amostras na faixa de tamanho de 100×10^3 a $30 \mu\text{m}$ para cinco minerais e dois tipos de esferas de vidro. Observaram que as esferas de vidro apresentaram uma relação linear

entre a resistência e o tamanho, enquanto que os minerais apresentaram estágios lineares de acordo com uma faixa de tamanho. Isso está relacionado com a configuração dos defeitos e trincas internas, as quais diminuem com o tamanho, sendo evidenciado pelo aumento da resistência.

Schönert (1988) determinou a resistência à compressão de diferentes materiais frágeis entre eles o quartzo (1000 MPa para 10 μm), e estes materiais apresentaram dentro de uma faixa de tamanho de partículas com determinado comprimento um comportamento de transição de elástico para inelástico. Sikong *et al.* (1990) buscaram o tamanho crítico de partículas que apresentam esse comportamento elástico/plástico usando a teoria da elasticidade e imagens de microscopia, e observaram que os minerais mais resistentes eram os de tamanho crítico menor.

Os equipamentos usados atualmente para a determinação da resistência de partículas são dotados de uma tecnologia que permite a aplicação de cargas a uma determinada taxa, gerada por um sistema de indução magnética. A aquisição de dados é feita pela leitura automática de sensores ou “extensômetros”, sendo este último o responsável pela determinação da medida da deformação, gerando a curva força-deformação, na qual podemos avaliar os eventos da fratura e a energia correspondente (RIBAS *et al.*, 2014). Esse é um tipo de teste de compressão lenta uniaxial.

A maior vantagem sob os teste de impacto é a possibilidade do total controle de todo o processo de compressão, tendo ainda câmeras microscópicas que capturam imagens dinâmicas permitindo visualizar os fenômenos de quebra de partícula, como a transição de comportamento elástico-plástico. Sua precisão permite a medida de partículas tão finas como de 1 μm e cargas de até 4N.

As curvas de força-deformação fornecem parâmetros importantes sobre o comportamento de uma única partícula quando submetida a um esforço de compressão uniaxial. Um deles é a resistência da partícula obtida à primeira fratura. Também é calculada a energia de fratura dessa partícula pela área abaixo desse trecho.

Na Figura 2.6 são apresentadas as curvas força-deformação de duas partículas de clínquer de cimento de tamanhos diferentes e, em uma delas, podem-se observar através dos picos os eventos de fratura (a) e na outra um trecho sem picos indicando deformação inelástica (b), sendo que o último ponto nas duas curvas corresponde à fratura total das partículas (SCHÖNERT, 1991). Tais curvas permitiram visualizar a influência do tamanho no comportamento da partícula durante o carregamento.

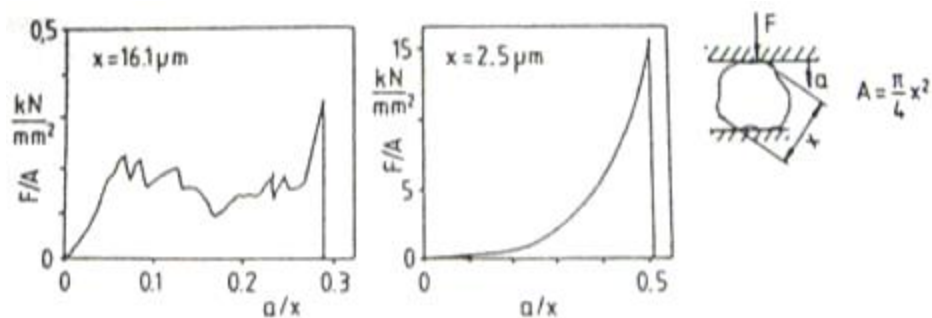


Figura 2.6 Diagrama de tensões de uma partícula de clínquer

A Figura 2.7 apresenta uma curva força-deformação de uma esfera de vidro e de uma partícula de quartzo da qual Schubert (1987) faz interessantes observações. Antes da quebra da esfera de vidro, representada pelo primeiro ponto antes da formação do trecho reto, a deformação foi elástica. Porém a partícula de quartzo apresenta uma curva ascendente com uma série de deformações elásticas e pequenas fraturas que Schubert atribui a eventos de diminuição devido à abrasão. O ponto T corresponde a quebra das arestas da partícula, e a partir do ponto E a partícula volta a ser solicitada, apresentando novamente degradação por abrasão até o ponto P, quando a partícula é fragmentada. As curvas permitem a análise do efeito da forma da partícula no seu comportamento durante a compressão.

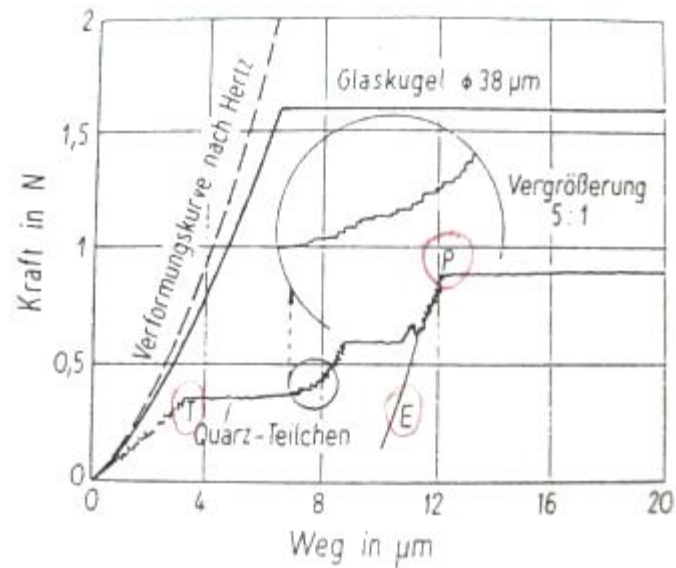


Figura 2.7 Curva força –deformação de uma esfera de vidro e de uma partícula de quartzo

A curva da Figura 2.8 apresenta outra situação de teste de compressão uniaxial, a zona A representa o carregamento sem ainda encostar na amostra, na zona B tem-se o momento que toca a partícula até a sua quebra, a zona C representa a compressão dos fragmentos até total compactação e o ponto D representa o retorno da força (PICHUMANI *et al.*, 2004). As curvas das Figura 2.7 e Figura 2.8 foram obtidas por equipamentos com mecanismo de aquisição diferentes, porém os eventos são observados da mesma forma.

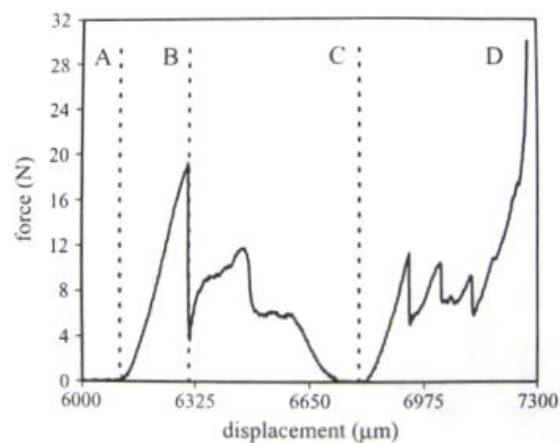


Figura 2.8 Gráfico típico de força-deformação de partícula obtido por um “robotic compression test”

Portanto as partículas podem apresentar comportamentos elásticos e inelásticos, dependendo do tamanho, da forma e de propriedades intrínsecas do material. Vários modelos matemáticos buscam ainda descrever o modo de fratura e distribuição de tamanhos dos fragmentos. Esses estudos são feitos com partículas de vários tamanhos e formas de partículas e sob condições variadas de stress. Um modelo que combina o mecanismo de dano contínuo e a teoria de Hertz descreve a probabilidade de fratura e a distribuição de tamanhos dos fragmentos de partículas submetidas a testes de impacto simples e duplo (TAVARES, 2009). Outra proposta de modelo interessante determinou propriedades mecânicas de uma microesfera sob compressão, e utilizou modelos de materiais poroelásticos e viscoelásticos com os dados experimentais por método de elementos finitos (NGUYEN *et al.*, 2009).

CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado na confecção das argamassas foi do tipo CPI-32 da empresa Cimento Vencemos do Amazonas Ltda. A Figura 3.1 apresenta a curva granulométrica do CPI-32, determinada pela técnica de espalhamento a laser.

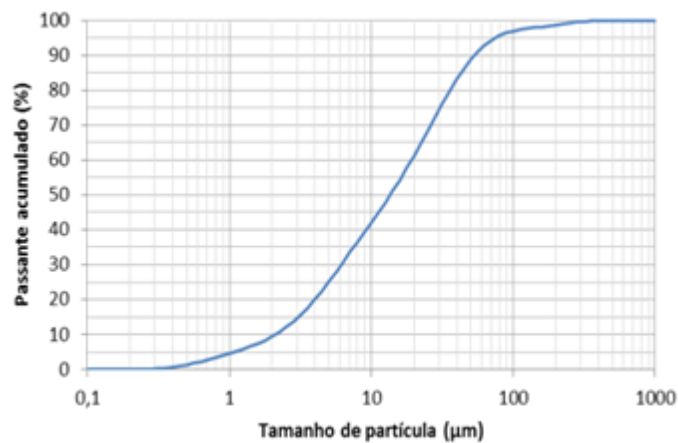


Figura 3.1 Distribuição granulométrica do CPI-32

Os resultados dos ensaios de caracterização física e química são apresentados na Tabela 3.1 e 3.2. Os ensaios foram realizados no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) segundo as informações do fabricante do cimento.

Tabela 3.1 Ensaios Físicos e Mecânicos do CPI-32

Ensaios Físicos		Normas	Resultados	Limites da NBR – 5732/91 CPI (Classe 32)			
Finura – Resíduo na peneira de 0,075mm(%)		NBR 11579/91	0,2	≤12,0%			
Água para pasta normal (% massa do cimento)		NBR NM 43/03	28,8	-			
Início de pega (h:min)		NBR NM 65/03	03:15	≥60min (01h)			
Fim de pega (h:min)		NBR NM 65/03	04:15	≤600min (10h)			
Expansibilidade – frio (mm)		NBR 11582/91	0,0	≤5,0mm			
Expansibilidade – quente (5h) (mm)		NBR 11582/91	0,0	≤5,0mm			
Massa específica (kg/m ³) (IPT)		NBR NM 23/01	3140,00	-			
Massa específica (kg/m ³) (Labest)		Picnometria a gás					
Finura – Método Blaine (m ² /kg)		NBR NM 76/98	375	≥260			
Ensaios Mecânicos							
Resistência à compressão (Mpa) – NBR 7215/96							
Corpo de prova n°							
Idades (dias)	1	2	3	4	Média	DRM (%)	Limites da NBR 5732/91 CPI (Classe 32)
3	31,8	31,5	32,1	32,0	31,9	1,3	≥10,0MPa
7	47,1	46,3	44,8	45,7	46,0	2,6	≥20Mpa
28	56,6	57,1	54,5	56,3	56,1	2,9	≥32MPa

Fonte: Empresa Cimento Vencemos do Amazonas Ltda

Tabela 3.2 Ensaios Químicos do Cimento

Determinações	Resultados (%)	Limites especificados NBR5732/91 (%)
Perda ao fogo	1,59	≤2,0
Anidrido silícico (SiO ₂)	20,9	-
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	5,21	-
Óxidos férrico (Fe ₂ O ₃)	4,15	-
Óxido de cálcio (CaO)	64,3	-
Óxido de magnésio (MgO)	1,26	≤6,5
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	2,81	≤4,0
Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,09	-
Óxido de potássio (K ₂ O)	0,26	-
Equivalente alcalino (em Na ₂ O)*	0,26	-
Sulfeto (S ²⁻)	Não detectado	-
Óxido de cálcio livre	2,41	-
Resíduo insolúvel	0,3	≤1,0
Anidrido carbônico (CO ₂)	0,48	≤1,0
Material carbonático (CaCO ₃)**	1,1	0

*Equivalente alcalino (em Na₂O) = %Na₂O + 0,658x%K₂O.

**Teor calculado estequiometricamente por meio do resultado de ensaio do anidrido carbônico (%CO₂ x2,27=CaCO₃).

Fonte: Empresa Cimento Vencemos do Amazonas Ltda

Foi ainda determinado o teor de saturação do cimento com o superplastificante pelo método do cone de Marsh, o qual também avalia a compatibilidade do cimento com

superplastificante. Os resultados estão expressos na Figura 3.2, fornecidos por Paiva (2009), que também utilizou o mesmo lote do cimento usado neste trabalho.

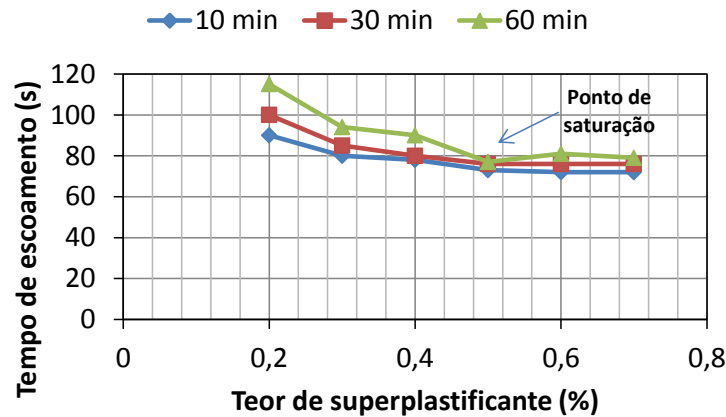


Figura 3.2 Curvas de escoamento em cone Marsh para pastas com diferentes teores de aditivo
Fonte: PAIVA, 2009

Os ensaios de determinação da distribuição granulométrica, massa específica e o ensaio de compatibilidade foram realizados para serem usados como parâmetros de moagem e dosagem e estão descritos nos itens 3.2.1.5, 3.2.1.6 e 3.2.4.2.1 respectivamente.

3.1.2 Aditivos minerais

Foram adquiridos no comércio local tijolo, telha e cerâmica de piso esmaltada de PEI II para a produção da fração cerâmica do RCD. A Figura 3.3 apresenta as curvas de distribuição granulométrica desses materiais após o processo de moagem, descrito detalhadamente no item 3.2.1.4, para a produção dos aditivos TJ30, TL30, C30, TJ10, TL10, C10, TJ1, TL1 e C1 em comparação ao cimento. Tal simbologia representa as iniciais do tipo de cerâmica e o tamanho nominal de partícula em μm .

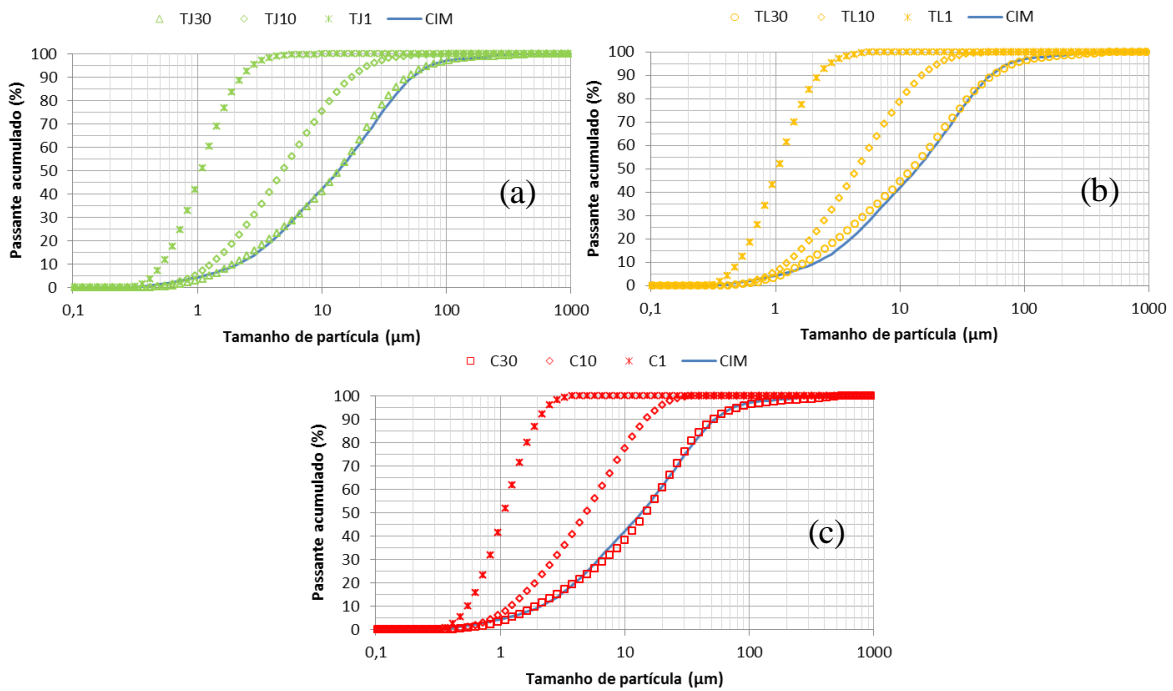


Figura 3.3 (a) Distribuições granulométricas das amostras TJ30, TL30 e C30, (b) das amostras TJ10, TL10 e C10 e (c) das amostras TJ1, TL1 e C1, todas em comparação a CPI-32

Na Tabela 3.3 constam as principais características de cada adição mineral produzida, determinadas por métodos de caracterização descritos detalhadamente nos itens 3.2.1.6, 3.2.2 e 3.2.3.

Tabela 3.3 Características físicas, químicas e mineralógicas das adições minerais

Características	TJ30	TJ10	TJ1	TL30	TL10	TL1	C30	C10	C1
d10 (µm)	1,98	1,30	0,52	1,76	1,28	0,51	1,96	1,23	0,55
d50 (µm)	13,58	4,90	1,08	12,45	4,61	1,06	14,81	4,92	1,07
d60 (µm)	18,22	6,43	1,25	17,77	5,96	1,23	19,54	6,38	1,23
d80 (µm)	32,34	11,62	1,78	35,27	10,49	1,76	34,18	10,75	1,66
C _{NU} (%)	9,20	4,95	2,40	10,10	4,66	2,41	9,97	5,19	2,24
IAP(%)	89,13	84,29	81,66	90,07	83,50	82,31	103,97	115,09	80,59
Massa específica (g/cm ³)	2,82	2,78	2,88	2,78	2,72	2,76	2,67	2,66	2,83
Área de superfície específica – (m ² /kg)	408,34	711,98	2225,79	453,68	750,35	2363,46	423,53	778,61	2236,60
Área de superfície específica–BET(m ² /g)	24,2	21,45	36,24	22,9	27,4	45,6	1,46	2,99	23,83
Composição Mineralógica (%)									
Quartzo	37,17	36,45	27,52	22,06	21,67	16,19	40,96	40,61	32,37
Microclínio Intermediário	8,91	8,19	8,02	22,45	23,04	15,87	10,31	14,29	9,57
Hematita	5,26	5,09	3,69	2,37	2,37	1,67	4,28	4,47	3,37
Albita	0,00	0,22	0,40	4,77	4,06	3,77	5,93	4,64	3,00
Muscovita 2M1	6,90	6,47	5,20	11,41	12,62	8,38	1,77	0,00	0,00
Ferro α	0,32	1,20	6,56	0,05	0,91	4,87	0,71	1,57	7,97
Cristobalita baixa	2,42	0,50	0,16	1,71	1,82	1,15	2,57	5,30	2,31
Caolinita	6,37	6,63	4,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amorfos	32,65	35,25	44,14	35,19	33,52	48,11	33,48	29,11	41,40
Composição Química (%)									
SiO ₂	56,98	58,64	51,20	53,07	56,88	47,60	68,69	68,95	51,47
Al ₂ O ₃	31,79	29,17	22,10	33,08	30,09	22,95	16,70	16,51	11,69
K ₂ O	1,00	1,00	1,00	2,50	2,50	2,61	2,80	2,60	2,56
CaO	0,17	0,17	0,12	0,22	0,20	0,21	1,00	0,93	1,03
MgO	0,40	0,37	0,28	0,80	0,68	0,53	1,30	1,30	0,85
Fe ₂ O ₃	6,80	7,29	17,90	6,40	5,60	16,74	6,50	6,40	24,91
SO ₃	0,03	0,02	0,12	0,03	0,02	0,04	0,04	0,09	0,08
TiO ₂	0,78	0,86	0,77	1,40	1,00	1,40	0,65	0,60	0,57
Na ₂ O	0,08	0,09	0,63	0,27	0,37	0,67	1,30	1,40	1,33
Cr ₂ O ₃	0,02	0,22	2,60	0,00	0,17	2,51	0,02	0,18	3,69
NiO	0,00	0,09	1,30	0,00	0,07	1,30	0,00	0,02	0,16
Outros óxidos inferior a 1%	0,15	0,18	1,05	0,33	0,32	1,34	0,43	0,42	1,66
Perda ao fogo	1,80	1,90	0,93	1,90	2,10	2,10	0,57	0,60	0,00
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

3.1.3 Areia

A areia utilizada foi a normal brasileira (ou padrão) especificada na NBR 7215 (ABNT, 1996) para o uso na argamassa de consistência normal. A areia foi fornecida pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) a qual segue as especificações da ABNT NBR 7214 (2012). Os lotes adquiridos foram 05, 09, 50 e 12 de 2012 correspondentes a

1,2mm, 0,6mm, 0,3mm e 0,15mm, respectivamente. As características físicas são apresentadas na Tabela 3.4 e sua distribuição granulométrica na Figura 3.4.

Tabela 3.4 Caracterização física da areia do IPT

Ensaio	Resultado				Composição de acordo com NBR 7215	Norma
	1,2mm	0,6mm	0,3mm	0,15mm		
Módulo de finura (mm)	5,03	3,86	4,25	2,92	4,97	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Dimensão máxima característica (mm)	2,38	1,70	1,00	0,3	2,38	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica (g/cm ³)	2,6821	2,6709	2,6703	2,6905	2,6784	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Compacidade experimental- ϕ (cv)	0,60 (0,38)	0,62 (0,16)	0,59 (0,23)	0,59 (0,86)	-	-

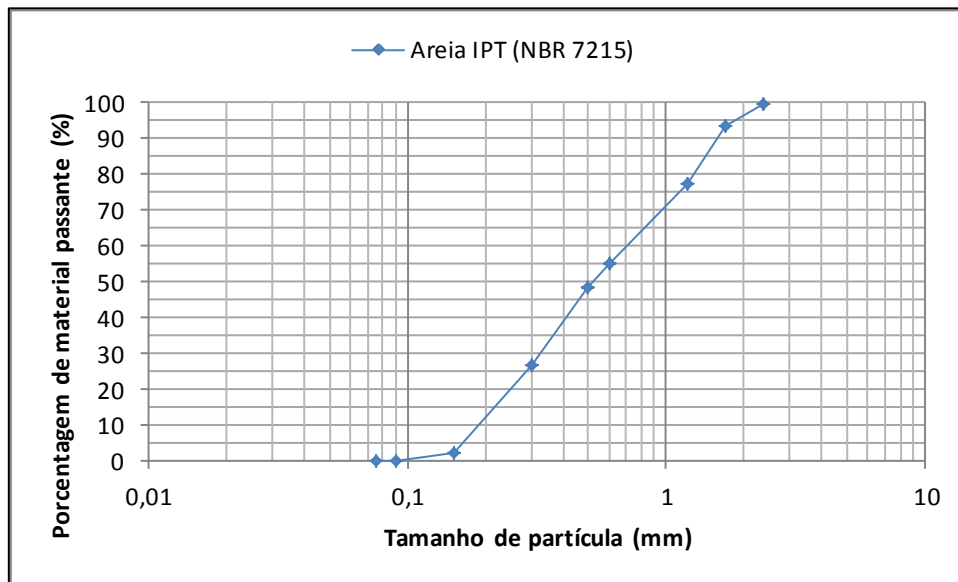


Figura 3.4 Distribuição granulométrica da areia padrão do IPT

3.1.4 Aditivos químicos

O aditivo superplastificante Glenium 51[®] foi usado na produção das argamassas e suas características são apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 Características físicas e químicas do superplastificante

Ensaio	Especificação		Resultados referente ao SP utilizado*
	Máximo	Mínimo	
Teor de sólidos (%)	32,00	29,00	30,99
pH	7,00	5,00	6,96
Densidade (g/cm ³)	1,085	1,055	1,077

Na moagem para obtenção das partículas de 1 μm utilizou-se o aditivo químico hexametáfosfato de sódio, um reagente dispersante em pó fabricado pela Proquimios, e representado neste trabalho como HMPNa.

3.1.5 Água

Água deionizada foi utilizada na moagem a úmido para a produção das amostras de tamanhos nominais de 10 μm e 1 μm , na solução usada na cura dos corpos de prova, no ensaio de demanda d'água e na produção das argamassas.

3.2 MÉTODOS

Neste item estão descritos procedimentos e ensaios adotados na caracterização física, química e mineralógica dos materiais e na produção das argamassas assim como na determinação de suas propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade. Os ensaios e procedimento foram agrupados conforme ilustra a Figura 3.5.

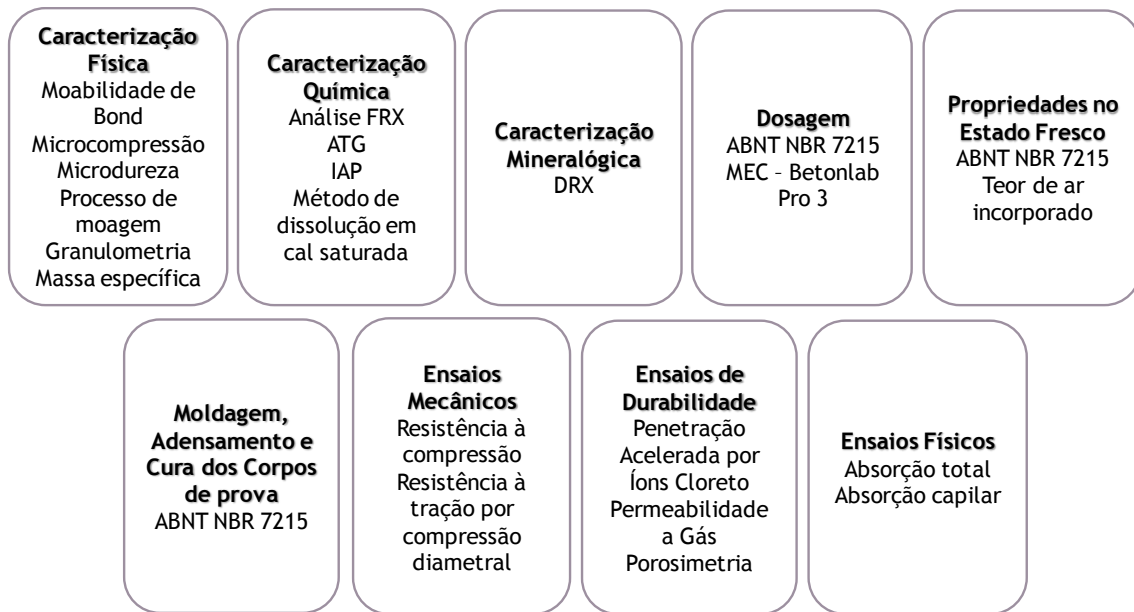


Figura 3.5 procedimentos e ensaios agrupados por características e propriedades das adições e argamassas

3.2.1 Caracterização física

3.2.1.1 Ensaio de Moabilidade de Bond

Na década de 1950, Fred Bond definiu W_i ou índice de trabalho como a energia específica necessária para cominuir um material de uma granulometria muito grossa para uma inferior a 100 μ m em até 80% de sua massa inicial (BOND, 1952). A equação proposta por Bond para calcular o índice de trabalho é apresentada pela equação:

$$W_i = 1,1 \frac{44,5}{T^{0,23} \times M_i^{0,82} \times \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{A_{80}}} \right)} \dots \dots \dots \text{Equação 3.1}$$

Sendo:

- W_i é o índice de trabalho, em kWh/t;
- T é a abertura da malha teste de classificação, em micrometros;
- P_{80} é o d_{80} do produto, em micrometros;
- A_{80} é o d_{80} da alimentação, em micrometros.

O ensaio foi realizado conforme a NBR 11376 (ABNT, 1990) e o procedimento é iniciado garantindo que todo o material de partida é passante na peneira de abertura de 3,35mm. Em seguida o moinho é carregado com uma carga moedora padronizada com 20,1 kg de bolas de diferentes tamanhos e um volume de 700 ml da amostra é submetida à moagem inicial a um número arbitrário de rotações. Esse número foi igual a 200 rotações, porém no caso dos materiais cerâmicos deste trabalho foram usadas 100 rotações para telha e tijolo e 400 rotações para cerâmica, por apresentarem resistências aparentemente distintas à moagem. Após cada ciclo, os materiais são classificados usando a peneira de corte, que no caso foi de 45µm. O procedimento de ensaio foi repetido até que a moagem entrasse em regime permanente de fluxo. Uma vez alcançada essa condição mediu-se a distribuição granulométrica do produto passante e estimou-se o índice de moabilidade dos materiais cerâmicos usando a Equação 3.1. Esses valores são apresentados juntamente com os parâmetros de alimentação para as diferentes amostras na Tabela 3.6. A massa específica aparente seca foi determinada pela média de três massas da alimentação para um volume de 700 cm³.

Tabela 3.6 Parâmetros de alimentação para o ensaio de moabilidade de Bond

Material	Massa específica aparente seca (Kg/m ³)	Massa de alimentação (g)	D80 da alimentação (µm)	Mi Índice de moabilidade do material (g/rotação)
Telha	1192	834,18	2467	1,58
Tijolo	1214	849,77	2408	0,85
Cerâmica	1361	952,44	2403	0,86

A relação entre o índice de moabilidade e a energia específica na moagem é calculada usando a Lei de Bond, dada por:

$$E_e = 10 \times W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{A_{80}}} \right) \times K_1 \times K_2 \dots\dots\dots \text{Equação 3.2}$$

Onde:

- E_e é a energia específica, em kW/t;

- k_1 é o fator de correção para a moagem a seco (1,3);
- k_2 é o fator de correção para a moagem em circuito para 80% do material passante na malha de corte (1,2).

Adotou-se esta equação por se tratar de moagem grosseira em moinhos de bolas, porém as condições de moagem são para a moagem a úmido em circuito fechado. Por essa razão são adotados os fatores de correção k_1 e k_2 (BERALDO, 1987; FIGUEIRA e ALMEIDA, 2002) que ajustam as condições de moagem do ensaio realizado para a moagem a seco em circuito aberto.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM) do Programa de Engenharia de Metalurgia de Materiais, em moinho de bolas padrão (Figura 3.6).



Figura 3.6 Moinho rotativo padrão de Bond

3.2.1.2 Microcompressão de partículas

Para a determinação da resistência das partículas utilizou-se o Micro Compression Testing Machine da Shimadzu, modelo MCT-W Series 500 (Figura 3.7). Esse modelo testa partículas de 1 a 50 μm de diâmetro com cargas de 9,8 mN a 4900 mN medindo deslocamentos de 100 μm a 10 μm com 0,01 μm ou 0,001 μm de resolução.

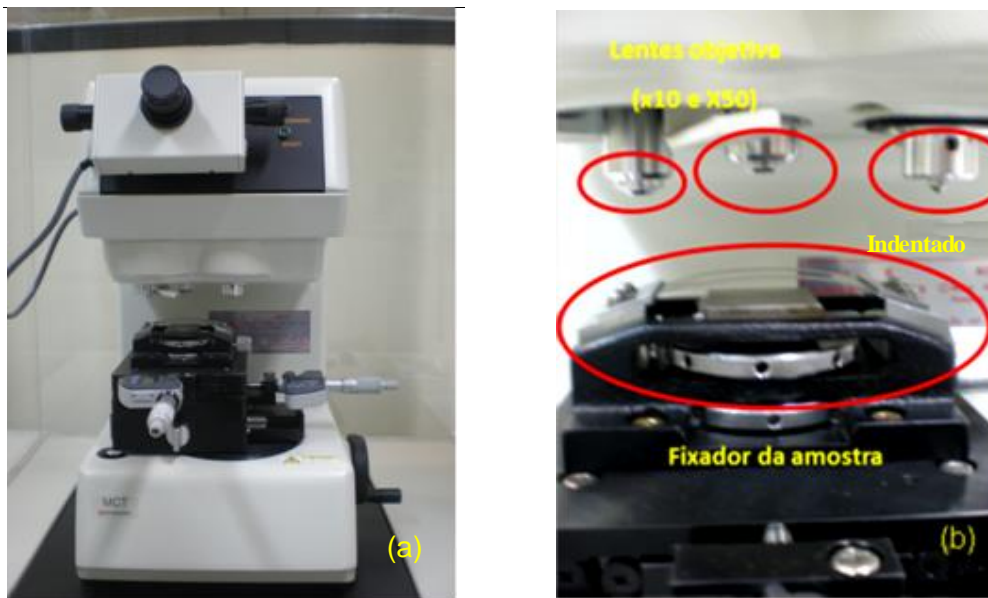


Figura 3.7 (a) Micro Compression Tester MCT-W /SHIMADZU; (b) Local de posicionamento da amostra

Esse ensaio foi adotado para estimar a resistência de partículas contidas no intervalo arbitrário de tamanhos de 38 a 45 μ m. Para os ensaios uma pequena quantidade de material foi dispersa em álcool PA e, com o auxílio de uma pipeta, colocado no porta-amostra. Após evaporação do álcool o porta-amostra com as partículas do material a ser analisado foi fixado na mesa do equipamento por uma lamina vazada tensionada para imobilizá-lo. Cada partícula foi escolhida primeiramente com o auxílio da lente óptica 10x, e com a lente de 50x visualizam-se as dimensões da partícula.

O MCT Séries 500 tem um software próprio com o qual se especifica as condições do ensaio como o tipo de carregamento, a carga, a velocidade e o número de partículas a serem analisadas. Para este trabalho especificou-se o carregamento de compressão simples com carga limite que variou de material para material. A velocidade foi calculada de acordo com a carga. O tempo de aquisição adotado foi 5s. O diâmetro médio foi calculado com a medição de duas dimensões perpendiculares entre si, visualizadas em uma posição mediana da partícula. Em seguida a lente foi ajustada até a altura correspondente ao topo da partícula e a mesa deslocada para a posição abaixo do indentador para o início no carregamento.

O princípio de funcionamento do MCT Series 500 é baseado em um sistema de geração de força eletromagnética (Equação 3.3) transmitida por uma haste que por sua vez transfere a força verticalmente usando um ponto de suporte de carregamento elástico para o indentador.

$$F=2\pi rnBI \dots \dots \dots \text{Equação 3.3}$$

Onde:

- F é a força gerada pelo campo magnético, em N;
- r raio da bobina, em m;
- n número de espirais da bobin;
- B é o campo magnético gerado pela corrente na bobina, em N/A m (que é igual a 1Tesla);
- I é a corrente elétrica que passa através da bobina, em A.

Ao atingir a força limite o ensaio é encerrado e em seguida, calculada a resistência à fratura por:

$$St(Sx)=\frac{2,8P}{\pi d^2} \dots \dots \dots \text{Equação 3.4}$$

Onde:

- St é tensão, em MPa;
- P é a força de carregamento, em N;
- d é o diâmetro da partícula, em mm.

O ponto de quebra da partícula é observado pela formação de um patamar no gráfico força versus deformação (Figura 3.8).

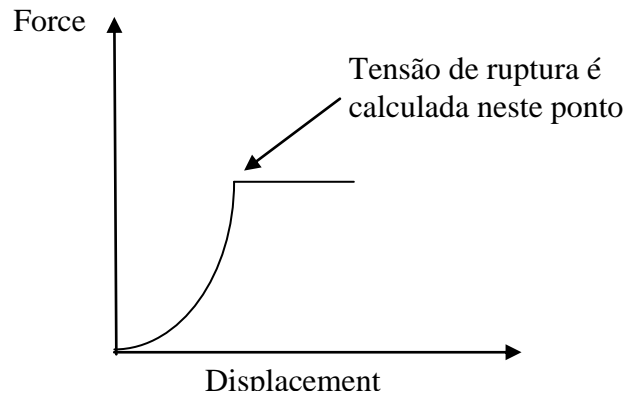


Figura 3.8 Curva de força-deslocamento típica de uma partícula

O equipamento ainda possui duas microcâmeras com x50 de aumento, uma posicionada na direção das lentes e outra posicionada no plano do porta amostra, as quais permitem visualizar a partícula para selecioná-la e posicioná-la para a identificação. Durante a aplicação da carga na partícula o equipamento gera um vídeo que mostra o comportamento da partícula sob a aplicação da carga. O programa permite ainda após o término do ensaio, visualizar de forma sincronizada a evolução do gráfico com o vídeo. A tensão é calculada pelo programa mas é possível mudar o ponto de ruptura e fazer novo cálculo da tensão de ruptura. A aplicação desse equipamento na medida de resistência de partículas de formatos irregulares é apresentada em outra publicação (RIBAS *et al.*, 2014).

Foi calculada ainda a energia específica de fratura a qual foi determinada pela integral da curva força versus deformação, correspondente ao trecho da curva antes da formação do patamar formado após ao ponto de ruptura, conforme a seguinte equação:

$$E_m = \frac{1}{m_p} \int_0^{\epsilon_c} F d\epsilon \dots \dots \dots \text{Equação 3.5}$$

$$m_p = \beta \rho d^3 \dots \dots \dots \text{Equação 3.6}$$

Onde:

- E_m é a energia específica de fratura, em J/kg;

-
- m_p é a massa da partícula, em kg;
 - ε_c é a deslocamento no ponto de fratura, em m;
 - F é a força de carregamento, em N;
 - ρ é a massa específica do material da partícula, em kg/m^3 ;
 - β é o fator de forma, adotado neste trabalho como 0,43 (TAVARES e KING, 1998);
 - d é o diâmetro da partícula, em m.

Os valores médios dos dados de força, deslocamento, diâmetro, resistência e energia de fratura do TJ, TL e C foram determinados pela média dos resultados individuais de 20 partículas de cada material.

3.2.1.3 Microdureza superficial

O Dynamic Ultra-micro Hardness Tester DUH-211 (Figura 3.9), também da SHIMADZU, é um microdurômetro que determina dureza em superfícies de materiais como metais e não-metais (como plásticos, borrachas e cerâmicos). Realiza ensaios de identificação simples, carregamento e descarregamento (“Load-unload test”) e carregamento cíclico (“cycle test”).

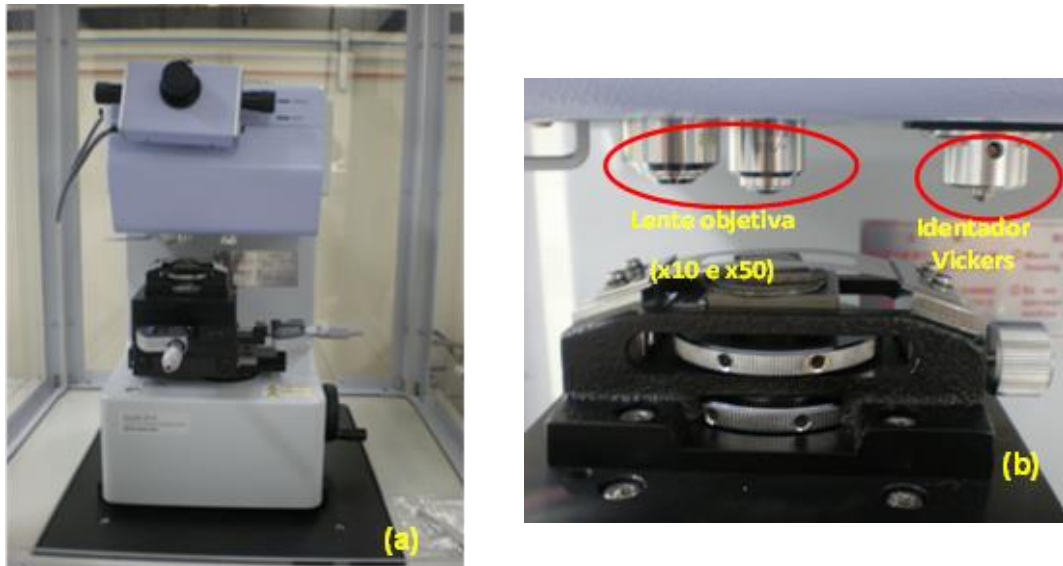


Figura 3.9 (a) Microdurômetro Dynamic Ultra-micro Hardness DUH-211/SHIMADZU; (b) Local de posicionamento da amostra

As amostras foram submetidas ao teste de carregamento e descarregamento, cujos parâmetros do ensaio constam na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 Parâmetros de ensaio para o teste de carregamento e descarregamento

Parâmetro	Valores limites
Faixa de força máxima	0,1 a 1961mN
Faixa de força mínima	0,1% a 80% da força máxima
Faixa de tempo de carregamento na força máxima	0 a 999 segundos
Faixa de tempo de descarregamento na força máxima	0 a 999 segundos
Faixa da velocidade constante de carregamento (ver Tabela 3.8)	a 100

*Velocidade de carregamento (mN/sec) = k/velocidade constante de carregamento

Ao término do ensaio são calculados automaticamente a dureza da superfície da amostra (Equação 3.5), módulo de indentação (comparável ao módulo de Young do material, e calculado pela Equação 3.6) e trabalho de indentação no carregamento (trabalho da deformação plástica, W_{plast}) e no descarregamento (trabalho da deformação elástica, W_{elast}) (Figura 3.10).

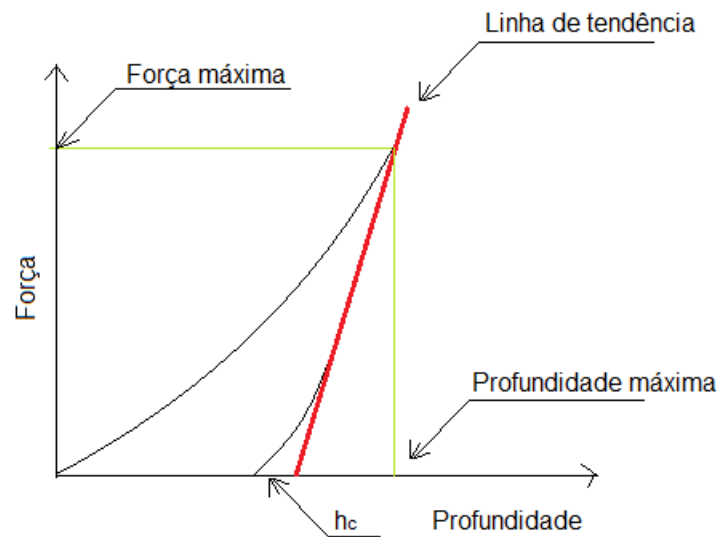


Figura 3.10 Curva típica de carregamento e descarregamento com o parâmetros para o cálculo da dureza e do módulo de Young

$$HV = 189,10 \times \frac{F}{L^2} \dots\dots\dots \text{Equação 3.7}$$

Sendo :

- HV é a dureza Vickers;
- F é a força aplicada (mN);
- L é o valor medido das diagonais da marcação ($L = (L_1 + L_2) / 2$), em micrometros.

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1 - \nu^2)}{E_i t + (1 - \nu_i^2)} \dots\dots\dots \text{Equação 3.8}$$

Onde:

- Er é o módulo de Young obtido pela formula : $S = 2Er \frac{A_p^{0,5}}{\pi^{0,5}}$, sendo $A_p = 24,5h_c^2$ (indentador Vickers);
- Ei é o módulo do indentador ($1,14 \times 10^6 \text{N/mm}^2$);

- ν_i é o coeficiente de Poisson do indentador (0,07);
- E_i é o módulo da indentação (módulo de Young);
- ν é o coeficiente de Poisson da porção indentada;
- S é a inclinação da curva de descarregamento;
- A_p é a projeção da área de contato.

O preparo das amostras em pó segue o procedimento descrito a seguir:

- Preparação da resina a frio, na proporção de 1/10 de endurecedor;
- A amostra é posicionada no fundo do molde de borracha (dimensões interna: diâmetro médio de 5mm e espessura média 10mm) previamente revestido por óleo mineral (Figura 3.11(a));
- A resina é despejada até a borda do molde;
- Após 24 horas de cura ao ar, as pastilhas são desmoldadas (Figura 3.11(b));
- Em seguida a espessura de sua base (a qual não contém a amostra) é reduzida a fim de permitir sua colocação no porta-amostra do DUH, cuja medida máxima deve ser 7 mm;
- A superfície que contém a amostra é submetida a uma série de operações de polimento com lixas d'água de gramatura de 300 até 2400 (Figura 3.11(c)).
- Durante o lixamento cuidado foi tomado para manter a pastilha na mesma direção de rotação da lixa, pressionando no sentido contrário ao movimento. A cada lixa trocada na sequência do lixamento a posição da pastilha no disco era girada até ficar perpendicular às ranhuras formadas no lixamento anterior (Figura 3.11(d)).
- Dependendo da posição da amostra na superfície da pastilha, amostras que já são visíveis pelo microscópio óptico, somente necessitam de polimento para tornar a superfície da resina espelhada para facilitar a visualização (Figura 3.11 (e)).



Figura 3.11 Procedimento de preparação das amostras para o DUH. (a) Moldagem das pastilhas de resina; (b) desmoldagem; (c) polimento da superfície com amostra; (d) Sentido das ranhuras após sequência de lixamento e (e) superfície acabada após polimento na lixa # 2400

Após preparação das amostras, as pastilhas são colocadas no porta amostra e ensaiadas. A força máxima aplicada foi de 200 mN a uma taxa constante de carregamento 43,79 mN/s, calculada pela constante k . Essa velocidade foi determinada por faixa de força de acordo com a Tabela 3.8.

Tabela 3.8 Constante k dada por faixa de força de carregamento, para o Load-Unload test

K	Faixa de força (F) (mN)
70,067	196,1<F≤1961
13,324	19,6<F≤196,1
1,463	1,96<F≤19,6
0,150	0,1≤F≤1,96

O DUH também possui uma microcâmera que além de facilitar a localização da partícula, permite que sejam capturadas imagens. Após o ensaio são medidas as dimensões da marcação a partir da imagem capturada pela microcâmera. A média dos resultados foi calculada a partir do ensaio de 10 partículas de cada material.

3.2.1.4 Processo de moagem

O processo de produção das adições minerais teve por objetivo obter produtos com granulometrias com 80% das partículas (d80) em três tamanhos diferentes. A primeira com d80 e distribuição granulométrica equivalente a do cimento (CPI-32). A segunda com d80 inferior a 10 μ m e a terceira com d80 inferior a 1 μ m, ambas obtidas a partir da primeira distribuição granulométrica. A Figura 3.12 apresenta o fluxograma completo do processo de britagem e moagem.

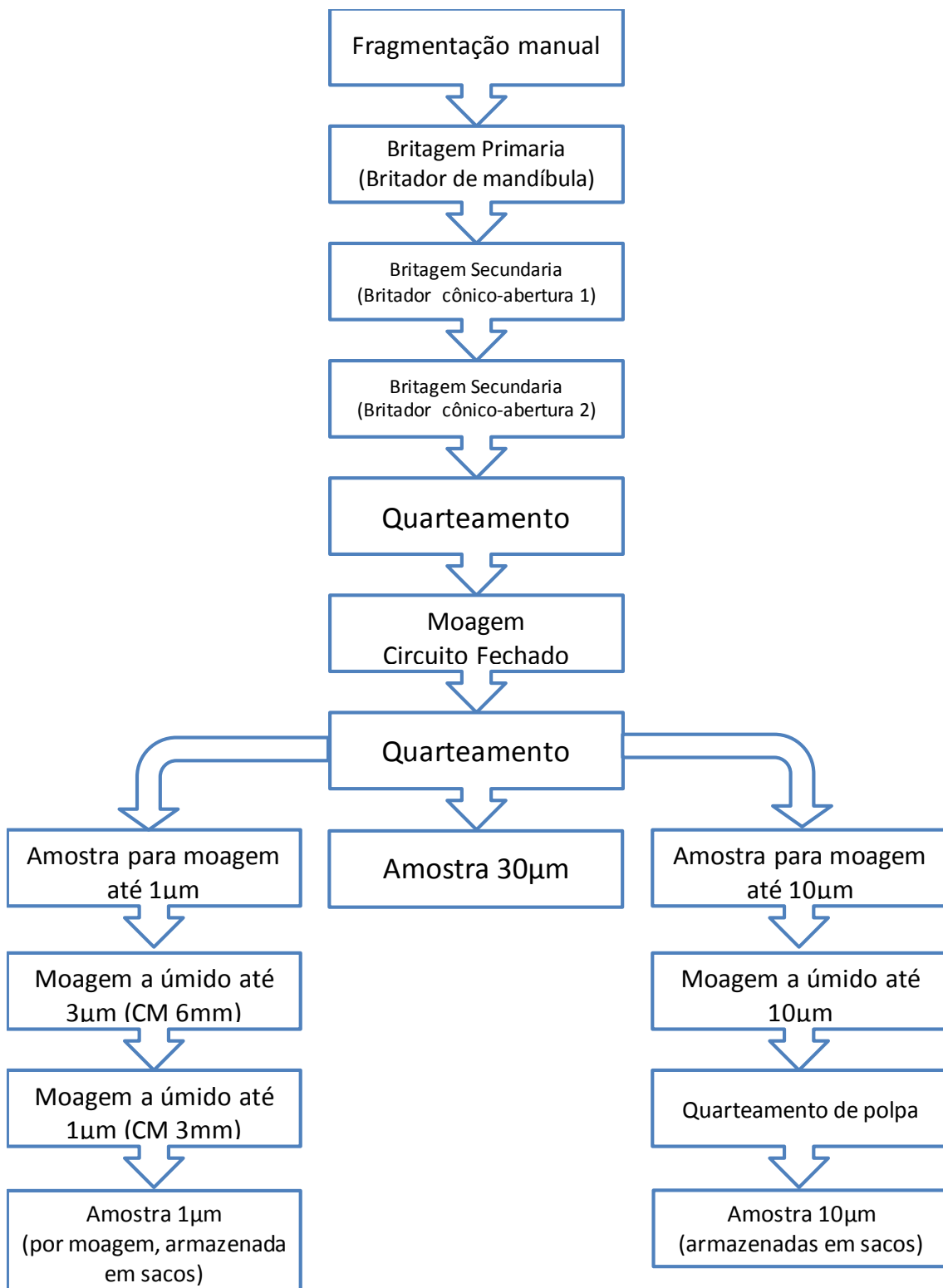


Figura 3.12 Fluxograma do processo de moagem

3.2.1.4.1 Britagem primária e secundária dos materiais

Antes da moagem fina dos materiais, os mesmos foram inicialmente submetidos a dois estágios de britagem. A britagem primária foi realizada em britador de mandíbulas DENVER 5"X6" (Figura 3.13), e a britagem secundária no britador cônico DENVER Nº 12 (Figura 3.14).

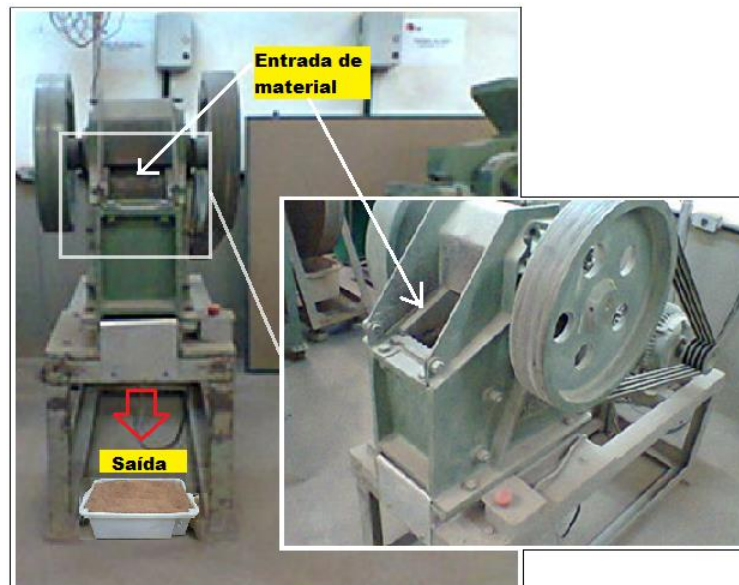


Figura 3.13 Britador de mandíbula (DENVER, 5"X6")

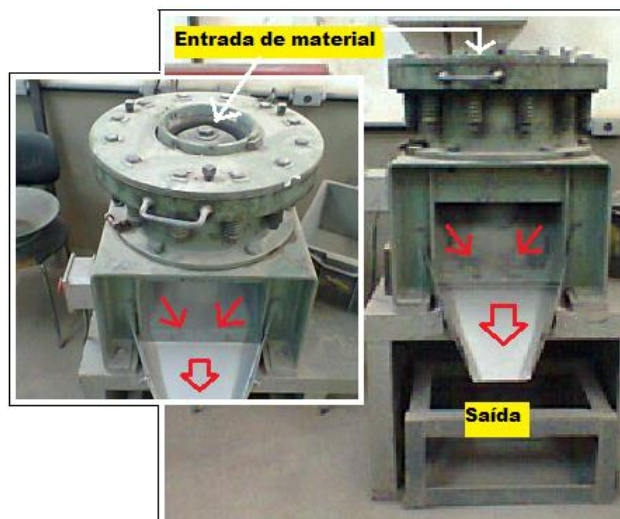


Figura 3.14 Britador cônico (DENVER Nº 12), sem o cone de alimentação para mostrar os detalhes da câmara de britagem

A britagem primária reduziu os fragmentos até partículas com tamanhos inferiores a 4,8 mm. Na britagem secundária o material foi passado duas vezes pelo britador, a primeira reduziu as partículas a tamanhos inferiores a, aproximadamente, 2 mm enquanto a segunda reduziu até tamanhos de partículas menores que 1 mm. Após a britagem os materiais foram quarteados como é demonstrado na Figura 3.15.

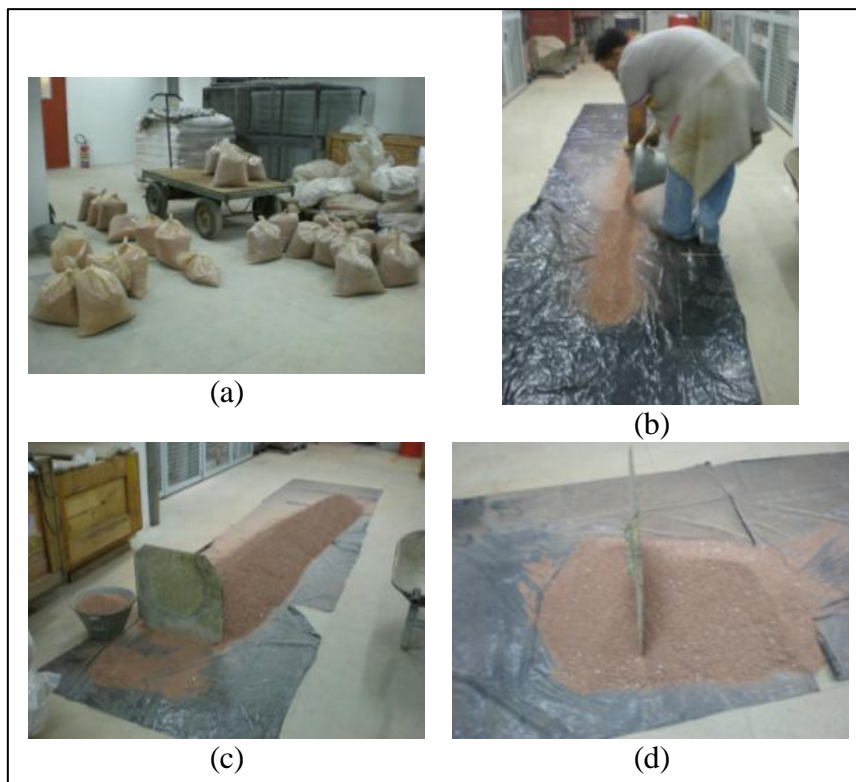


Figura 3.15 Procedimento de quarteamento das amostras: (a) amostras, (b) empilhamento da amostra, (c) quarteamento em quantidades iguais e (d) porção central da pilha utilizada para os ensaios

3.2.1.4.2 Moagem em circuito fechado

Para a obtenção da granulometria inicial similar àquela do cimento utilizou-se o circuito fechado de moagem da Figura 3.16. Esse circuito foi adotado pois ele permite reproduzir as condições às quais os materiais seriam submetidas quando da sua moagem em uma operação industrial, análoga àquela utilizada na moagem de cimento Portland.

O circuito é composto de um alimentador acoplado a um moinho de 30,7cm de diâmetro e 31,8cm de comprimento, um classificador acoplado à saída do moinho que separa a fração grossa da fração fina, retornando-a ao moinho através de um transportador (KALLEMBACK, 2012).

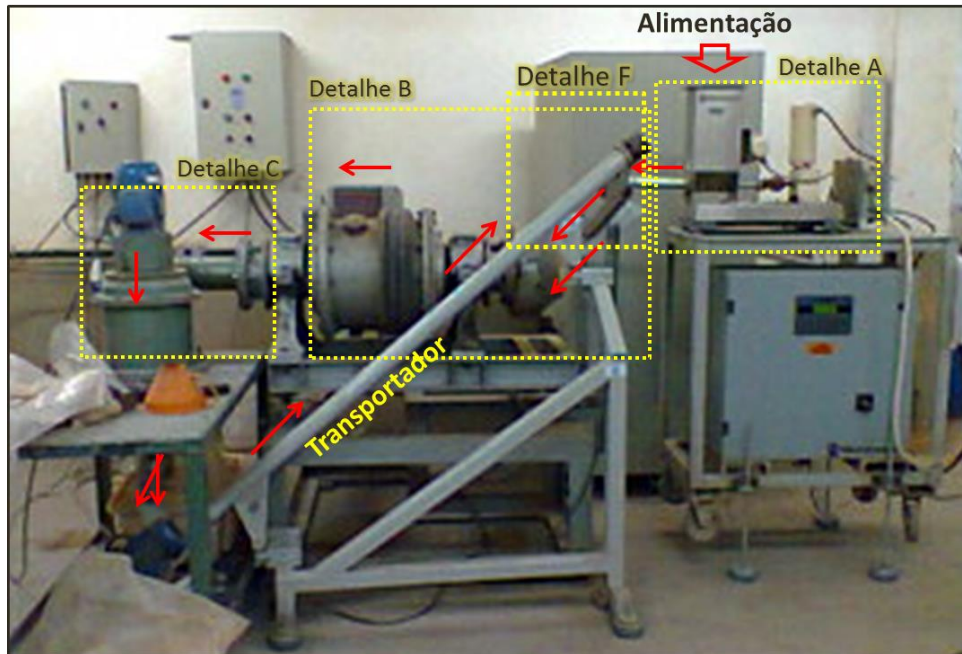


Figura 3.16 Moinho em circuito fechado (ver detalhes na Figura 3.16)

Na Figura 3.17 são apresentados os detalhes que ilustram o percurso do material no circuito fechado de moagem da Figura 3.16. Antes da moagem os materiais ainda passaram pelo processo de separação por peneiramento manual, em duas frações: grossa (acima de 0,6mm) e fina (abaixo de 0,6mm). Isso foi necessário a fim de evitar que na moagem conjunta dessas frações as partículas finas se tornassem mais finas e que as partículas grossas não sofressem o processo de quebra devido ao acúmulo dessas partículas mais finas aderidas aos corpos moedores.

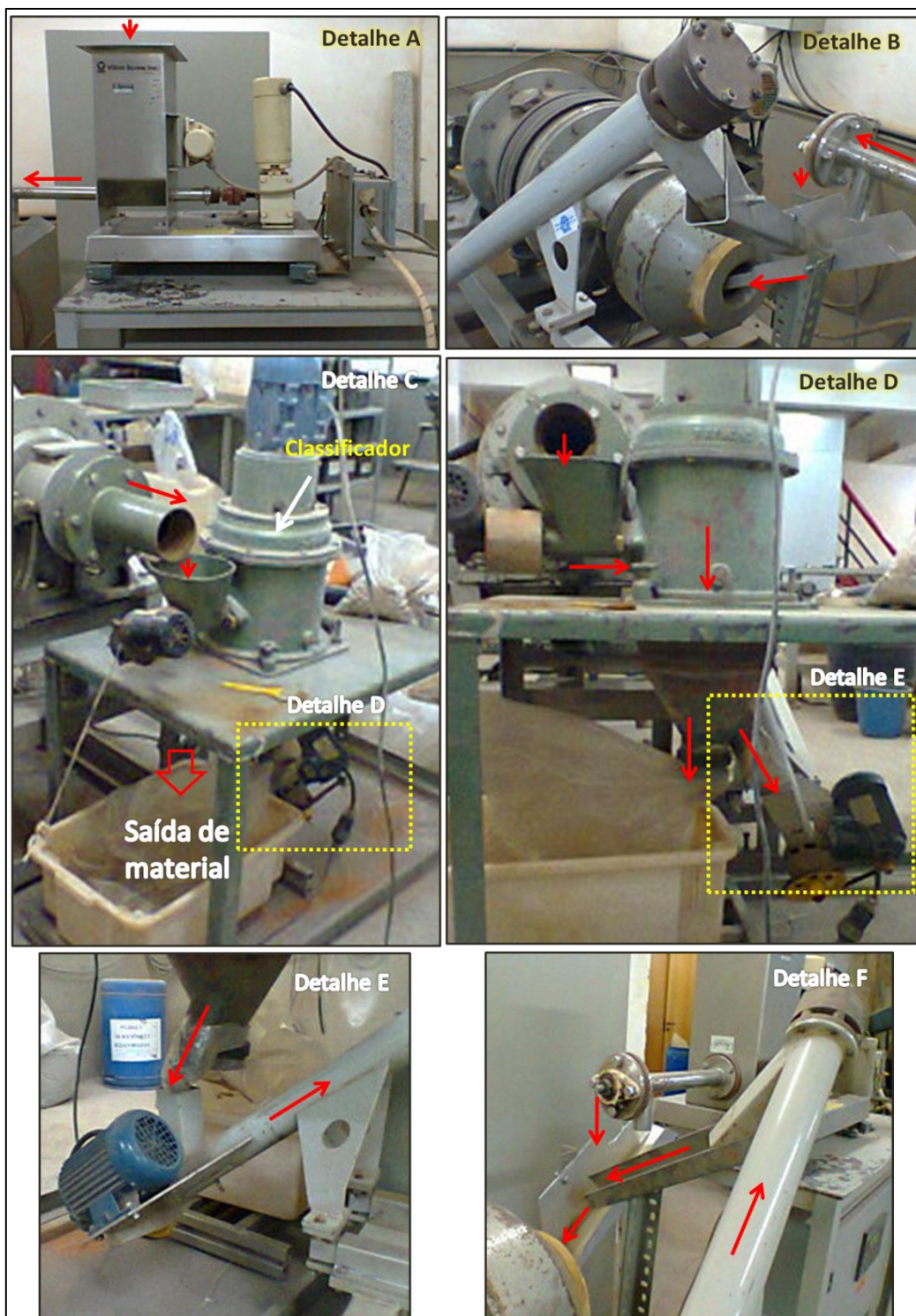


Figura 3.17 Detalhes do moinho em circuito fechado. Detalhes (A) Alimentador, (B) Material saindo alimentador entrando no moinho, (C) Material saindo do moinho entrando no classificador, (D) Separação do material fino, (E) Separação do material grosso para o transportador, (F) Retorno do material grosso para o moinho

Os parâmetros da moagem em circuito fechado são listados na Tabela 3.9, tem sido usados no cálculo da massa de corpos moedores e de material necessários para a moagem. Os corpos moedores utilizados foram de aço com diâmetro de 16mm, com esferas de massa específica igual a 7800 kg/m³.

Tabela 3.9 Parâmetros adotados para a condição de moagem e cálculo das quantidades de corpos moedores e de material

Parâmetros de moagem	Valores
Porosidade presumida da carga (fp)	40%
Grau de enchimento (J)	30%
Preenchimento de vazio (U)	103%
percentagem da velocidade crítica	75%
Taxa de alimentação (Win)	0,1kg/min

A partir da velocidade crítica de 78,2 rpm, calculada pela Equação 3.9, e a fração da velocidade crítica de 75%, (Tabela 3.8), a velocidade de rotação do moinho foi de 58,7 rpm (66,3 Hz). A massa de corpos moedores foi calculada pela Equação 3.10 e o valor encontrado foi de 31,27 kg. A massa de material usada como Hold-up foi calculada com a Equação 3.11 para cada material.

$$v_c = \frac{42,2}{\sqrt{(d_m - d_{cm}) \times 0,01}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.9}$$

$$m_{cm} = V_{\text{real moinho}} \times \left(\frac{J}{100}\right) \times \left(1 - \left(\frac{f_p}{100}\right)\right) \times \rho_{cm} \dots \dots \dots \text{Equação 3.10}$$

$$m_{\text{hold-up}} = \left(\frac{f_c}{100}\right) \times V_{\text{real moinho}} \times \left(1 - \frac{f_p}{100}\right) \times \rho_{\text{pó}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.11}$$

$$f_c = \left(\frac{U}{100} \times \frac{J}{100} \times \frac{f_p}{100}\right) \times 100 \dots \dots \dots \text{Equação 3.12}$$

Onde:

- v_c é a velocidade crítica em rpm;

-
- d_m é o diâmetro do moinho em cm;
 - d_{cm} é o diâmetro dos corpos moedores em cm;
 - m_{cm} é a massa de corpos moedores em g;
 - $V_{real\ moinho}$ é o volume real do moinho, em cm^3 ;
 - J é o grau de enchimento, em %;
 - f_p é a porosidade da carga, em %;
 - ρ_{cm} é a massa específica dos corpos moedores, em g/cm^3 ;
 - $m_{hold-up}$ é a massa de material a ser colocada no moinho para moagem em g;
 - f_c é a carga de material em %;
 - $\rho_{pó}$ é a massa específica do pó a ser moído em g/cm^3 ;
 - U é o preenchimento de vazios em %.

Para a faixa de tamanhos de corte desejada de 30 μm o classificador foi montado com uma palheta de 12 hastes e outra de 24 hastes. A sua velocidade de rotação foi ajustada de acordo com a granulometria desejada do material fino, com frequência de rotações mínima de 900 rpm e máxima de 1800 rpm. O tempo de moagem nas condições descritas acima foi de 2 horas desconsiderando as paradas.

A distribuições granulométricas ao final dessa primeira etapa de moagem de cada material é apresentada no gráfico da curva de distribuição granulométrica ilustrada na Figura 3.18.

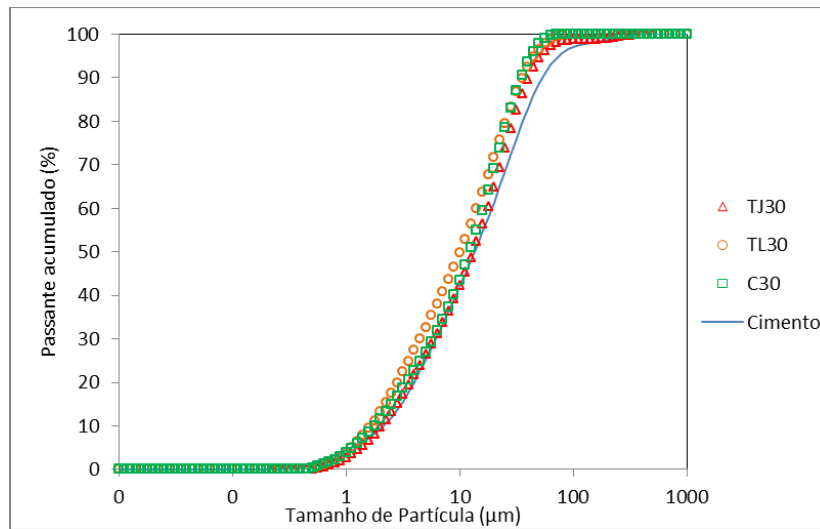


Figura 3.18 Distribuição granulométrica dos materiais cerâmicos após moagem a seco em circuito fechado

Para que as distribuições granulométricas coincidissem com a distribuição nominal do cimento foi necessário ajustá-las com certa quantidade de cada material obtida por peneiramento manual na distribuição de tamanhos das partículas adequada. O cálculo da distribuição granulométrica e a quantidade de material para o ajuste da curva foram determinados pela diferença entre a porcentagem de material retido na distribuição granulométrica do cimento e a obtida após moagem de cada material, para cada faixa de tamanho. O produto da quantidade total de material em massa, ao final da moagem, pela distribuição granulométrica da porcentagem retida resultante fornecia a quantidade de material a ser peneirada manualmente para cada faixa de tamanho da distribuição granulométrica de ajuste. Na Tabela 3.10 são apresentadas as distribuições granulométricas e as quantidades de material usados para o ajuste das distribuições. Para as frações com tamanhos inferiores a $75\mu\text{m}$ o peneiramento foi realizado a úmido.

Tabela 3.10 Quantidade de material por peneira para ajuste da granulometria das amostras de 30 μ m

Peneira (μ m)	Quantidade de material retido (%)			
	TJ30	TL30	C30	
Peneiramento mecânico a seco	500	0,00	0,00	0,00
	420	0,08	0,05	0,05
	350	1,83	1,63	1,44
	297	1,35	1,45	1,28
	250	2,50	3,25	2,86
	210	0,87	1,51	1,33
	177	1,19	2,53	2,23
	149	0,74	1,14	1,01
	125	3,54	2,90	2,55
	106	3,44	2,26	1,99
	88	11,51	7,49	6,89
Peneiramento manual a úmido	75	8,24	5,81	5,57
	53	20,51	28,00	28,89
	45	31,57	26,88	13,97
	38	12,64	15,10	29,95
TOTAL DE MATERIAL (g)	2.300,45	2.512,88	2.750,03	

A quantidade total de cada material produzido nessa etapa foi dividida em três partes iguais. Um terço desse material moído foi separado para compor a amostra que continha 80% das partículas de tamanho inferior a 30 μ m. Os dois terços restantes de cada material foram submetidos à moagem a úmido em moinho de alta energia, para obtenção das amostras com 80% das partículas nos diâmetros abaixo de 10 μ m e 1 μ m. Foi ainda estimada a energia específica da moagem em circuito fecha pela Equação 3.2 com apenas o fator de correção K_2 .

3.2.1.4.3 Moagem de alta energia

Para a obtenção de partículas com tamanhos inferiores a 10 μ m e 1 μ m a moagem deveria ser a úmido e com alta energia por isso foi utilizado o moinho atritor, Modelo 1-S Batch Atritor VFD da UNION PROCES (Figura 3.19).



Figura 3.19 Moinho atritor

A velocidade de rotação máxima do equipamento é de 350 rpm. O moinho possui um tanque de capacidade de 5,7 l e um agitador formado por uma haste central com pinos de rotação constante a qual promove a movimentação dos corpos moedores e do material. A área de maior agitação é localizada a aproximadamente $2/3$ do raio do eixo do agitador, como pode ser visto na Figura 3.20 (a). A moagem é feita sob a ação de forças de cisalhamento e impacto, ambas resultando em uma redução do tamanho, o que também promove uma dispersão mais homogênea das partículas e baixo desgaste das paredes do vaso (Figura 3.20 (b)). O moinho possui ainda um sistema de resfriamento por água que circula por dentro de uma câmara que envolve o tanque.

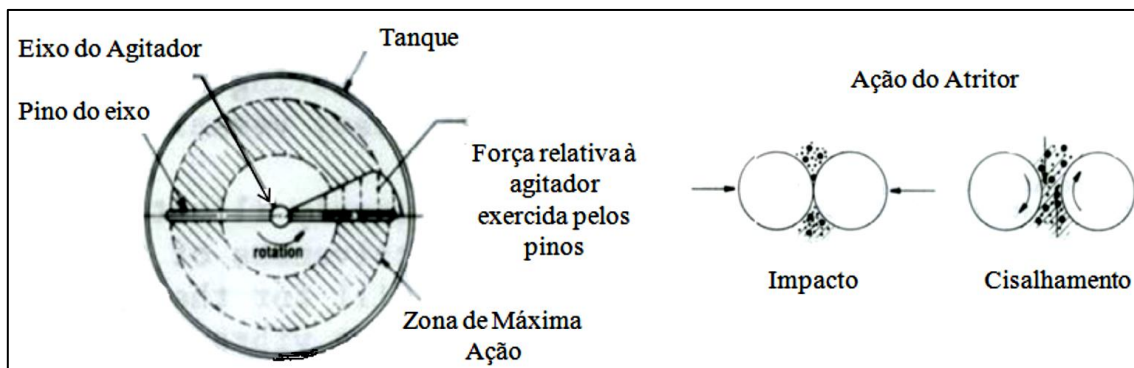


Figura 3.20 (a) Seção transversal do tanque do moinho atritor em funcionamento; (b) ilustração das forças atuantes no interior do moinho (FLORES, 2010)

Na moagem para obtenção de 80% das partículas com tamanho abaixo de $10\mu\text{m}$ usou-se corpos moedores de aço com 6mm de massa específica (ρ_{cm}) igual 78000 kg/m^3 . As condições para essa moagem foram; grau de enchimento (J) e porcentagem de preenchimento de vazios de 50% (U). Com essas condições mais as densidades dos materiais envolvidos na moagem (corpos moedores, água e pó) e dados operacionais do moinho calcula-se as quantidades dos materiais usando as equações a seguir:

$$V_{\text{ap}_{\text{cm}}} = V_{\text{moinho}} J \dots \dots \dots \text{Equação 3.13}$$

$$V_{\text{real}_{\text{cm}}} = 0,6 V_{\text{ap}_{\text{cm}}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.14}$$

$$M_{\text{real}_{\text{cm}}} = V_{\text{real}_{\text{cm}}} \rho_{\text{cm}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.15}$$

$$V_v = 0,4 V_{\text{ap}_{\text{cm}}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.16}$$

$$V_{\text{ap}_{\text{pó}}} = (V_v U) / 100 \dots \dots \dots \text{Equação 3.17}$$

$$V_{\text{real}_{\text{pó}}} = 0,6 V_{\text{ap}_{\text{pó}}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.18}$$

$$M_{\text{real}_{\text{pó}}} = V_{\text{real}_{\text{pó}}} \rho_{\text{pó}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.19}$$

$$V_{\text{água}} = V_{\text{moinho}} - (V_{\text{ap}_{\text{cm}}} + V_{\text{ap}_{\text{pó}}}) \dots \dots \dots \text{Equação 3.20}$$

Onde:

- $V_{ap_{cm}}$ é o volume aparente dos corpos moedores, em ml;
- V_{moinho} é o volume operacional do moinho em ml, que é 80% do volume disponível o qual é calculado pela diferença entre o volume do moinho (5700 ml) e o volume da haste (100ml);
- $V_{real_{cm}}$ é o volume real dos corpos moedores, em ml;
- $M_{real_{cm}}$ é a massa real dos corpos moedores, em g;
- V_v é o volume de vazios, em ml;
- $V_{ap_{pó}}$ é o volume aparente do pó, em ml;
- $V_{real_{pó}}$ é o volume real do pó, em ml;
- $M_{real_{pó}}$ é a massa real do pó, em g;
- $\rho_{pó}$ é a massa específica do pó, em g/cm³;
- Vágua é quantidade de água a ser adicionada para a moagem em ml.

Com velocidade de 26,2Hz (equivalente a 150,4 rpm), a duração de cada moagem foi de 1 hora, exceto a amostra C30 cujo tempo de moagem, na mesma velocidade, foi de 40min. Na Tabela 3.11 são listadas as quantidades de material por moagem, o número de etapas de moagem e a quantidade total de polpa produzida.

Tabela 3.11 Parâmetros de moagem a úmido para obtenção das amostras de 10 μ m no moinho atritor

Quantidades	TJ10	TL10	C10
Cargas moedoras (g)	10.483,20	10.483,20	10.483,20
Material em pó (g)	757,02	746,54	717,19
Água (g)	1.792	1.792	1.792
Número de etapas de moagem	6	3	3
%Sólido em volume	13,04	13,04	13,04
%Sólido em massa (calculada)	29,70	29,41	28,58
Volume total da polpa (V_p) (ml)	26.380	12.600	10.050
Total da polpa em (M_p) massa (g)	32.480	15.420	13.780

Com as quantidades de pó, corpos moedores e de água definidos procedeu-se à mistura dos materiais no tanque do moinho na seguinte sequência: corpos moedores, pó e por último, a água. A Figura 3.21 ilustra os materiais no moinho. Após a mistura dos materiais a velocidade foi aumentada gradativamente até atingir a velocidade planejada.

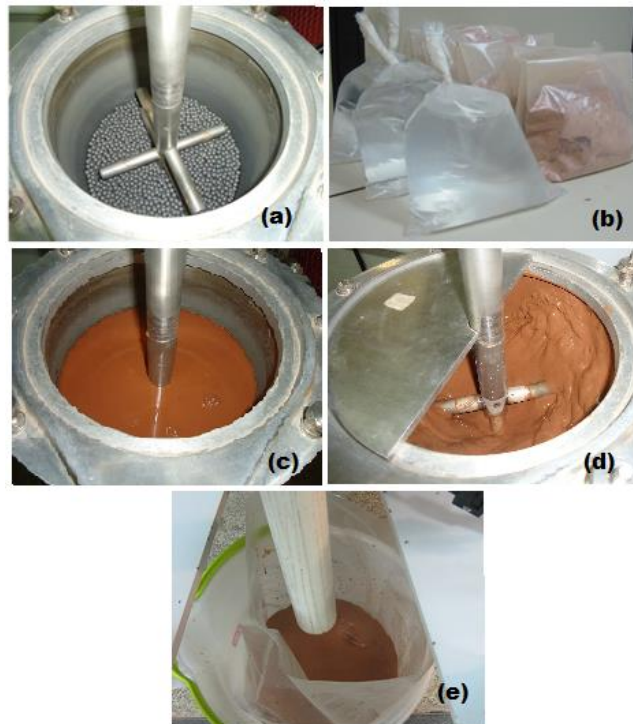


Figura 3.21 Etapas da moagem no moinho atritor (a) com esferas de 6mm ; (b) a água e material utilizados; (c) água e pó no tanque; (d) Moagem em andamento e (e) Retirada da polpa

Ao final de todas as moagens de cada material, o produto de cada moagem foi misturado. A Figura 3.22 apresenta as etapas do procedimento para determinação da massa total da polpa (M_p) e o volume total da polpa (V_p). Com a M_p e o V_p determina-se a densidade da polpa.



Figura 3.22 (a) Mistura e homogeneização das polpas obtidas ao final de todas as moagens de cada material; (b) Determinação do volume da polpa utilizando quantidade de água equivalente; (c) Medição da profundidade da polpa no tambor; (d) Quantidade de água com a mesma profundidade da polpa determinada e (e) Medição da quantidade de água equivalente ao volume da polpa com auxílio de proveta graduada de 2000ml

Após a mistura a polpa foi submetida ao processo de quarteamento de polpa. O equipamento utilizado foi o divisor rotativo para polpa da Engendrar Engenheiros Associados Ltda (modelo EP-012). O quarteador de polpas possui um funil através do qual passa a polpa, a qual é distribuída em 12 canecas dispostas em um prato giratório (Figura 3.23). Conforme o volume total e a densidade da polpa a ser quarteada são calculadas quantas vezes a polpa deverá ser quarteada e em quantas partes pode ser dividida. As equações utilizadas no cálculo do número de quarteamentos e de divisões são:

$$d_{p(g/l)} = \frac{M_p}{(1000V_p)} \dots \dots \dots \text{Equação 3.21}$$

$$d_{p(g/cm^3)} = \left[\frac{M_p}{(1000V_p)} \right] 10^{-3} \dots\dots\dots \text{Equação 3.22}$$

$$M_t = \frac{[V_p(d_{p(g/cm^3)} - 1)]}{\left[1 - \left(\frac{1}{\rho_{pó}} \right) \right]} \dots\dots\dots \text{Equação 3.23}$$

$$R1 = \frac{M_t}{m} \dots\dots\dots \text{Equação 3.24}$$

$$M_q = \frac{M_t}{R} \dots\dots\dots \text{Equação 3.25}$$

Onde:

- $d_{p(g/l)}$ é a densidade da polpa antes da divisão, em g/l;
- $d_{p(g/cm^3)}$ é a densidade da polpa antes da divisão, em g/cm³;
- M_t é a massa de sólidos total a ser dividida, em g;
- m é a massa de sólidos desejada, por caneca após a divisão, em g;
- $R1$ é o valor obtido por cálculo, para determinação de R , que é o fator de repartição exato fornecido no manual do fabricante;
- M_q é a massa de sólidos obtida em uma caneca após divisão, em g.

A Tabela 3.12 apresenta os valores obtidos nas equações 3.10 a 3.13 e o número de quarteamentos e divisões obtidos para as amostras TJ10, TL10 e C10. A massa específica do pó ($\rho_{pó}$) depois da moagem foi determinada após secagem por 72 horas em estufa a 110°C de três alíquotas retiradas do tambor contendo a mistura homogeneizada antes do quarteamento.

Tabela 3.12 Parâmetros para o quarteamento das polpas de 10 μm

Parâmetros de quarteamento	TJ10	TL10	C10
d_p (g/cm^3)	1,23	1,22	1,37
$\rho_{\text{pó}}$ (g/cm^3)	2,7810	2,7187	2,6586
Mt (g)	9.474,18	4.384,80	5.960,50
m (g)	4.737,1	1.290	1.000
R1	2	3,3991	5,9605
Mq	4.737,1	1.461,6	993,4
Número de quarteamentos	1	1	1
Número de canecas por quarteamento	6	4	2
Quantidade de sacos com polpa	2	3	6

A Figura 3.23 apresenta a sequência de utilização do quarteador e o armazenamento das polpas. A amostra TJ10 foi armazenada inicialmente em dois sacos grandes, depois foram transferidas para recipientes de plástico com tampa por que permitia que a polpa fosse homogeneizada com maior facilidade antes de ser utilizada. Para TL10 optou-se pelo seu armazenamento em três recipientes menores, também pela facilidade de manuseio. A amostra C10 foi armazenada em 6 sacos devido a sua aglomeração quase instantânea, de forma que seu acondicionamento em sacos tornava mais fácil sua desaglomeração e homogeneização.



Figura 3.23 (a) Divisor Rotativo de polpa EP-012 Série 2560; (b) Funil com a polpa sendo homogeneizada por uma agitador de hélice; (c) saída do funil com válvula aberta despejando a polpa nas canecas em movimento; (d) retirada das canecas e esvaziamento das mesma em sacos para armazenar as polpas e (e) sacos com a polpa para armazenamento

De cada polpa armazenada foram retiradas três alíquotas para secagem por 72 horas em estufa de 110°C. As massas dessas alíquotas foram determinadas antes e após a secagem para determinação do teor de sólidos na polpa. Esse teor de sólidos da polpa foi utilizado para o cálculo da dosagem das argamassas.

Para a obtenção das amostras TJ1, TL1 e C1 no moinho atritor, os parâmetros de moagem foram alterados e a moagem foi efetuada em duas bateladas com corpos moedores de aço de diâmetros e duração diferentes. Foi ainda utilizada solução aquosa do dispersante (hexametáfosfato de sódio) diluído na água utilizada na moagem, à dosagem de 0,99%. Na primeira etapa da moagem a amostra na faixa de 30 μm foi moída usando corpos moedores de 6 mm por duas horas. Adotou-se a mesma sequência de adição dos materiais no moinho utilizada na moagem das amostras de 10 μm . Após o termino dessa etapa da moagem a polpa resultante foi retirada do moinho e armazenada

provisoriamente em um saco. Em seguida corpos moedores de 6 mm foram substituídos por corpos moedores esféricos de 3 mm também de aço e a polpa era novamente colocada no interior do moinho e a moagem prosseguida por mais 6 horas. A massa específica dos corpos moedores de 3mm é 7,95 g/cm³. Após cada moagem a polpa era armazenada em sacos. De cada saco eram retiradas três alíquotas para determinação do teor de sólidos como foi feito para as amostras de 10 µm. Os parâmetros de moagem e as quantidades por moagem e total de cada material são listadas na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 Parâmetros calculados da moagem a úmido para obtenção das amostras de 1µm

Quantidades	TJ1		TL1		C1	
	1ª etapa	2ª etapa	1ª etapa	2ª etapa	1ª etapa	2ª etapa
Cargas moedoras (g)	12.579,84	12.824,02	12.579,84	12.824,02	12.579,84	12.824,02
Material em pó (g)	726,74		717,37		688,49	
Água (g)			1361,92			
Hexametafosfato (g)			13,62			
Número de moagens			8			
%Sólido em volume			15,93			
%Sólido em massa (calculada)	34,79		34,50		33,58	

Na primeira etapa da moagem, cuja duração foi de 2 horas com os corpos moedores de 6mm, o grau de enchimento foi 60% o preenchimento de vazios 40%, e a velocidade era aumentada gradativamente até atingir 31 Hz. Na segunda etapa, com os corpos moedores de 3 mm e duração de 6 horas mantendo o mesmo grau de enchimento e preenchimento de vazios, a velocidade foi também gradativamente aumentada para 41Hz e mantida até o final da moagem. Na Tabela 3.14 são listados os teores de sólidos determinados para cada saco das polpas de 10µm (após o quarteamento) e para cada moagem até 1µm, de cada material.

Tabela 3.14 Teor de sólidos das polpas de 10 μ m e 1 μ m produzidas

Saco	Teor de sólidos da polpa (%)					
	TJ10	TJ1	TL10	TL1	C10	C1
1	29,17	31,29	30,67	35,03	27,24	32,40
2	29,27	29,36	30,01	32,05	27,32	31,75
3	-	19,66*	27,78	36,88	28,25	35,72
4	-	37,21	-	-	28,47	-
5	-	27,33	-	-	27,44	-
6	-	32,79	-	37,13	-	41,34
7	-	37,20	-	-	-	-
8	-	31,33	-	-	-	-

Para o cálculo da potência nas moagens com moinho atritor, foi utilizado o modelo de equação para moinhos agitados (NAPIER-MUNN *et al.*, 1996):

$$P_l = 0,0743 H_b N_s \rho_c D_b^{0,111} D_s^{3,057} T^{0,572} \dots \dots \dots \text{Equação 3.26}$$

$$\rho_c = \rho_{cm} 0,6 + \rho_p 0,4 \dots \dots \dots \text{Equação 3.27}$$

Onde:

- P_l é a potência líquida, em kW,
- H_b é altura da polpa com os corpos moedores dentro do moinho, em m (13 cm);
- N_s é a frequência de rotação da moagem no moinho, em rpm;
- ρ_c é a massa específica da polpa com os corpos moedores, em kg/m³;
- ρ_{cm} é a massa específica dos corpos moedores, em kg/m³ (7,8 kg/m³);
- ρ_p é a massa específica da polpa, em k/m³ (1,6 kg/m³);
- D_b é o diâmetro médio dos corpos moedores, em mm;
- D_s é o diâmetro da hélice do moinho atritor, em m (17 cm).

A energia específica foi calculada pela equação:

$$E_e = \frac{P_l t}{\frac{m}{1000}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.28}$$

Onde:

- E_e é a energia específica na moagem, kWh/t;
- P_l é a potência líquida, em kW;
- m é a massa do material em pó, em kg;
- t é o tempo de moagem, em h.

3.2.1.5 *Análise Granulométrica*

Para a determinação da distribuição granulométrica da areia e das adições minerais nas frações mais grossas resultantes do processo de britagem utilizou-se peneiramento, de acordo com a NBR 248 (ABNT 248, 2003) por agitação mecânica (Figura 3.24). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia Mineral – LTM da COPPE/UFRJ.



Figura 3.24 Peneiramento mecânico

A distribuição granulométrica do cimento e das adições minerais após moagem foi obtida utilizando o granulometro a laser MasterSizer 2000 (Figura 3.25), em sua unidade Hidro Mu, a qual permite a dispersão das partículas com tendência à aglomeração. O equipamento pertence ao Laboratório de Estruturas e Materiais Prof. Lobo Carneiro– LABEST/COPPE/UFRJ.



Figura 3.25 Granulometro a laser Malvern Mastersizer

Para a dispersão do cimento foi utilizado álcool etílico PA 95%, com agitação de 2000rpm. Para as amostras dos aditivos com tamanhos nominais na faixa de 30 μm e 10 μm utilizou-se água deionizada como dispersante, enquanto para as amostras com tamanho nominal de 1 μm o meio dispersante utilizado foi a mesma solução usada na moagem, a solução de 0,99% de hexametáfosfato de sódio. O ultrassom foi utilizado por 1minuto e meio após 5 minutos de dispersão com intensidade 4.

3.2.1.6 Massa Específica

A massa específica da areia, cimento e das adições minerais foi determinada utilizando o Picnômetro a gás AccuPyc II 1340 da Micromeritics do Laboratório de Estruturas e Materiais Prof. Lobo Carneiro– LABEST/COPPE/UFRJ. As adições minerais foram mantidas em estufa a 110°C por um período de 24h antes das análises.

3.2.2 Caracterização química

3.2.2.1 Análise Química

O equipamento utilizado foi um espectrômetro de fluorescência de raios X modelo Axios max da Panalytical, com tubo de Rh de 4 KW. As amostras em pó foram preparadas por prensagem em prensa automática X-Press 3630 da Spex a 25t por 30 s e utilizando como aglomerante ácido bórico H_3BO_3 (na proporção 1:1). As amostras em polpa foram secas em estufa por 24h a temperatura de 110°C. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Fluorescência de RX do CETEM.

3.2.2.2 Análise Térmica Termogravimétrica e Diferencial

Foram realizadas análises termogravimétrica do cimento e os aditivos minerais e obtidas também curvas térmica diferencial. O ensaio foi realizado no Laboratório de Estruturas e Materiais Prof. Lobo Carneiro– LABEST/COPPE/UFRJ no equipamento SQT 600, com calorimetria diferencial de varredura (DSC) (Figura 3.26). As análises foram realizadas em atmosfera de nitrogênio com taxa de aquecimento de 10°C/mim.

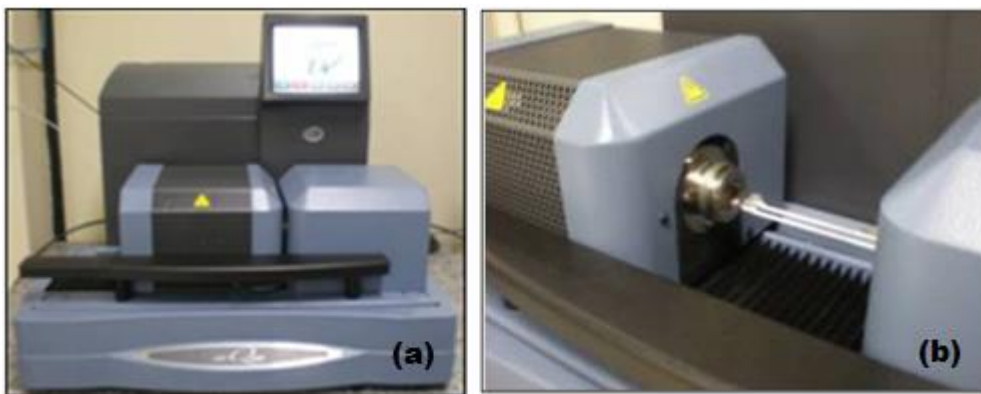


Figura 3.26 (a) SQT 600 e (b) Porta amostra com o cadinho de platina

3.2.2.3 Perda ao Fogo

As amostras foram calcinadas em equipamento LECO TGA 701 para determinação de perda ao fogo, em dois estágios: a 107°C e em seguida a 1000°C em fluxo de ar, até atingir massa constante. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Fluorescência de RX do CETEM.

3.2.2.4 Índice de Atividade pozolânica

Realizado conforme a ABNT NBR 5752 (ABNT, 2013), e calculado pela relação entre as resistências à compressão aos 28 dias das argamassas com 35% de substituição do cimento por adição mineral e com 100% de cimento. Foram moldados 3 corpos de prova para cada mistura. Após moldagem os corpos de prova foram mantidos no molde por 24 horas cobertos com manta úmida. Desmoldados os corpos de prova foram envolvidos com filme de pvc e armazenados em recipiente plástico com tampa selada com silicone e fita adesiva. No interior do recipiente foi colocado um copo com água para manter a umidade. Em seguida o recipiente plástico foi levado à câmara de 40°C e mantido por mais 27 dias quando completaria os 28 dias de idade para o ensaio. Meia hora antes do ensaio o recipiente era retirado da câmara para o resfriamento em temperatura ambiente e também para o faceamento.

3.2.2.5 Método de dissolução em cal saturada

Este ensaio foi realizado no Departamento CRM (*Cementos y Reciclado de Materiales*) em Madrid na Espanha, orientado pelo Prof.º Moisés Frías Rojas. O ensaio representa versão simplificada do método Fratini, na qual a quantidade de cal fixada pela pozolana é determinada pela quantidade residual de cálcio dissociado. O ensaio consiste em colocar 1 g de material pozolânico em 75ml de solução saturada de cal. A solução foi preparada com 2 g de hidróxido de cálcio em 1l de água destilada. Os recipientes foram selados e mantidos a 40°C±1 até as idades de medida de 24 horas, 7, 28 e 90 dias. Na idade de medição a solução com a pozolana foi filtrada e analisada por titulação com HCl com pH=12,5. O resultado é comparado com a solução padrão somente com

hidróxido de cálcio, a qual apresenta a dissolução e precipitação, a temperatura de $40^{\circ}\text{C}\pm 1$, de 17,68mmol/l de CaO (FRÍAS *et al.*, 2000).

3.2.3 Caracterização mineralógica

3.2.3.1 Difração de Raios-X

As análises por DRX, pelo método do pó, foram executadas em um equipamento Bruker-AXS D4 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (40kV/40mA), com passo de $0,02^{\circ} 2\theta$, tempo de contagem de 184 segundos por passo com detector linear sensível à posição do tipo *silicon drift* LynxEye, coletados de 5 a $105^{\circ} 2\theta$.

A interpretação qualitativa de espectro foi efetuada por comparação com padrões contidos no banco de dados relacional PDF04+ (ICDD, 2012) em software Bruker-AXS Diffrac^{Plus}. O tempo total de aquisição de cada espectro, para esta etapa do trabalho, foi de, aproximadamente 90 minutos.

As alíquotas para análise quantitativa por DRX foram moídas em gral de ágata, montada no suporte do tipo backload (para redução de orientação preferencial) e analisadas no difratômetro de raios X.

Análises quantitativas, a partir dos dados de raios X, foram calculadas pelo método de refinamento de espectro multifásico total (método de Rietveld), com software Bruker-AXS Topas, v. 4.2. As informações de estruturas cristalinas das fases refinadas são oriundas do banco de estruturas cristalinas da Bruker-AXS, ou obtida junto ao banco de dados ICSD (International Crystal Structure Database) (HÖLZER *et al.*, 1997). Na Tabela 3.15 constam os indicadores estatísticos utilizados no refinamento através do método de Rietveld para cada amostra.

Tabela 3.15 Indicadores estatísticos utilizados no refinamento através do método de Rietveld para cada amostra

Amostras	Rwp	GOF
TJ30	4,4	2,18
TJ10	4,01	2,06
TJ1	2,7	1,68
TL30	5,79	2,75
TL10	5,16	2,51
TL1	3,09	1,77
C30	5,71	2,58
C10	5,03	2,35
C1	2,99	1,82

Sendo Rwp o resíduo ponderado e GOF “Goodness of fitting”, para esses índices os valores aceitáveis devem ser inferiores a 15% e 5.

3.2.4 Dosagem

3.2.4.1 Argamassa de Consistência Normal - ACN

A produção das argamassas foi realizada de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). Foram preparadas 19 misturas, incluindo a de referência, a qual não conteve substituição parcial do cimento. Para a argamassa de referência adotou-se a nomenclatura CTRL como identificação. As demais misturas foram produzidas com dois teores de substituição para cada uma das três granulometrias adotadas neste estudo, os quais foram de 10% e 20%. As substituições foram realizadas em relação ao volume de cimento. A relação água cimento foi de 0,48 e a areia/material cimentício igual a 3.

A simbologia adotada para a identificação das misturas foi **A(teor)(material)(tamanho de partícula)**, sendo que a Tabela 3.16 apresenta as misturas devidamente identificadas e o consumo em massa e volume por m³ de argamassa.

Tabela 3.16 Consumo de material em massa por m³ das argamassas de consistência normal

Misturas	Cimento	Adição	Consumo kg/m ³				Água	sp (%)
			Areia IPT					
			1,2mm	0,6mm	0,3mm	0,15mm		
CTRL	521,47	0,00	391,10	391,10	391,10	391,10	250,30	0,02
A10TJ30	473,99	46,56	390,42	390,42	390,42	390,42	249,87	0,06
A10TL30	474,54	45,91	390,34	390,34	390,34	390,34	249,82	0,08
A10C30	476,08	44,08	390,11	390,11	390,11	390,11	249,67	0,06
A20TJ30	426,69	92,96	389,74	389,74	389,74	389,74	249,43	0,10
A20TL30	427,80	91,64	389,58	389,58	389,58	389,58	249,33	0,17
A20C30	430,91	87,93	389,13	389,13	389,13	389,13	249,05	0,07
A10TJ10	474,49	45,97	390,35	390,35	390,35	390,35	249,82	0,12
A10TL10	475,36	44,93	390,22	390,22	390,22	390,22	249,74	0,12
A10C10	476,21	43,92	390,09	390,09	390,09	390,09	249,66	0,02
A20TJ10	427,70	91,76	389,59	389,59	389,59	389,59	249,34	0,17
A20TL10	429,47	89,65	389,34	389,34	389,34	389,34	249,18	0,17
A20C10	431,18	87,61	389,09	389,09	389,09	389,09	249,02	0,02
A10TJ1	473,17	47,55	390,54	390,54	390,54	390,54	249,95	0,17
A10TL1	474,75	45,67	390,31	390,31	390,31	390,31	249,80	0,19
A10C1	473,74	46,87	390,46	390,46	390,46	390,46	249,89	0,19
A20TJ1	425,24	94,69	389,95	389,95	389,95	389,95	249,57	0,60
A20TL1	428,15	91,22	389,53	389,53	389,53	389,53	249,30	0,60
A20C1	426,34	93,37	389,79	389,79	389,79	389,79	249,46	0,60

O procedimento de misturas das argamassas adotado foi o estabelecido pela NBR 7215 (ABNT, 1996), descrito a seguir:

- Com a água e o aditivo na cuba adicionou-se o cimento ou o cimento previamente homogeneizado com a adição mineral, no tempo de 30 s em velocidade baixa;
- após esse tempo e ainda na velocidade baixa adicionou-se a areia do IPT, as quatro frações também previamente homogeneizadas, por mais 30s;
- imediatamente após a adição da areia e passados os 30s mudar para a velocidade alta e misturar por mais 30s;
- em seguida desligou-se a argamassadeira por 1 min e 30 s, retirando o excesso nas bordas da cuba com o auxílio de uma espátula por, no máximo 15 s, cobrindo-se a cuba com um pano úmido;
- Passado o período de repouso acima se ligou a argamassadeira ainda em velocidade alta por mais 1 min.

Para as argamassas com adição mineral em polpa, o procedimento de mistura iniciou já com a polpa, o aditivo e a água restante, descontada a água da polpa. A mistura foi realizada na argamassadeira de 20 litros que permitia misturar um volume de argamassa para render 26 corpos de prova de 50 x 100 mm. Na Figura 3.27 estão apresentadas as etapas do procedimento de mistura descrito acima.



Figura 3.27 (a) Cuba com água e adicionando a polpa, (b) o cimento, (c) a areia, (d) mistura em velocidade alta, (e) parada para limpeza das bordas, (f) a argamassa ao final da mistura

3.2.4.2 Obtenção do traço de máxima compacidade

Para obtenção do traço de máxima compacidade foi utilizado o programa BetonlabPro 3[®]. Desenvolvido no “Laboratoire Central des Ponts et Chaussées” (LCPC, Paris) por DE LARRAD (1999) o BetonlabPro 3[®] é baseado na teoria do MEC (Modelo de

Empacotamento Compressível). O programa dosa e otimiza concretos para os critérios de utilização de cada material (resistência à compressão requerida, abatimento necessário, máximo empacotamento da mistura, entre outros). No presente estudo utilizou-se o BetonlabPro 3 para cálculo da compacidade granular seca das argamassas ACN e para obtenção do traço de máxima compacidade. Os parâmetros avaliados no programa para o ajuste dos dados experimentais ao modelo foram: massa específica, resistência à compressão (1, 3, 7 e 28 dias) e módulo de elasticidade. Para a obtenção do traço de máxima compacidade (TMC) foi realizada a otimização do traço de referência das argamassas de consistência normal (CTRL) para sua máxima compacidade, fixando o consumo de cimento, relação a/c e areia/cimento.

3.2.4.2.1 Modelo de empacotamento compressível - mec

O MEC é dividido em dois módulos: empacotamento virtual e empacotamento real. Estes módulos são apresentados a seguir. O método foi detalhadamente apresentado por Silva (2004) e Formagini (2005).

MEC – MÓDULO 1: EMPACOTAMENTO VIRTUAL

Neste módulo, um modelo matemático possibilita a obtenção da máxima compacidade possível de uma mistura granular, considerando apenas as características morfológicas das classes granulares, sendo representado pela equação seguinte:

$$\gamma^{(m,i)} = \frac{\beta_{mi}}{1 - \sum_{K=1}^M \left[\sum_{j=1}^i \left[1 - \beta_{mi} + b_{ij} \beta_{mi} \left(1 - \frac{1}{\beta_{kj}} \right) \right] p_{k^y_{kj}} + \sum_{j=i+1}^N \left[1 - a_{ij} \frac{\beta_{mi}}{\beta_{kj}} \right] p_{k^y_{kj}} \right]} \dots \text{Equação 3.29}$$

Onde:

- $\gamma^{(m,i)}$ é a compacidade virtual de uma mistura granular
- i classe dominante
- m é o material analisado;
- n é a classe analisada;

- p_k é a fração volumétrica do material m ;
- y_{mi} é a fração volumétrica da classe i constituinte do material m ;
- β_{mi} é a compacidade virtual da classe i constituinte do material m
- a_{ij} representa o efeito de afastamento, exercido pela classe de grãos menores sobre a classe de grãos maiores
- b_{ij} representa o efeito de parede, exercido pela classe de grãos maiores sobre a classe de grãos menores.

A compacidade virtual de empacotamento (β) é definida como a máxima compacidade de uma mistura granular monodispersa (mistura cuja separação dos grãos em diferentes classes granulométricas é difícil de ser realizada, por exemplo, grãos de cimento e grãos de sílica ativa) mantendo a forma original dos grãos e empilhando-os um a um num volume infinito (SILVA *et al.*, 2005).

MEC – MÓDULO 2: EMPACOTAMENTO REAL

O empacotamento real de uma mistura granular é obtido por um procedimento físico de compactação dos grãos. O cálculo da compacidade real em função das condições experimentais de compactação da mistura correlacionando os módulos de compacidade virtual (γ) e de compacidade real (ϕ), é feito pela equação seguinte:

$$K = \sum_{m=1}^M \frac{\sum_{i=1}^M \frac{p_m y_{mi}}{\beta_{mi}}}{\frac{1}{\phi} - \frac{1}{\gamma(i)}} \dots\dots\dots \text{Equação 3.30}$$

Sendo o Índice de Compactação K o protocolo de empacotamento, ou seja, a energia associada a um procedimento operacional de compactação. Os valores de K para diversos tipos de protocolos de empacotamento (DE LARRARD, 1999) são apresentados na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 Índice K para diferentes protocolos de empacotamento (DE LARRARD, 1999)

Protocolo de Empacotamento		Índice K
Empacotamento seco	Lançamento simples	4,1
	Apilonamento	4,5
	Vibração	4,75
	Vibração + compactação de 10 kPa	9
Empacotamento molhado	Demanda de água	6,7
Empacotamento virtual		∞

AS PROPRIEDADES AVALIADAS APLICANDO O MEC

a) Resistência à Compressão

A resistência à compressão da matriz de concreto, em função da idade t , é determinada pela expressão:

$$f_{cm}(t) = 13,4 R_{c_{28}} \left[d(t) + \left(\frac{v_c}{v_c + v_w + v_{ar}} \right)^{2,85} \right] MEP^{-0,13} \dots\dots\dots \text{Equação 3.31}$$

$$d(t) = 0,0522 \left(\frac{R_{c_t}}{R_{c_{28}}} - 1 \right) \dots\dots\dots \text{Equação 3.32}$$

$$MEP = D \left[\sqrt[3]{\frac{g^*}{g}} - 1 \right] \dots\dots\dots \text{Equação 3.33}$$

Onde:

- $R_{c_{28}}$ é a resistência à compressão do cimento aos 28 dias (MPa);

- v_c , v_w e v_{ar} representam, respectivamente, os volumes de cimento, água e ar presentes em um volume unitário de concreto;

- $d(t)$ é um parâmetro cinético adimensional, que representa a contribuição que o cimento pode fornecer na resistência do concreto na idade t

- R_{c_t} a resistência à compressão do cimento na idade t ;
- MEP a máxima espessura da pasta, ou seja, distância média entre os agregados imersos na matriz,
- D equivalendo ao teor de agregado correspondente a 90% do passante na peneira previamente definida;
- g é o volume dos agregados em um volume unitário de concreto;
- g^* equivale à máxima compacidade possível de ser obtida para o agregado por um processo experimental ($K = 9$).

A resistência do concreto $f_c(t)$ na idade t , em MPa, é determinada pela expressão:

$$f_c(t) = \frac{p f_{c_m}(t)}{q f_{c_m}(t) + 1} \dots\dots\dots \text{Equação 3.34}$$

Os parâmetros p (adimensional) e q (MPa^{-1}) são constantes dadas de acordo com o tipo dos agregados, fornecidos pelas expressões:

$$p = \frac{1}{f_{c_m} \left(\frac{1}{f_c} - \frac{1}{2,14 f_{c_g}} \right)} \dots\dots\dots \text{Equação 3.35}$$

$$q = \frac{p}{2,14 f_{c_g}} \dots\dots\dots \text{Equação 3.36}$$

Onde:

- f_c é a resistência à compressão do concreto (MPa);
- f_{c_g} é a resistência à compressão do agregado;
- f_{c_m} é a resistência à compressão da matriz.

Os parâmetros p e q , também podem ser determinados indiretamente através do ensaio de resistência à compressão de dois tipos de concretos dosados com o mesmo agregado: um com baixa resistência e outro com alta resistência.

No caso do concreto ser produzido com adições de pozolanas ou filer, deve ser considerada sua contribuição para a resistência à compressão. Neste caso, esta contribuição é representada através de um termo equivalente de cimento. Conseqüentemente, primeiro deve-se calcular a quantidade de cimento equivalente através da expressão:

$$C_{eq}(t) = c \left\{ 1 + 1,1 \left[1 - \exp \left(- \frac{\sum K_p i(t) \cdot pz_i}{c} \right) \right] + 0,017 t_{C_{3A}} \left[1 - \exp \left(- 79 \frac{\sum f_{ij}}{t_{C_{3A}} \cdot c} \right) \right] \right\} \dots \dots \dots \text{Equação 3.37}$$

Onde:

- $K_p i(t)$ é o coeficiente do efeito pozolânico na idade t ,
- pz é a massa de pozolanas por volume unitário do concreto,
- $t_{C_{3A}}$ é a porcentagem de aluminato tricálcio na composição de Bogue do cimento
- f_{ij} é a massa de filer calcário por volume unitário do concreto.

Em seguida, a resistência da matriz é calculada levando em consideração o efeito acelerativo que a superfície acumulada de filer calcário exerce através da

expressão:

$$f_{cm}(t) = \alpha R c_{28} \left[d(t) - 0,0023 \frac{d(t)}{t} \frac{\sum S_{FI,j} f_{ij}}{c} + \left(1 + \rho_c \frac{w+a}{c_{eq}} \right)^{c_1} \right] MEP^{-0,13} \dots \dots \dots \text{Equação 3.38}$$

Finalmente a resistência do concreto (f_c) é obtida da resistência da matriz pela Equação 3.34. Com a devida calibração dos parâmetros de cada componente, espera-se que este modelo apresente um desvio médio em torno de 5% em valor relativo (FORMAGINI, 2005).

b) Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade do concreto, é influenciado pelos módulos de elasticidade dos agregados e da matriz. O cálculo do módulo de elasticidade tangente do concreto (E_c), em GPa, é dado pela expressão:

$$E_c = \left[1 + 2g \frac{E_g^2 - E_m^2}{(g^* - g)E_g^2 + 2(2 - g^*)E_g E_m + (g^* + g)E_m^2} \right] E_m \dots\dots\dots \text{Equação 3.39}$$

onde: E_g é o módulo de elasticidade do agregado (GPa) e E_m é o módulo de elasticidade da matriz (GPa), determinado pela expressão:

$$E_m = 226 f_c \dots\dots\dots \text{Equação 3.40}$$

3.2.4.2.2 Simulações no Programa *betonlabPro 3*[®]

Para o cálculo da compacidade granular seca das argamassas ACN foi necessário criar no banco de dados do *BetonlabPro 3*[®] arquivos contendo informações sobre características inerentes do componentes utilizados nas misturas. Os passo para a criação do banco de dados dos constituintes constam no Anexo A. Na Tabela 3.18 estão listadas as características de cada material utilizadas como dados de entrada no programa.

Tabela 3.18 Dados de entrada necessários para a formação do banco de dados

Dados de entrada	Cimento	Areia	SP	Adições minerais
Granulometria	x	x		X
Massa específica	x	x	x	X
Resistência à compressão	x			
Módulo de elasticidade		x		
Composição química	x			X
Composição de Bogue	x			
Ponto de saturação	x		x	
Compacidade experimental	x	x		X
Teor de sólidos			x	
Absorção de água		x		
IAP				X

Após devidamente cadastrados os componentes estão habilitados para serem utilizados no procedimento de calibração do programa. Essas calibrações ajustam o modelo para as interações entre os agregados-cimento e cimento-adição mineral. Os procedimento para determinação desses parâmetros e demais ensaios complementares podem ser vistos detalhadamente a seguir.

ENSAIOS COMPLEMENTARES PARA O USO DO BETONLABPRO 3[®]

Os parâmetros de ponto de saturação e compacidade experimental são dados de entrada para o banco de dados dos componentes. A compacidade experimental foi determinada por demanda dá água para o cimento e as adições minerais ($K=6,7$). Quanto aos parâmetros p , q e kp são calculados pelo BetonlabPro 3 para calibração das interações agregado-pasta e cimento-adições minerais. Esses são calculados após o cadastros dos componentes (cimento, areia, adições). A seguir são descritos os procedimentos para determinação do ponto de saturação, das compacidades experimentais e dos parâmetros de calibração p , q e kp .

a) Ensaio de compatibilidade cimento x superplastificante

O ponto de saturação é o teor de aditivo superplastificante a partir do qual não há redução significativa no tempo de fluidez das pastas. A compatibilidade entre o cimento e o aditivo é atribuída quando o tempo de fluidez determinado inicialmente fica muito próximo do tempo determinado após 60 minutos (AİTCIN, 1998).

O ensaio consiste em registrar o tempo necessário para uma pasta de cimento escoar e preencher uma proveta de 1000 litros, através de um cone com abertura de diâmetro igual a 5 mm (Figura 3.28). A mesma pasta é utilizada nos tempos de escoamento de 10, 30 e 60 min, a contar do início do contato da água/superplastificante com o cimento. Todas as misturas foram realizadas com um misturador mecânico e a quantidade de cimento utilizada foi de 1.800 g com relação água/cimento de 0,35.



Figura 3.28 Cone de Marsh e proveta utilizados no ensaio de compatibilidade

As porcentagens de superplastificante (SP) utilizadas foram 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 e 0,7 %, do teor de sólidos, relativos ao peso do cimento. O procedimento de mistura e medição seguiu os seguintes passos:

- Pesagem da água e do SP no copo do misturador com o auxílio de balança com precisão de 0,01 g;
- Para o primeiro ponto de escoamento, mistura-se por 10 s a água e o superplastificante e adicionar o cimento em um tempo de até 50 s;
- Após o tempo de 1 min e 30 s, contados a partir do contato da água com o cimento, o misturador é desligado durante 15 s, para limpeza da parede do copo. A seguir mistura-se novamente até completar 8 min;
- Completados 8 min de mistura, a pasta é posta em descanso por 1 min, para posterior mistura durante 30 s. Em seguida, é vertida no cone Marsh dentro do tempo dos 30 s restante, permanecendo um tempo total de 10 min;
- A pasta é escoada pela abertura do funil ao completar os 10 min, sendo medido o tempo para preencher o béquer de 1000 ml, ao final do processo o material volta ao recipiente e permanece em descanso até o próximo tempo de escoamento;

- Para o ponto de escoamento de 30 min, o material em repouso é misturado 1 min antes de atingir seu tempo, de forma a ser dividido em 30 s de mistura e 30 s para verter o material no cone e iniciar seu escoamento durante determinado período de tempo para completar a proveta de 1.000 ml. De mesma forma procede-se com o tempo de escoamento de 60 min.

b) Demanda d'água

Demanda d'água é a quantidade máxima de água necessária para preencher os espaços vazios entre os grãos de materiais muito finos como o cimento (SILVA, 2007). Para alcançar este estágio seguiu-se o procedimento a seguir:

- Pesar 350 g de material fino;
- Pesar uma quantidade de água no picete, para o ensaio recomenda-se de 300 g a 400 g.
- Colocar na argamassadeira de 2 l em velocidade baixa e adicionar água com o picete aos poucos por 1 min;
- Desligar a argamassadeira após esse tempo, limpar as paredes da cuba e depois ligar novamente em velocidade alta;
- Continuar adicionando água aos poucos até a mistura formar três “gomos”;
- Desligar a argamassadeira e pesar a massa final do picete, e, por diferença, obter a quantidade de água adicionada em todo o ensaio.

A Figura 3.29 apresenta as 4 fases do ensaio: a primeira é a fase seca onde o material fino encontra-se desordenado sem água (Figura 3.29 (a)); a fase pendular é alcançada com a adição gradual da água (Figura 3.29 (b)); na terceira fase todos os grãos estão molhados, sendo esta fase chamada funicular (Figura 3.29 (c)). Quando todos os vazios entre os grãos são preenchidos a mistura formará três gomos como mostra a Figura 3.29 (d) Está é a fase capilar. Após algumas batidas na lateral da cuba a mistura se acomoda apresentando o aspecto da Figura 3.29 (e).

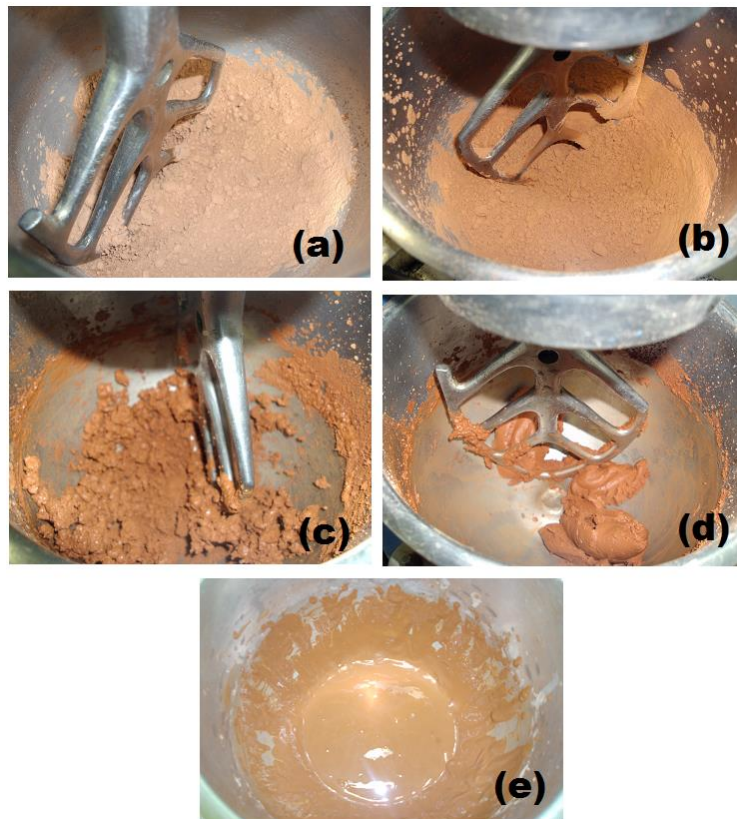


Figura 3.29 Ensaio de demanda d'água com a mostra TJ30: (a) Fase seca; (b) Fase pendular; (c) Fase funicular; (d) Formação dos gomos e (e) Fase capilar

A compacidade máxima é calculada pela Equação 3.27, sendo adotada a média de três ensaios. O ensaio foi realizado com o cimento e com as adições, inclusive aquelas na forma de polpa.

$$C = \frac{1}{1 + \rho_{pó} x \frac{m_{água}}{m_{pó}}} \dots \dots \dots \text{Equação 3.41}$$

Onde:

- C é a compacidade máxima;
- $\rho_{pó}$ é a massa específica do pó;

- $m_{\text{água}}$ é a massa de água adicionada na mistura até o ponto de demanda d'água;
- $m_{\text{pó}}$ é a massa de material seco.

Para as adições utilizou-se somente 250 g devido à pequena quantidade de material disponível para o ensaio. Para as adições em polpa foi calculada a quantidade em polpa com massa de pó correspondente a 250g e mantidas em sala climatizada à temperatura de 35°C até evaporação da camada de água em excesso (Figura 3.30 (a)). Após evaporação dessa camada de água o material era seco à temperatura ambiente (Figura 3.30 (b)) até que atingir o aspecto entre a fase funicular e a fase capilar como ilustra a Figura 3.30 (c). Ao atingir este estágio o material era pesado e colocado na argamassadeira em velocidade alta, e quando formava os três gomos característicos da fase capilar a mistura tinha alcançado o ponto de demanda d'água. Caso a amostra ainda não apresentasse as características da fase capilar a secagem a temperatura ambiente prosseguia por mais 24 horas. Para o cálculo da quantidade de água o material era seco em estufa a 100°C por 24 horas para perda total da água. Por diferença de massa da polpa na fase capilar pela massa do material seco determinava-se a quantidade de água utilizada no cálculo da compacidade do pó.



Figura 3.30 Secagem das amostras TJ10 e TJ1 para demanda d'água (a) Polpas antes da secagem a 35°C; (b) Polpas após secagem a 35°C secando em temperatura ambiente; (c) Polpa após secagem a temperatura ambiente apresentando-se entre a fase funicular e fase capilar

c) Ensaio de vibração e compactação (10 kpa)

Para a determinação da compacidade dos agregados um cilindro de 160 mm de diâmetro e 320 mm de altura foi preenchido com areia e, sobre o material, era colocado um cilindro maciço aplicando uma carga de 200 N, correspondendo a uma pressão de 10 kPa. Todo o aparato era vibrado pela mesa vibratória com frequência de 68 Hz por 3 minutos. Em seguida era feita a leitura do nível do pistão. A Figura 3.31 apresenta as etapas do ensaio.

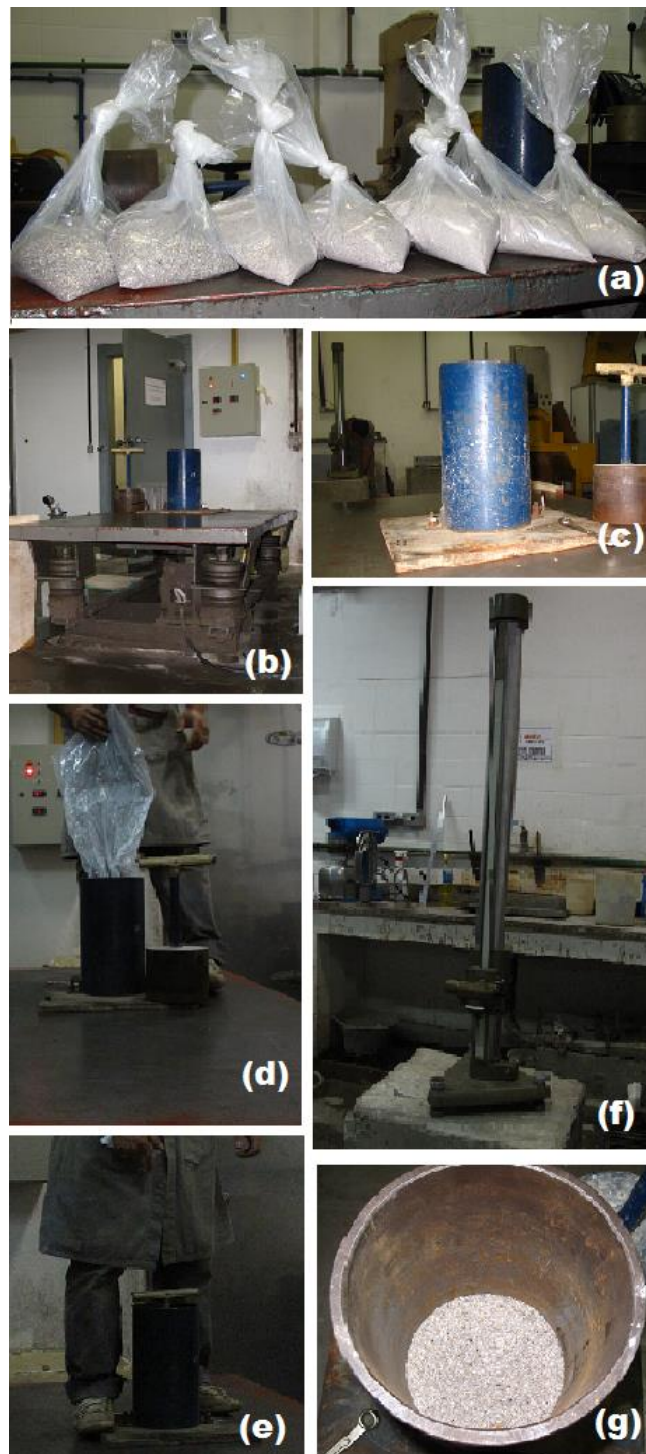


Figura 3.31 (a) As frações da areia do IPT utilizadas no ensaio; (b) Mesa vibratória com o aparato do ensaio montado; (c) Cilindro com o pistão fixados da mesa vibratória; (d) preenchimento do cilindro com areia; (e) Pistão sem material; (f) Leitor de nível posicionado na direção do cilindro em cima da mesa vibratória e (g) material compactado após o ensaio

Com a medida do nível do pistão sem material no interior do cilindro e o nível final do pistão após a vibração com material, calculou-se a compacidade pela Equação 3.28:

$$C = \frac{4m_s}{A \times h \times \rho_{areia}} \dots\dots\dots \text{Equação 3.42}$$

Onde:

- C é compacidade experimental;
- m_{as} é massa do material seco que, no caso da areia, foram 3 kg;
- A é a área da seção transversal do cilindro;
- h é a altura do cilindro;
- ρ_{areia} é a massa específica da areia.

Para a areia do IPT foram realizadas duas replicas de cada fração, e a compacidade de cada fração foi a média das duas determinações.

d) Ensaio para determinação dos parâmetros p, q e kp

Para calibração das interações entre o agregado e a pasta quanto a sua aderência na interface dessas duas fases no interior da argamassas é utilizado pelo MEC o coeficiente p . A aderência desenvolvida pela pasta de cimento com o agregado pode variar sensivelmente, segundo algumas características dos agregados (textura superficial e limpeza). O coeficiente q está relacionado a limitação da resistência à compressão do concreto devido ao agregado. No BetonlabPro 3, após cadastro dos componentes das misturas, são criados arquivos de calibração. O quais são alimentados com dados de duas dosagens diferentes (dois traços de alta e baixa resistência) contendo os mesmos componentes da mistura a ser simulada no programa para as idades de 1, 3, 7 e 28 dias. A sequência do procedimento de calibração desses parâmetros no BetonlabPro 3[®] esta descrita detalhadamente no Anexo A.

3.2.4.3 Argamassa de máxima compactidade - TMC

A dosagem da argamassa de máxima compactidade foi obtida através do programa BetonlabPro 3. O traço adotado foi o de máxima compactidade, mas com o mesmo consumo de cimento, relação a/c e areia/cimento da argamassa de consistência normal. As misturas com adições minerais foram obtidas impondo o teor de 20% de substituição ao cimento mantendo as proporções dos demais componentes. A simbologia adotada foi TMC20(adição mineral)(tamanho de partícula). Na Tabela 3.19 constam as identificações das misturas e o consumo em massa e volume por m³ de argamassa.

Tabela 3.19 Consumo de material por m³ de argamassa em massa e volume das argamassas de máxima compactidade

Misturas	Cimento	Adição	Consumo kg/m ³				Água	sp (%)
			Areia IPT					
			1,2mm	0,6mm	0,3mm	0,15mm		
TMC	522,16	-	1098,42	0,00	7,68	460,39	250,64	0,00
TMC20TJ30	422,53	92,06	1105,09	0,00	4,03	464,27	247,03	0,10
TMC20TL30	423,64	90,74	1104,63	0,00	4,03	464,07	246,93	0,10
TMC20C30	426,72	87,07	1103,39	0,00	4,02	463,55	246,65	0,00
TM20TJ10	423,54	90,86	1104,68	0,00	4,03	464,09	246,94	0,10
TMC20TL10	425,29	88,78	1103,97	0,00	4,02	463,80	246,78	0,10
TMC20C10	426,99	86,76	1103,28	0,00	4,02	463,51	246,62	0,00

O procedimento de mistura foi o mesmo adotado na produção das argamassas de consistência normal o qual esta descrito na NBR7215 (ABNT, 1996).

3.2.5 Propriedades no Estado fresco

3.2.5.1 Consistência

A consistência das argamassas foi determinada de acordo com o procedimento de Determinação do Índice de Consistência Normal Anexo B da NBR7215 (ABNT, 1996). Foi adotado um espalhamento de 220±10 mm para todas as argamassas de consistência

normal. Para as argamassas de máxima compactidade o espalhamento adotado foi o obtido na mistura TMC de 250 ± 10 mm. Para atingir os espalhamentos estipulados utilizou-se o superplastificante. A Figura 3.32 ilustra o espalhamento da mistura CTRL.



Figura 3.32 Espalhamento da argamassa CTRL obtido na mesas de consistência padrão

3.2.5.2 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado foi determinado experimentalmente pelo método pressométrico de acordo com a NBR NM47 (ABNT, 2002). Este ensaio foi somente utilizado para as argamassas CTRL e TMC para comparação do efeito da máxima compactidade.

3.2.6 Moldagem, Adensamento e Cura dos Corpos de prova

Para a moldagem das argamassas utilizou-se moldes cilíndricos de aço nas dimensões 50 x 100mm e 100 x 200mm, de acordo com o procedimento de moldagem da NBR 7215 (ABNT, 1996). Para o adensamento foi usada mesa vibratória com velocidade de rotação de 62Hz por um tempo de 1 min para cada camada. Em seguida os moldes cilíndricos preenchidos e adensados foram mantidos em prateleiras envolvidas por mantas umedecidas por um período de 24 horas. Após esse período de cura nos moldes

cilíndricos os corpos de prova foram desmoldados e imersos em uma mistura de água deionizada com cal hidratada conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996). A Mistura foi preparada para cada 4litros de água um becker de 600ml de cal. Os corpos de prova permaneceram imersos na mistura até a idade requerida para os ensaios. A Figura 3.33 ilustra as etapas de moldagem e cura dos corpos de prova.



Figura 3.33 (a) Moldes sobre a mesa vibratória prontos para preenchimento; (b) Moldes preenchidos com a primeira camada; (c) primeira camada após vibração; (d) Moldes preenchidos com a segunda camada; (e) Moldes após a vibração da segunda camada; (f) Moldes armazenados cobertos com manta e (g) Corpos de prova imersos em água com cal

3.2.7 Ensaios Mecânicos

3.2.7.1 Resistência à Compressão - R_c

Para a determinação da resistência a compressão nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias, foi adotada a média de 4 corpos de prova moldados em moldes de 50 x 100 mm para cada idade. Os corpos de prova eram retirados da água com cal somente no momento do ensaio e para o faceamento. O faceamento foi realizado em torno de usinagem. Os ensaios foram realizados na prensa AGX 100 kN da Shimadzu (Figura 3.34 (a)) com velocidade de carregamento de 0,1 mm/s. Foi ainda determinado o módulo de elasticidade (E) segundo a ASTM C469 (ASTM, 2010) na idade de 28 dias na mesma velocidade de carregamento das demais idades. O deslocamento longitudinal foi determinado pela média das aquisições de dois transdutores elétricos (LVDT A e LVDT B) instalados no corpo de prova como ilustra a Figura 3.34 (c).

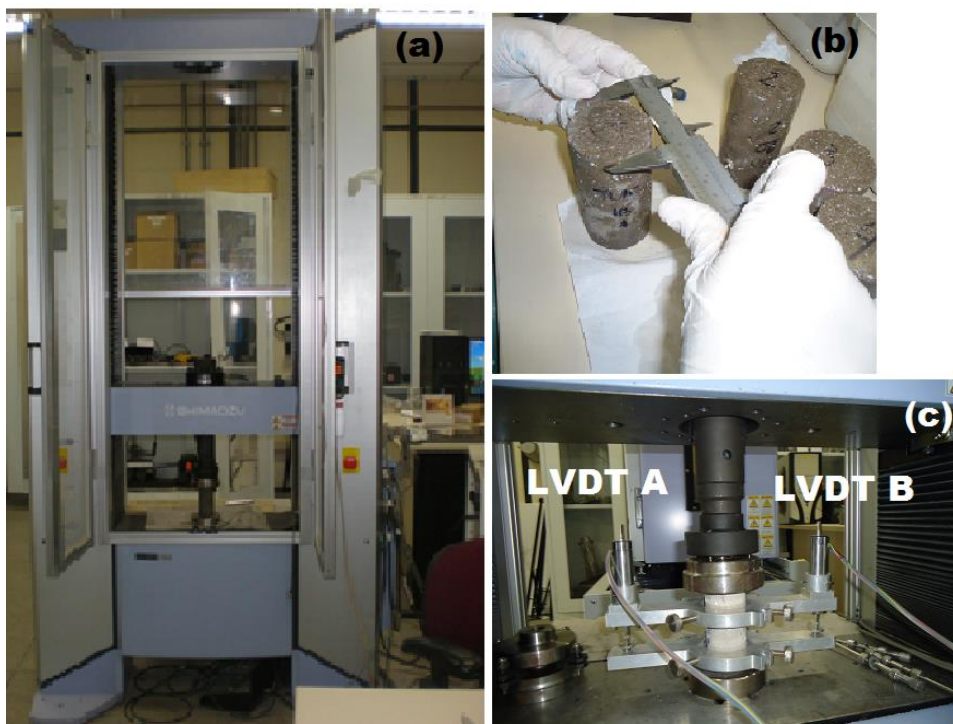


Figura 3.34 (a) Prensa AGX 100KN da Shimadzu; (b) Medição do diâmetro dos corpos de prova e (c) Posicionamento dos LVDTs

3.2.7.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral - *R_{tcd}*

A medida da resistência à tração por compressão diametral foi realizada de acordo com NBR 7222 (ABNT, 2011). Os corpos de prova de 50 x 100 mm foram cortados com o auxílio de serra mecânica em três discos de 25 ± 1 mm (Figura 3.35 (a)). O ensaio também foi realizado na AGX 100 kN da Shimadzu com rótula adaptada e suporte especial para posicionamento do disco conforme Figura 3.35 (b). A velocidade de carregamento foi de 0,3 mm/min. A média foi obtida com os resultados de 6 discos (Figura 3.35 (c)).

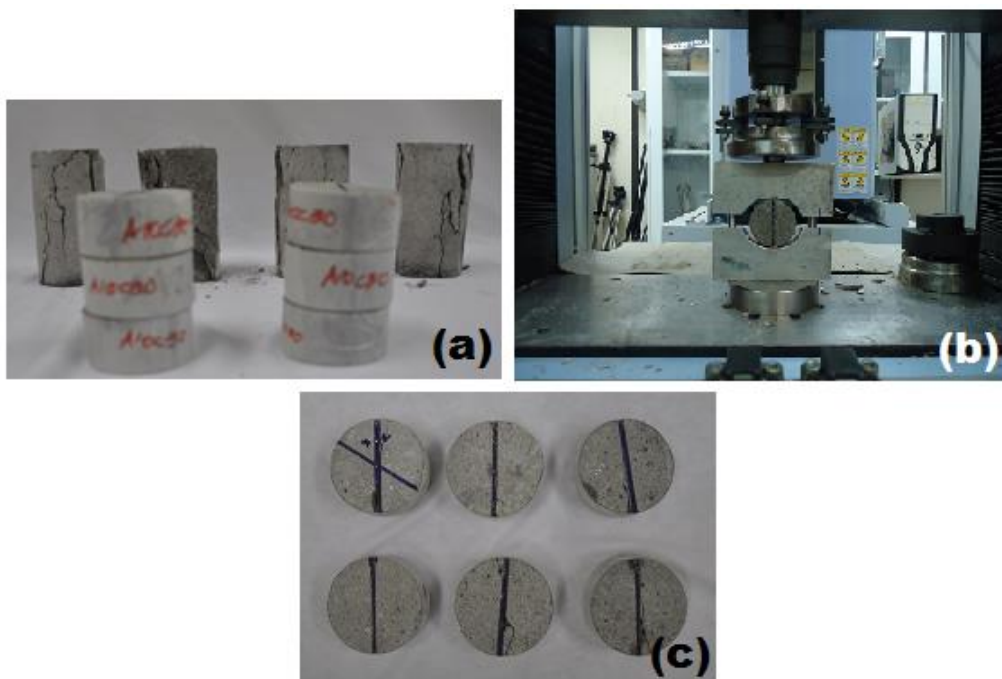


Figura 3.35 (a) Corpos de prova de 50 x100mm cortados em discos de 25mm; (b) Setup do ensaio de *R_{tcd}* e (c) Discos após o ensaio

3.2.8 Ensaios de Durabilidade

Os ensaios descritos a seguir foram realizados para avaliar a resistência das argamassas a permeabilidade de fluidos nocivos a sua estrutura. Todas as amostras foram ensaiadas

após 28 dias de cura em água com cal e no mínimo 24 horas de secagem em estufa a 40°C .

3.2.8.1 Penetração Acelerada por Íons Cloreto

O ensaio foi realizado conforme a ASTM C1202 (ASTM, 2010) e consiste na medição da corrente elétrica que passa através de um corpo de prova de 100 mm de diâmetro e 50mm de espessura. Para o ensaio foi moldado um corpo de prova de 100 x 200 mm para cada mistura, o qual foi cortado em três partes de 50 mm. Em seguida cada disco tinha sua lateral selada com SikaDur[®] 24 horas antes do ensaio (Figura 3.36 (a)). Após selagem e secagem os discos eram colocados em um dessecador com tampa selada com graxa de silicone e feito vácuo com pressão de 50 mmHg por 3 horas (Figura 3.36 (b)). Em seguida era feito vácuo com água por um sistema que permitia a entrada da água sem abertura do dessecador e mantida a mesma pressão por 1 hora (Figura 3.36 (b)). Após vácuo com água os discos permaneciam totalmente imersos dentro do dessecador com vácuo por 18 horas (Figura 3.36 (c)). Esse processo de saturação foi adotado para garantir que todos os poros estejam preenchidos com água permitindo a passagem dos elétrons. Com os discos devidamente saturados com água cada um era colado em duas células de acrílico e selados com silicone (Figura 3.36 (d)). As células foram ligadas por dois eletrodos ao resistor de 0,01Ω (Figura 3.36 (e)). A célula do lado esquerdo foi preenchida com uma solução de 3% de NaCl enquanto na célula da direita foi preenchida com uma solução de 0,3N de NaOH (Figura 3.36 (f)). Após secagem do silicone aplicou-se uma tensão de 60V (Figura 3.36 (g)) por um período de 6 horas, sendo que a cada 30 min eram realizadas leituras da tensão de cada disco por um voltímetro ligado no circuito (Figura 3.36 (h)). A intensidade da corrente de cada disco é calculada conforme a Equação 3.20 e a intensidade da mistura é dada pela média da intensidade dos três discos. Os valores das cargas são classificados conforme a Tabela 3.20.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2 \times I_{30} + 2 \times I_{60} + \dots + I_{360}) \dots \dots \dots \text{Equação 3.43}$$

Onde:

- Q é a carga elétrica, em coulombs;

- I_n é corrente elétrica em n minutos após a aplicação da tensão, em Ampères.



Figura 3.36 (a) Selagem dos discos; (b) Sistema para saturação dos discos; (c) Discos após vácuo e saturação com água; (d) Discos colados com silicone entre duas células de acrílico com eletrodos; (e) Ligação dos eletrodos ao capacitor; (g) Capacitor com 60V ligado em série e (h) Medidor de voltagem

Tabela 3.20 Classificação das misturas de acordo com relação entre a passagem de carga e a penetração dos íons cloretos (ASTM C 1202-10, 2010).

Carga – Q (C)	Penetração acelerada por íons cloreto
>4.000	Alta
2.000 – 4.000	Moderada
1.000 – 2.000	Baixa
100 – 1.000	Muito baixa
<100	Desprezível

3.2.8.2 Permeabilidade a Gás

O ensaio proposto por Cabrera e Lynsdale (1988) mede o fluxo de gás a uma determinada pressão com o qual é possível calcular a permeabilidade intrínseca do material pela equação:

$$k = \frac{2 \times P_2 \times Q \times i \times \eta}{A \times (P_1^2 - P_2^2)} \dots \dots \dots \text{Equação 3.44}$$

Onde:

- k é a permeabilidade intrínseca, em m²;
- Q é a vazão, em m³/s;
- P₁ é a pressão, igual a 1bar;
- P₂ é a pressão aplicada, igual a 2 bar para argamassas e 5 bar para concretos;
- i é a espessura da amostra, em m;
- η é a viscosidade do nitrogênio a 20°C, em kg/m.s;
- A é a área da seção transversal da amostra, em m².

A vazão é calculada pelo tempo que uma bolha de ar leva para percorrer determinado volume. Na Figura 3.37 esta ilustrado o sistema utilizado para o ensaio, o qual consiste em um recipiente cilíndrico conectado a uma tubulação de gás nitrogênio o qual passa pelo cilindro e sai por um pipeta graduada adaptada para ser preenchida com água e

sabão que formarão as bolhas quando o gás passar. A amostra quando completa 28 dias de cura é seca em estufa a 40°C por 24 horas e após esfriar no dessecador sua lateral é selada com fita alumínio. Para garantir que o fluxo seja unidirecional a amostra devidamente selada é colocada no interior do cilindro juntamente com um anel de borracha de silicone. O anel é moldado 48 horas antes do ensaio com borracha ultra rígida de silicone da empresa Aero Jet[®] e preparado conforme instruções do fabricante. Com a amostra devidamente colocada no cilindro aguarda-se 15 min com o gás passando pela amostra na pressão de 2 bar até o fluxo entrar em regime constante. Em seguida, com o auxílio de um cronômetro mede-se o tempo que uma bolha formada no interior de pipeta graduada cheia de água e sabão leva para percorrer um volume estabelecido na pipeta graduada. A vazão é a média de 10 leituras consecutivas.

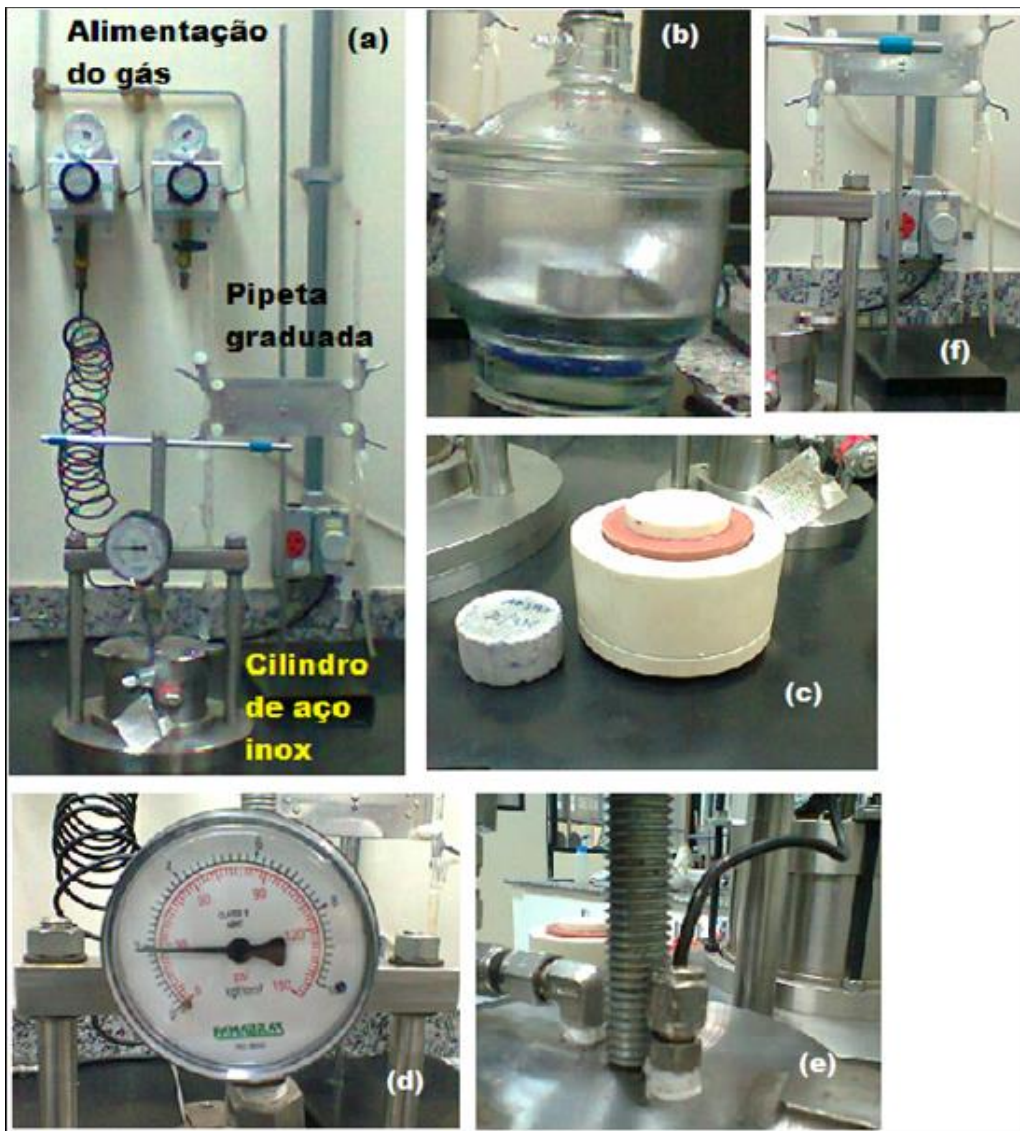


Figura 3.37 (a) Sistema de alimentação e medição do gás que passa pela amostra no interior do cilindro; (b) Amostra com a lateral selada esfriando no dessecador; (c) Anel de borracha curando no molde; (d) manômetro acoplado ao cilindro indicando a pressão aplicada; (e) Conector que liga a tubulação de gás ao cilindro e (f) pipetas graduadas adaptadas com seringas acopladas preenchidas com água e sabão

3.2.8.3 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

Para a determinação da estrutura dos poros foi utilizada a técnica de intrusão de mercúrio. As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LCT/USP). O equipamento

utilizado foi o Autopore IV da Micromeritics. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ISO 15901-1 (ISO, 2005). A pressão adotada foi 40.000 psi e o ângulo de contato de 130°. A classificação dos poros adotada foi de acordo com a proposta por MINDESS *et al* (2002).

As análises foram realizadas em cubos de 1 cm³ extraídos de corpos de prova de argamassas seccionados de 50x25 mm±1 mm. Os discos de argamassas antes do corte foram submetidos ao mesmo processo de cura dos demais ensaios, em água com cal por 28 dias. Após a cura foram levados a estufa de 40°C até constância de massa.

3.2.9 Ensaios Físicos

A medida de absorção total inclui os poros conectáveis e os não conectáveis enquanto que a absorção capilar é a medida relacionada aos poros capilares, portanto os poros conectáveis. Os ensaios foram realizados com amostras na idade de 28 dias após cura em água com cal e após secagem em estufa de 40°C.

3.2.9.1 Absorção de Água por Imersão e por Capilaridade

A absorção de água, o índice de vazios e a massa específica foram determinados conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005). A Figura 3.38 apresenta as etapas do procedimento para a determinação das massas antes e após saturação. Para esse ensaio foram moldados 3 corpos de prova de 50 x 100 mm e cortados em discos de 25mm±1mm.

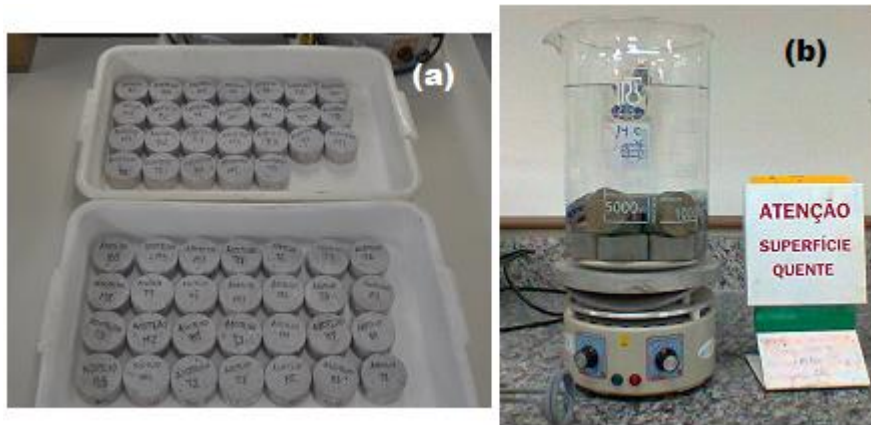


Figura 3.38 (a) Corpos de prova imersos em água deionizada por 72horas antes da fervura e (b) Aquecimento dos corpos de prova imersos em água deionizada por 5horas

A absorvidade das misturas foi determinada conforme a NBR 9779 (ABNT, 2012). A selagem lateral com fita alumínio, como mostra na Figura 3.39, garante que a absorção da água por vasos capilares seja unidirecional. O ensaio foi realizado com três corpos de prova de 50 x 100 mm. Após selagem os corpos de prova foram colocados em uma urna de vidro com uma lamina de 5 mm de água.



Figura 3.39 Corpos de prova de 50 x 100 mm envolvidos por fita colante de alumínio deixando 5 mm descoberto na base

A Figura 3.40 ilustra uma curva esquemática do ganho de massa com tempo e os três parâmetros de absorvidade obtidos da curva. O primeiro parâmetro é obtido pela

inclinação do primeiro trecho da curva chamado de estágio 1 (S1). Nesse estágio ocorre absorção de água por capilaridade nos poros conectáveis maiores. No segundo trecho da curva ocorre absorção de água nos poros conectáveis menores, sendo esse estágio conhecido como estágio 2. A passagem do estágio 1 para o estágio 2 (S2) é o chamado ponto de transição (Pt). No Pt ocorre a saturação dos poros conectáveis maiores e inicia-se a absorção da água nos poros capilares menores.

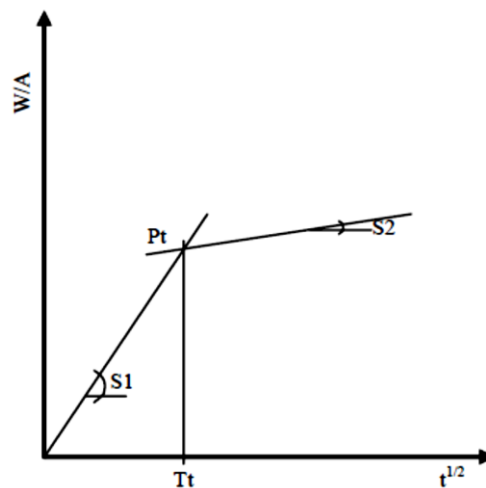


Figura 3.40 Curva esquemática do ganho de massa do corpo de prova com o tempo (FONTES, 2008)

3.2.10 Análise Estatística

O modelo de regressão linear geral (MLG) foi adotado em conjunto ao procedimento ANOVA em que os cálculos são realizados através de uma abordagem de regressão por mínimos quadrados para descrever a relação estatística entre um ou mais fatores e variável contínua. MLG realiza comparações múltiplas de médias dos níveis de fatores para encontrar diferenças significativas. Em termos de matriz, o modelo de regressão linear geral é:

$$Y = X\beta + \varepsilon \dots \dots \dots \text{Equação 3.45}$$

Onde Y é um vetor de respostas, β é um vetor de parâmetros, X é a matriz de projeto de constantes e ε é um vetor de variáveis aleatórias normais independentes. Geral Modelo Linear usa uma abordagem de regressão para ajustar o modelo que você especificar. O programa usado para as análises tipo MLG foi Minitab[®] 15.1.1.0. Regressão ponderada de mínimos quadrados é um método para lidar com as observações que têm variações não constantes. Se as variâncias não são constantes, com observações:

- Grandes desvios deve ser determinada relativamente pequenos pesos
- Pequenos desvios deve ser determinada relativamente grandes pesos

A escolha usual de pesos é o inverso da variância de erro puro na resposta. Se houver n observações no conjunto de dados, o Minitab forma uma matriz $n \times n$ W com a coluna de pesos como sua diagonal e zeros em outro lugar. Minitab calcula os coeficientes estimados por (MINITAB, 2007):

$$(X' W X)^{-1} (X' W Y)$$

Isto é equivalente a minimizar a soma quadrática ponderada. O p-valor é utilizado em testes de hipóteses para ajudar a decidir se a hipótese nula deve ser ou não rejeitada. O valor de p é o menor valor de significância ou α , para o qual a hipótese nula, que representa a hipótese que o efeito daquela variáveis não é significativo, é rejeitada. Um valor de corte utilizado para o p-valor é 0,05. Por exemplo, se o valor-p calculado de uma estatística de teste é inferior a 0,05, foi rejeitada a hipótese nula.

CAPÍTULO 4- APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 COMPORTAMENTO NA MOAGEM

Após o processo de britagem as distribuições granulométricas obtidas para o tijolo (TJ), a telha (TL) e a cerâmica de piso (C) estão ilustradas na Figura 4.1. As curvas da C e da TL apresentaram-se muito próximas enquanto a do TJ apresentou granulometria mais fina. O d50 (tamanho que partícula corresponde àquele no qual 50% das partículas são menores) do TJ é menor que da C e da TL, os quais são respectivamente 1,12 mm, 1,32 mm e 1,52 mm.

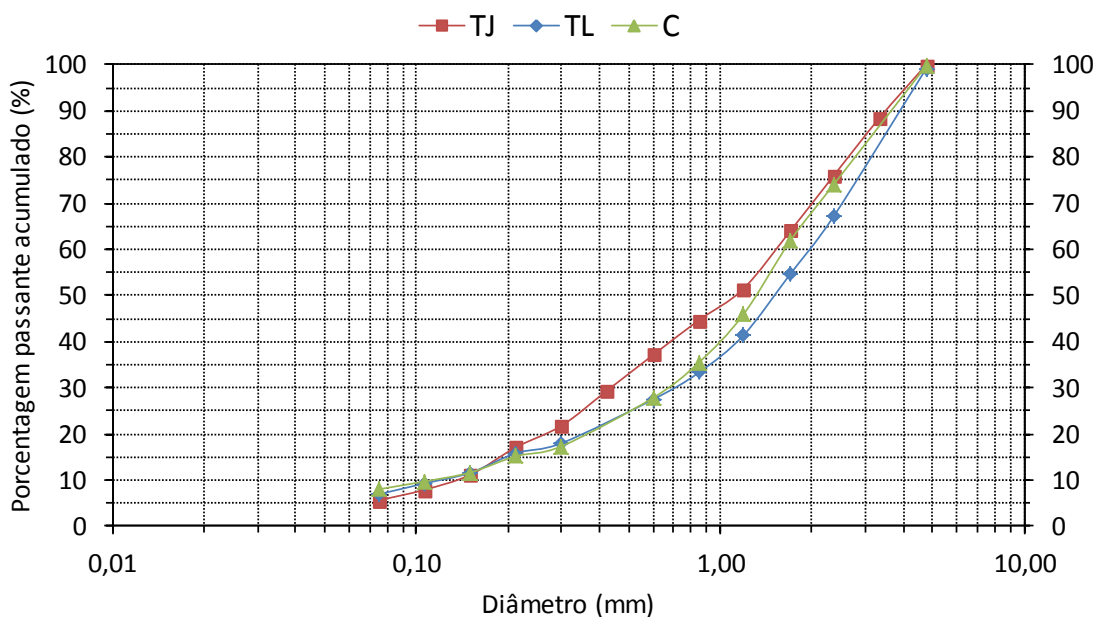


Figura 4.1 Distribuição granulométricas após britagem

Os produtos da britagem dos materiais representados na Figura 4.1, foram submetidos a moagem em circuito fechado e as curvas de distribuição granulométrica resultantes desse processo após duas horas de moagem para cada um dos materiais foram as apresentadas na Figura 4.2.

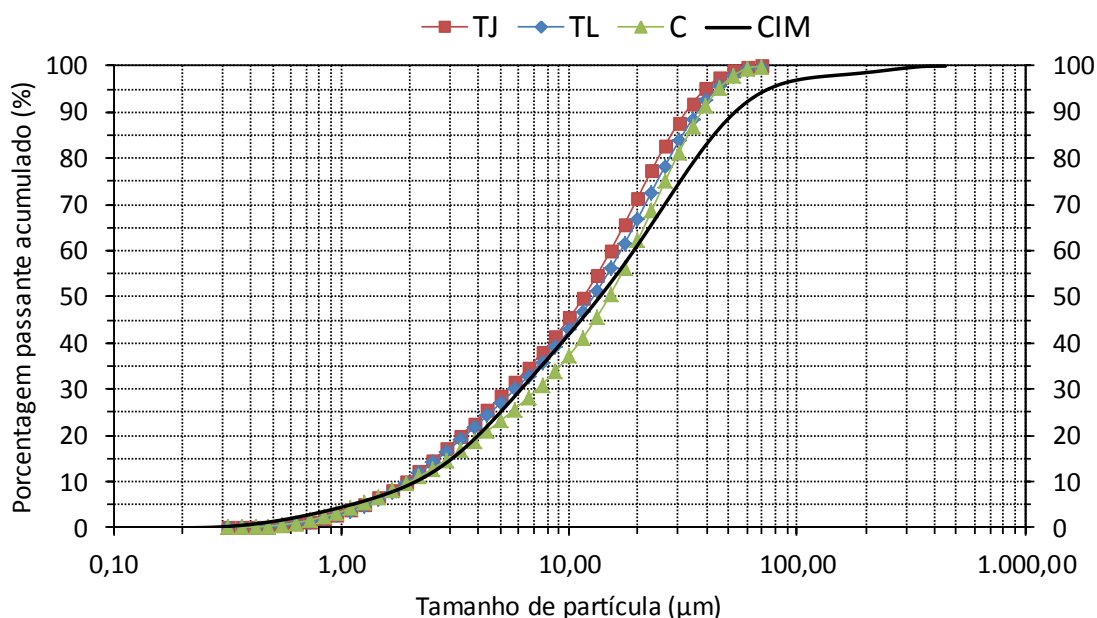


Figura 4.2 Distribuição granulométrica após moagem em circuito fechado

As curvas apresentaram-se mais próximas após a moagem em circuito devido a ajustes frequência de rotações do classificador, que possibilitava a separação da fração mais fina na distribuição granulométrica desejada, a qual deveria ser similar a do cimento. Porém, de acordo com os índices de moabilidade de Bond para a abertura de fechamento de 45 μm da Tabela 4.1, os materiais apresentam diferentes resistências ao processo de cominuição. Os resultados demonstram que TL apresenta menor resistência à moagem que TJ e C.

Tabela 4.1 Índice de trabalho de Bond do TL, TL e C para diâmetro de corte de 45 μm .

Material	Índice de trabalho de Bond (W_i) (kWh/t)
TJ30	16,47
TL30	10,08
C30	17,58

Após ajuste das curvas para que coincidisse com a distribuição granulométrica do cimento, as distribuições granulométricas de cada material apresentaram-se como representadas na Figura 4.3. A partir desses materiais pré-moídos foram realizadas as demais moagens no moinho atritor. A moagem no moinho atritor para a obtenção de materiais com d_{80} (tamanho correspondente a 80% das partículas passantes) igual a 10 μm e a 1 μm resultou nas distribuições granulométricas da Figura 4.4.

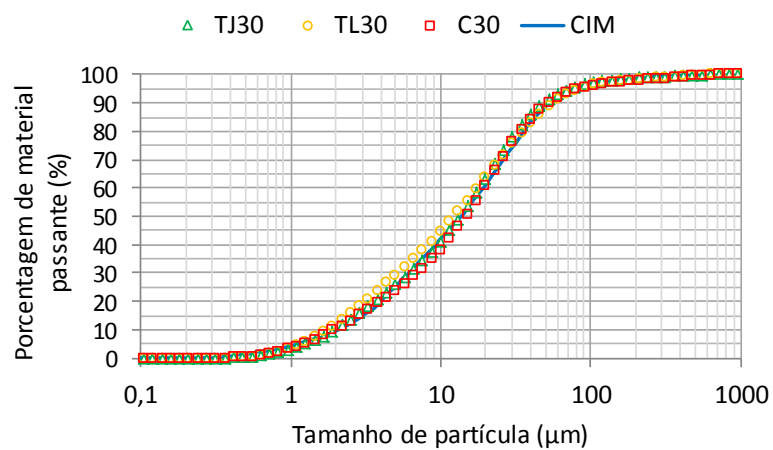


Figura 4.3 Distribuição granulométrica após ajuste das curvas granulométricas dos RCDs e do cimento

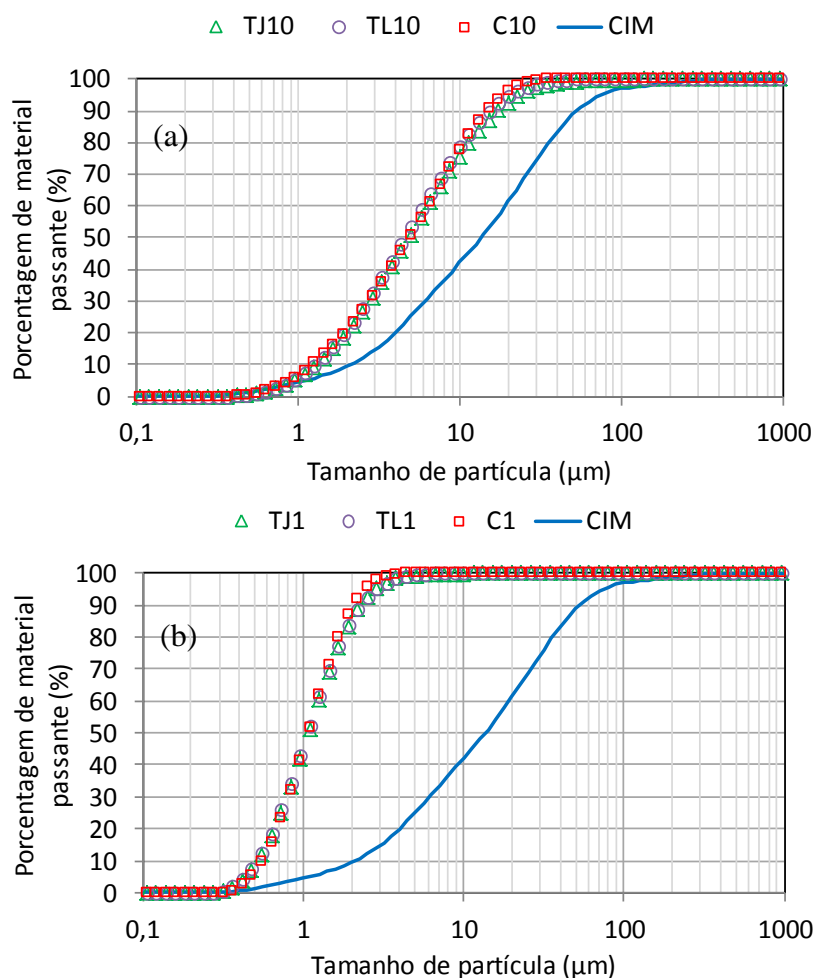


Figura 4.4 Granulometria dos materiais cerâmicos com d_{80} de (a) 10 μm e (b) 1 μm

O tempo de moagem de C para d_{80} igual a 10 μm foi menor que TJ e TL, os quais tiveram o mesmo tempo de moagem. Isso significa que C moe mais facilmente que TJ e TL. Quanto à moagem para obtenção de d_{80} igual a 1 μm , na qual o tempo de moagem foi o mesmo, o d_{80} de TJ1, TL1 e C1 foi respectivamente 1,78, 1,77 e 1,66 μm . Dada a similaridade das curvas de TJ1, TL1 e C1 e a pouca diferença entre o d_{80} desses materiais, pode-se dizer que para a moagem de 1 μm o comportamento desses materiais foi similar.

Com dados de dureza superficial e de resistência de partículas de diâmetro médio de 45 μm foi possível avaliar o esforço necessário para cominuir TJ, TL e C para as moagens de 10 μm e 1 μm , os resultados constam na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Dados de resistência à compressão e dureza de partículas de 45 μm

Parâmetros	TJ		TL		C		
	M	dp	M	Dp	M	Dp	
DADOS DE RESISTÊNCIA DE PARTÍCULAS	Força (mN)	54,44	69,92	51,47	44,18	74,54	52,49
	Deslocamento (μm)	6,67	2,67	6,73	5,59	3,33	1,67
	Diâmetro (μm)	44,28	4,16	43,09	4,22	43,49	4,14
	Tensão (MPa)	26,37	39,87	26,33	26,14	34,81	26,18
	mp (g)	1,03E-07	2,67E-08	8,91E-08	2,43E-08	8,90E-08	2,58E-08
	Em (J/g)	1,41	1,51	1,18	1,28	1,14	0,95
DADOS DE DUREZA	Em (J/Kg)	1414,93	1511,41	1179,53	1283,19	1140,30	948,39
	E (GPa)	9,25	0,97	16,59	3,78	20,00	14,50
	HV	87,00	41,10	944,40	88,60	970,70	87,20

É evidente que as partículas apresentaram diferenças quanto à sua resistência à ruptura, sendo que TJ e TL apresentaram valor médio de tensão de ruptura muito semelhantes e menores que C. Isso significa que, potencialmente, o esforço para cominuir TJ e TL para diâmetros menores que 45 μm é o mesmo, e que para C esse esforço é maior. Porém o que se observou foi o comportamento inverso, como é mostrado na Tabela 4.1. Essa diferença entre as resistências e as energias demandadas na moagem podem ser explicadas pela composição das partículas selecionadas (de forma aleatória) no teste de microcompressão. Na Figura 4.5 são apresentadas as distribuição das resistências de partícula e das energias de fratura destas partículas.

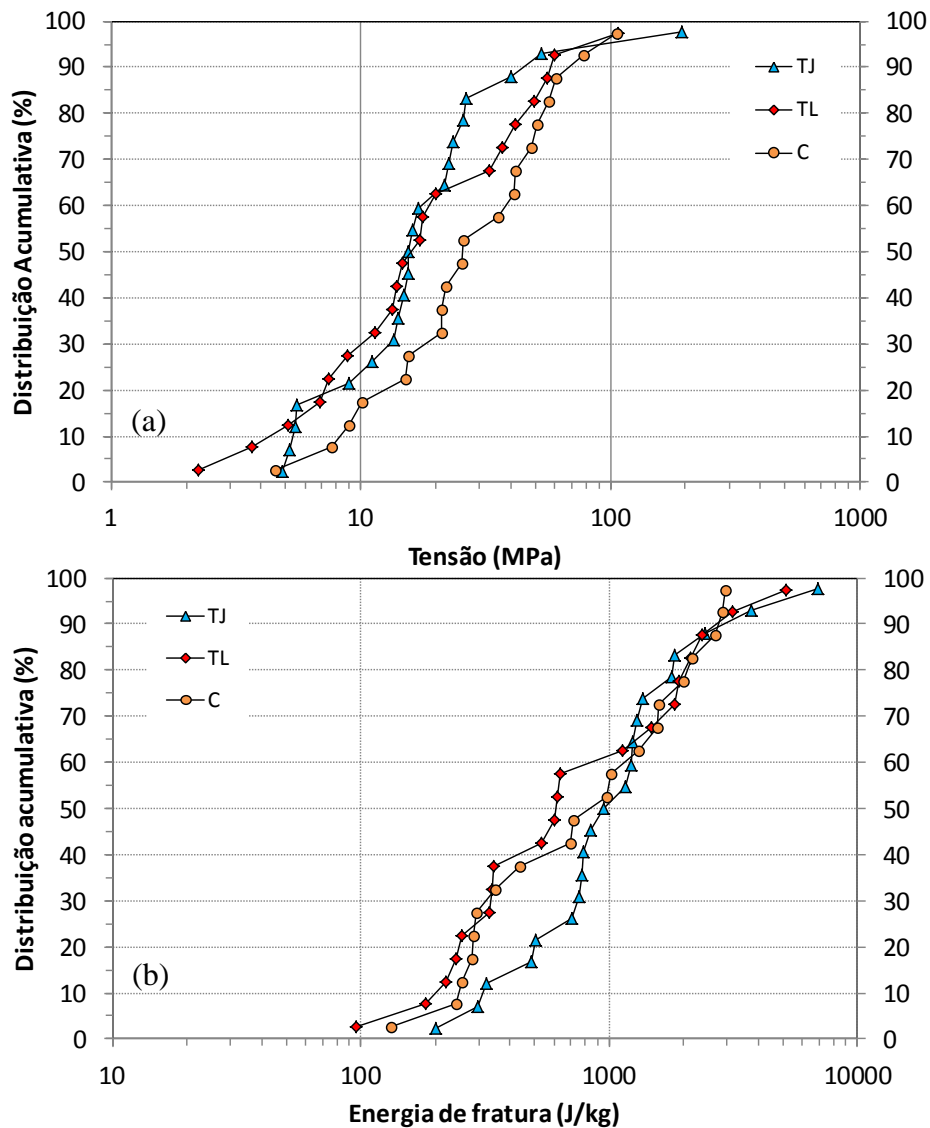


Figura 4.5 Distribuição das (a) resistências de partículas e das (b) energias de fratura de partículas de TJ, TL e C

As distribuições dos resultados de resistência de partícula e de energia de fratura apresentaram-se muito próximas, tendo as distribuições de energia de fratura se sobrepondo em vários trechos. As curvas de distribuição da resistência de TJ e da TL se sobrepõem e são mais deslocadas para esquerda, indicando que suas resistências são menores que as de C. No entanto, as curvas de energia não apresentam claramente uma diferença devido a sobreposição. Em termos de valores médios, a resistência de ruptura média das partículas de C é maior que TJ e TL, porém a energia média de fratura da TL

e da C são semelhantes e inferiores a de TJ (Tabela 4.2). Os dados de dureza também confirmam o que se observou nos dados médios de energia de fratura, e estatisticamente TJ é menos duro que TL e C, enquanto ambos não apresentaram diferença significativa entre suas durezas.

As diferenças nas resistências à ruptura podem ser atribuídas à composição heterogênea das partículas observadas na escala micrométrica. Foi possível identificar, com auxílio da microcâmera, duas formas de partículas distintas: uma de característica aparentemente “amorfa” e outra “cristalina”. Na Figura 4.6 a imagem (1) é um aglomerado de partículas menores e a sequência de imagens (2), (3), (4) e (5) ilustra a sua ruptura semelhante a um escoamento. Devido a este comportamento, essas partículas foram denominadas “amorfas”.

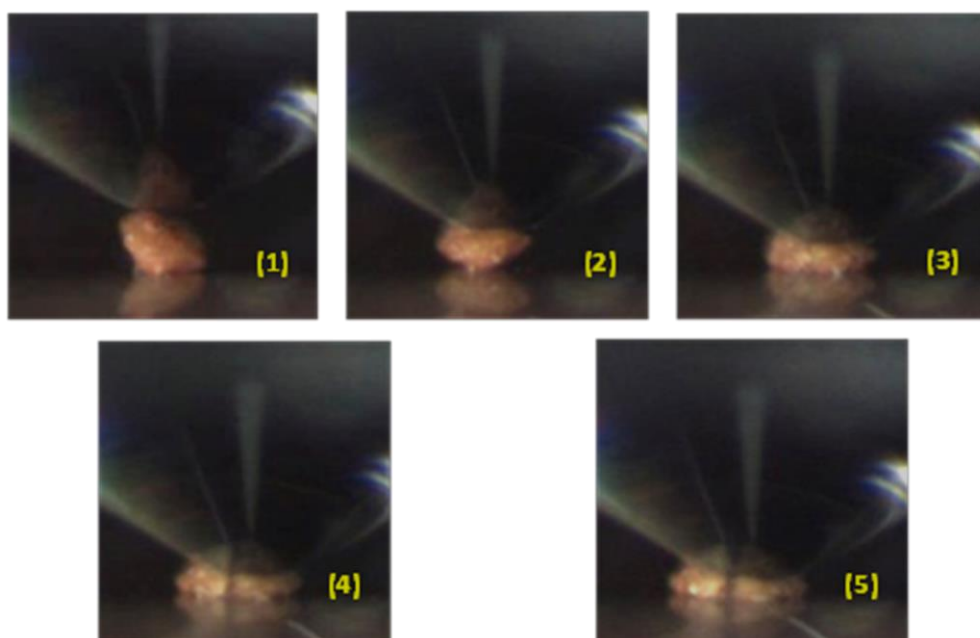


Figura 4.6 Imagens captadas de vídeo do carregamento de uma partícula tipo “amorfa”

A imagem (1) da Figura 4.7 à esquerda mostra uma partícula mais íntegra semelhante a um cristal e a imagem (2) à direita a partícula apresenta alguns pontos refletivos que indicam que parte da partícula foi fragmentada (uma trinca propagou no interior do

sólido) e finalmente a imagem (3) a sua ruptura resultando em um fragmento menor. Estas partículas foram denominadas “cristalinas”.

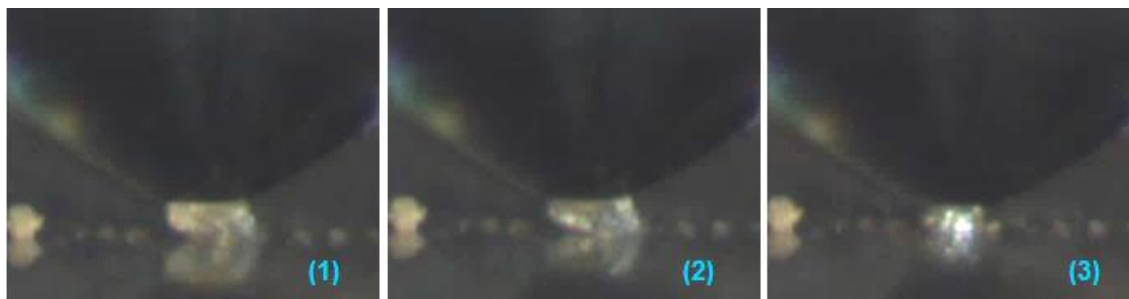


Figura 4.7 Imagens captadas de vídeo do carregamento de uma partícula tipo cristalina

A tensão de ruptura e a energia de fratura dessas partículas, agrupadas pelo tipo de estrutura, resultou nas distribuições representadas na Figura 4.8. Observou-se que as partículas “cristalinas” apresentam maior resistência à ruptura que as “amorfas”. Quanto à energia de fratura as curvas apresentaram-se muito semelhantes, indicando comportamento similar. Em termos de média as resistências das “amorfas” e “cristalinas” foram estimadas em 16,6 MPa e 43,5 MPa, respectivamente. No caso da energia de fratura esses valores foram de 1080 J/kg para as partículas “amorfas” e 1311 J/kg para as partículas “cristalinas”. Portanto, as diferenças encontradas nas resistências das partículas de cada tipo de material estudado (TJ, TL e C) podem ser relacionadas às porcentagens de partículas “amorfas” ou “cristalinas” nas partículas selecionadas durante o ensaio de cada material. Assim, é possível concluir que a C apresentou maior resistência por apresentar maior número de partículas cristalinas em sua amostragem. Isso é consistente com o seu processo de tratamento, que devido a elevada temperatura pode apresentar fases como a mulita, que se recristalizaram (SANTOS, 1975).

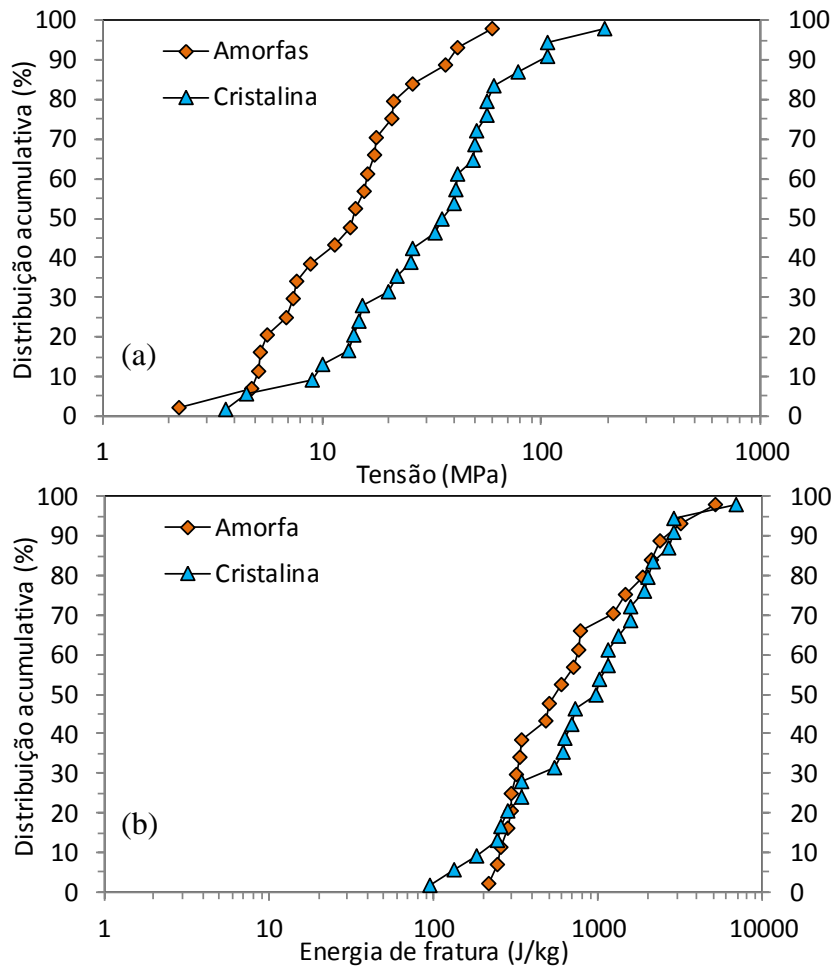


Figura 4.8 Distribuição das (a) resistências de partículas e (b) energias de fratura de partículas tipo “amorfás” e “cristalinas”

O fato de C apresentar mais partículas “cristalinas”, as quais são mais resistentes, pode ter contribuído para cominuição das partículas mais frágeis na moagem de partículas de 10 μm , moendo-as mais rápido. Para a moagem de 1 μm TJ, TL e C, cujo tempo de moagem foi o mesmo, as diferenças entre o diâmetro médio (d_{50}) e o d_{80} de TJ1 e TL1 em relação a C1 foram de 1% e 7%, respectivamente. Isso significa que, a moagem não foi influenciada pelo tipo de cerâmica. Portanto o procedimento de moagem para obtenção de partículas de 1 μm permitiu reduzir as diferenças dos comportamentos dos materiais.

A Figura 4.9 ilustra a distribuição da resistência de partículas de outros materiais e dos materiais cerâmicos. Observou-se dois grupos cujas distribuições de resistência à ruptura se sobrepõem: o grupo das curvas de calcário e da cinza da casca de arroz e o grupo das curvas de quartzo e escória. As curvas do TJ, da TL e da C se posicionam entre aquelas desses dois grupos, tendo maior proximidade com a distribuição do calcário.

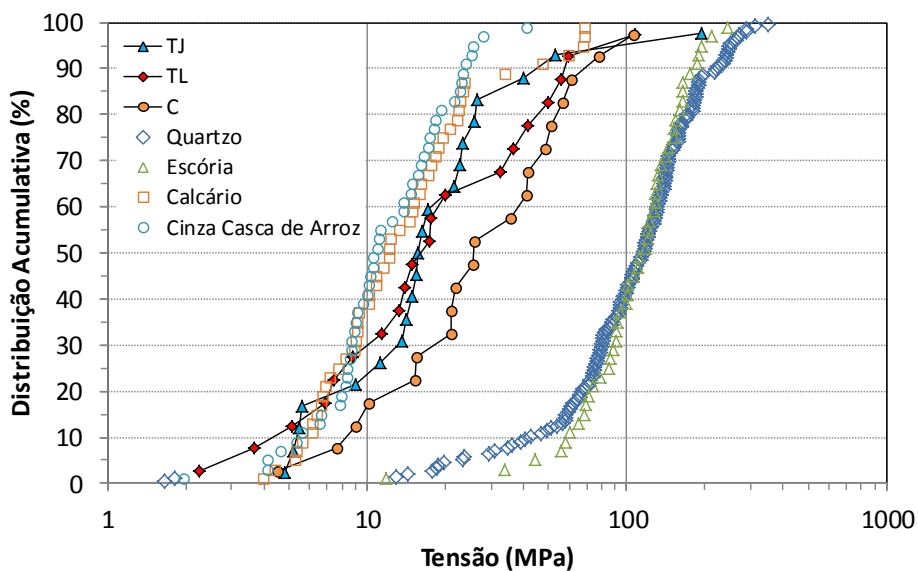


Figura 4.9 Distribuição de Weibull das tensões e energias de fratura de partículas de vários materiais e de partículas de TJ, TL e C (RIBAS *et al.*, 2014)

A energia específica total (E) demandada na moagem e estimada para produzir TJ, TL e C nas diferentes faixas granulométricas estão representadas na Figura 4.10.

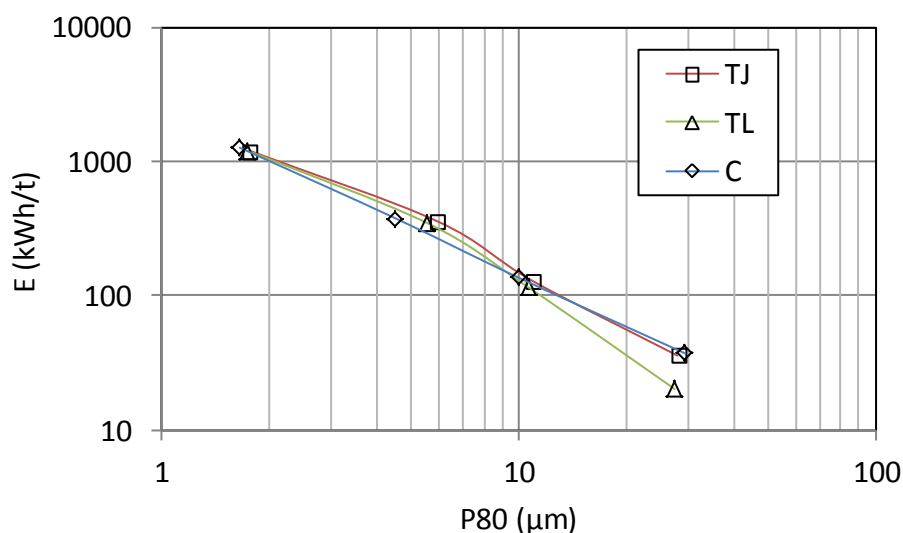


Figura 4.10 Energia esp. total para cominuir os materiais cerâmicos até os tamanhos de 30, 10 e 1 μm

A Figura 4.10 mostra que a energia específica total aumenta com a redução do tamanho de partícula. Observou-se que a energia para produzir TL30 é menor comparada à energia necessária para produzir TJ e C no mesmo tamanho. Porém para a produção de partículas de 1 μm a energia específica total é praticamente a mesma. Com isso se pode dizer que para produzir partículas com tamanhos maiores que 10 μm pode não ser vantajosa se realizada a moagem conjunta dos resíduos cerâmicos de variada composição, pois eles poderão apresentar distribuição granulométrica distinta no produto. Isso significa que para os materiais apresentarem a mesma distribuição granulométrica no tamanho de 10 μm esses resíduos deveriam ser moídos separadamente. No entanto a moagem para obtenção de partículas de 1 μm, embora necessite de maior energia específica total, a moagem é capaz de produzir a mesma distribuição granulométrica para os diferentes tipos de materiais cerâmicos, com a mesma duração de moagem, o que permite a moagem desses materiais em conjunto.

A fim de oferecer um indício sobre o custo demandado na produção desses pós, a Tabela 4.3 apresenta o custo estimado da energia para moagem de 1t no Brasil de cada material produzido neste estudo baseado na taxa para consumo industrial de energia calculado pela Agência Nacional de Energia Elétrica no último relatório de informações

gerenciais de dezembro de 2013, até o presente momento da conclusão deste trabalho (ANEEL, 2013).

Tabela 4.3 Custo estimado da energia no Brasil em R\$/t para a moagem dos resíduos cerâmicos.

Materiais	Tamanho nominal de partículas (μm)	Energia espec. total (kWh/t)	R\$/t*
TJ	30	35,73	8,13
	10	120,90	27,50
	1	1197,18	272,31
TL	30	20,13	4,58
	10	110,21	25,07
	1	1200,55	273,08
C	30	37,04	8,43
	10	127,10	28,91
	1	1263,18	287,32

*Taxa para consumo industrial de energia de 227,46 R\$/MWh (ANEEL, 2013)

É importante destacar que essa Tabela 4.3 apenas apresenta uma estimativa dos custos de energia, que poderão ser marginalmente mais baixos via a otimização do processo industrial. Entretanto, eles não incluem os custos de mão de obra, de metal de desgaste, bem como de investimento na unidade de moagem.

4.1.1 Conclusões sobre o comportamento na moagem

Os procedimentos de moagem adotados e as técnicas utilizadas para avaliação do esforço necessário para a cominuição do TJ, da TL e da C até tamanhos representativos de 30 μm , 10 μm e 1 μm permitiram as seguintes conclusões sobre o comportamento desses materiais durante a moagem:

- O TJ, TL e C apresentam comportamentos diferentes durante a moagem até o tamanho de 10 μm , como comprovado pelo o índice de moabilidade de Bond e a resistência e dureza das partículas.
- As diferenças aparentemente não influenciaram a moagem até o tamanho representativo de 1 μm , tendo os materiais atingido aproximadamente a mesma distribuição granulométrica sob as mesmas condições de moagem. Isso torna a

produção dessas partículas no tamanho de 1 μm mais atrativa que as moagens de 30 μm e 10 μm considerando a questão de reaproveitamento total desses resíduos de forma independente às suas composições.

4.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS ADIÇÕES MINERAIS

Na Tabela 4.4 são apresentadas as compacidades do cimento e das adições minerais, e observa-se que as amostras TJ30 e TL30 apresentaram menor compacidade que o cimento, a pesar das distribuições granulométricas similares. Essa diferença pode ser atribuída à forma das partículas de TJ30 e TL30. Os valores de suas compacidades também foram muito próximos, indicando que as partículas dos dois materiais possuem formas semelhantes entre si. A compacidade inferior das amostras TJ30 e TL30 pode afetar a compacidade de pastas binárias de cimento quando substituí-lo parcialmente, enquanto a amostra C30 apresentou valor muito próximo ao cimento, o que significa que a substituição de parte do cimento por C30 não deve afetar a compacidade das pastas binárias de cimento.

Tabela 4.4 Compacidades experimentais do cimento e das adições

Materiais	Compacidade	Desvio padrão	C_{nu}
CPI-32	0,56	0,011	8,69
TJ30	0,44	0,003	9,20
TJ10	0,43	0,022	4,95
TJ1	0,43	0,004	2,40
TL30	0,45	0,005	10,10
TL10	0,40	0,007	4,66
TL1	0,41	0,031	2,41
C30	0,50	0,007	9,97
C10	0,42	0,019	5,19
C1	0,43	0,031	2,24

As amostras com 10 μ m apresentaram pequena diferença entre suas compacidades e inferiores à do cimento. Porém não houve alteração na compacidade do tijolo com a redução do tamanho de partícula, mesmo tendo passado de uma distribuição de duas populações (bimodal) para uma população, o que deveria reduzir ainda mais a compacidade (Figura 4.11), enquanto a telha apresentou uma pequena redução da compacidade, a qual se pode atribuir às mudanças na distribuição granulométrica que passou a ser monomodal como se pode observar na Figura 4.11.

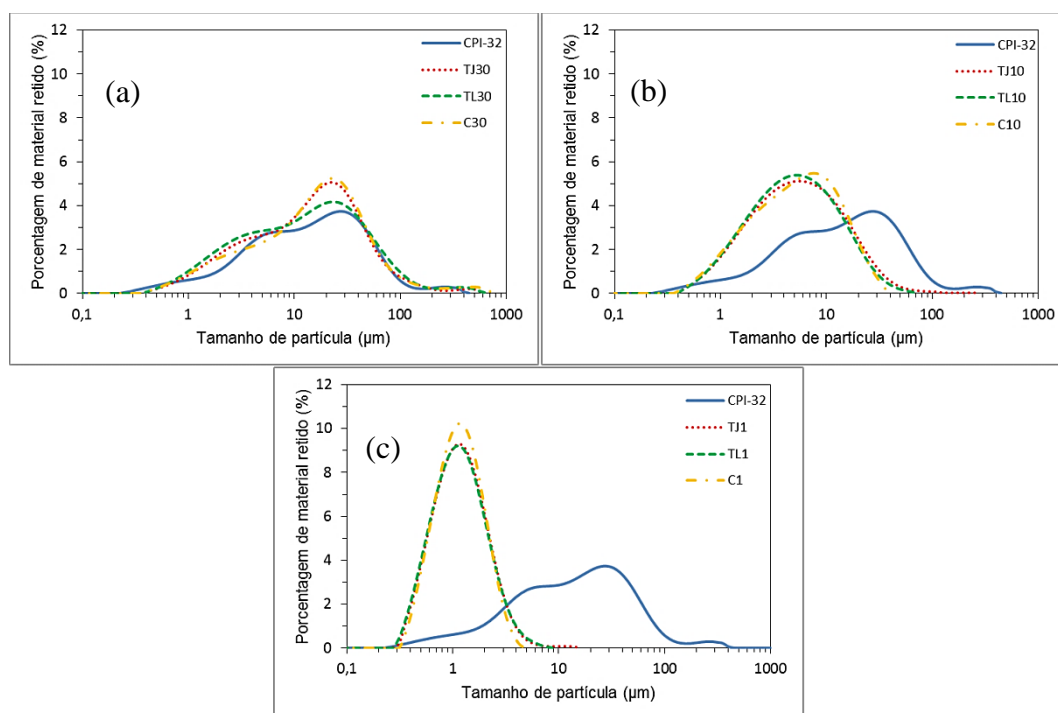


Figura 4.11 Distribuição granulométrica do material retido das adições minerais (a) de 30 μm , (b) de 10 μm e (c) de 1 μm

A cerâmica apresentou redução na compacidade mais significativa que a telha com a redução do tamanho e também foi devido a mudança da distribuição do tamanho de partícula. O coeficiente de não uniformidade (Cnu) evidencia essa mudança na distribuição dos tamanhos das partículas com a redução do tamanho (ver Tabela 4.4). O Cnu do material com d_{80} de 30 μm diminuiu em mais da metade ao passar para 10 μm . O material bem graduado é aquele com maior Cnu, o que significa que possui maior presença de faixa de tamanhos de partículas. Todos os materiais com 30 μm apresentaram Cnu maior que o cimento e diminuiu com a redução do tamanho das partículas. Uma distribuição granulométrica com partículas de tamanho muito próximo empacota menos que uma distribuição granulométrica bimodal, como ilustra a Figura 4.12.

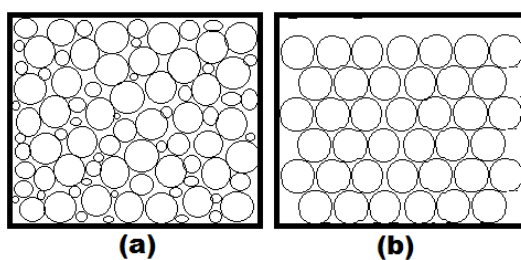


Figura 4.12 (a) Granulometria bem graduada e (b) Granulometria mono tamanho

As amostras com 1 μm não apresentaram diferença na compactidade em relação as amostras de 10 μm e nem entre si. Esse resultado era esperado devido as condições similares de moagem que produziram apenas redução do diâmetro das partículas. Portanto a redução do tamanho de 10 μm para 1 μm não teria alterado, em princípio, a forma e nem a textura das partículas. A Figura 4.13 apresenta imagens das partículas das amostras por tipo de cerâmica nos três tamanhos. Observou-se na amostra C30 a presença de partículas arredondadas, o que explica a diferença na compactidade em relação as amostras TJ30 e TL30. As amostras TJ30 e TL30 possuem partículas com forma angular e semelhante entre si. As imagens das partículas com 10 μm e 1 μm comprovam a redução no tamanho das partículas. Observou-se também que a amostra C10 manteve a forma arredondada das partículas. Isso significa que a sua forma não foi alterada com a moagem e que a sua compactidade se aproxima da compactidade das amostras TJ10 e TL10 devido a mudanças na distribuição do tamanho das partículas como dito anteriormente. A imagem da amostra C1 mostra as partículas mais aglomeradas que as amostras TJ1 e TL1 na mesma escala, ou seja, sem o uso de dispersante não foi possível visualizar as partículas mais dispersas. Isso significa que a energia superficial das partículas de C1 é maior que das amostras TJ1 e TL1.

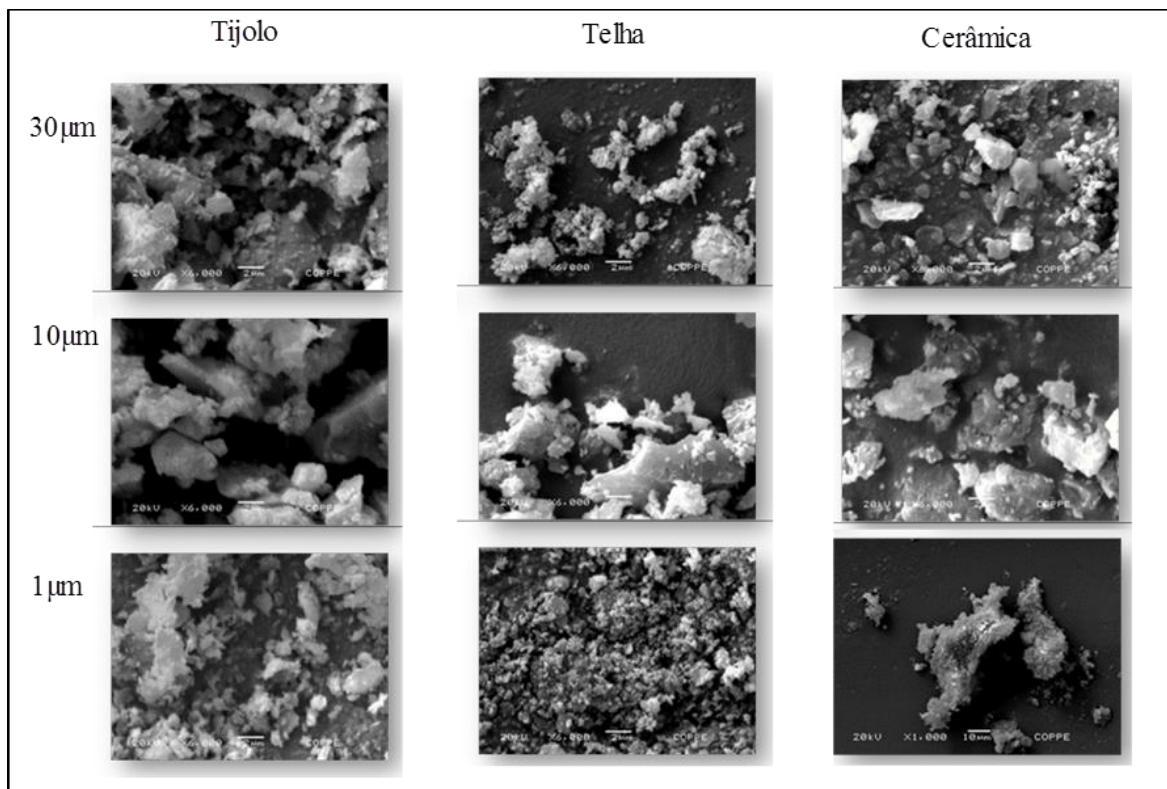


Figura 4.13 Morfologia das partículas das adições minerais produzidas (imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura com detecção por elétrons retro espalhados – aumento de 1.000 vezes)

As curvas de TG, DTG e DTA das amostras de TJ, TL e C nos tamanhos de 30µm, 10µm e 1µm estão ilustradas Figura 4.14.

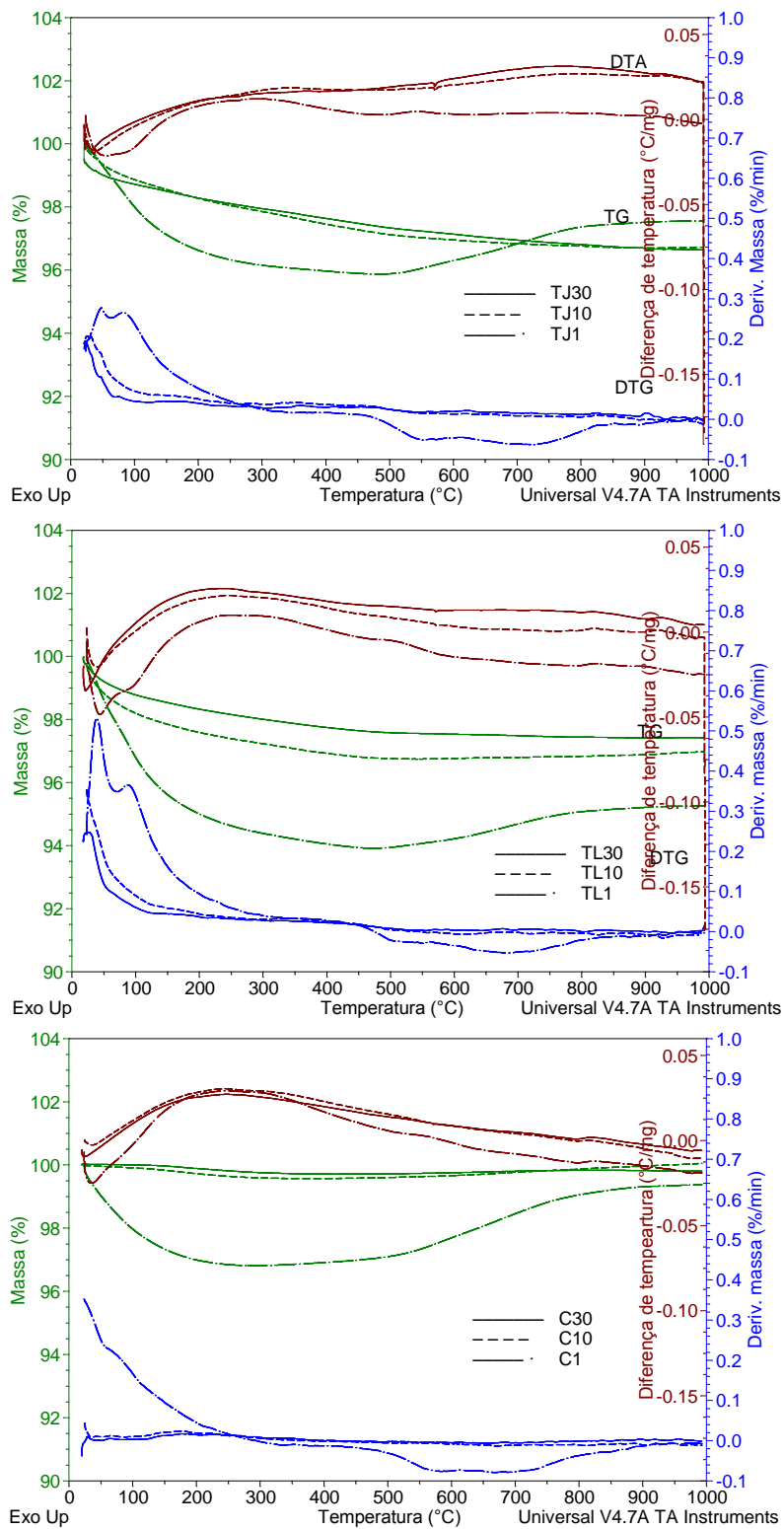


Figura 4.14 Curvas de TG e DTG das amostras TJ, TL e C

Nas curvas de TG e DTG as perdas de massa até 100°C são atribuídas a água livre e até 200°C de adsorção. As amostras de 1 µm apresentam maior quantidade de água. Isso pode ser atribuído à elevada área de superfície específica das partículas. Na Tabela 4.5 são apresentadas as porcentagem de água livre e de resíduo calcinado.

Tabela 4.5 Porcentagem de perda de massa de água livre e resíduo calcinado a 1000°C

Amostras	Perda de massa água livre (%) (até 100°C)	Resíduo calcinado a 1000°C (%)
TJ30	1,32	96,72
TJ10	1,17	96,80
TJ1	2,06	97,63
TL30	1,24	96,90
TL10	1,83	96,47
TL1	3,24	94,73
C30	0,01	99,29
C10	0,11	99,54
C1	2,06	98,85

Acima de 200°C nas curvas de 30 µm e 10 µm não foram observadas perdas de massa. Porém nas curvas de TG de 1 µm foi observado um aumento de massa na faixa de temperatura de 400°C a 900°C. Essa reação pode ser atribuída à oxidação do ferro (Fe^0), cuja reação é endotérmica, que pode ocorrer mesmo no ambiente de nitrogênio devido ao Fe^0 ser um forte redutor, “roubando” íons de oxigênio de outros elementos. Outra forma seria pelo ingresso de oxigênio presente no nitrogênio como impureza. A presença de Fe^0 é atribuída ao desgaste dos corpos moedores utilizados na moagem de alta energia tendo sido identificada pelo aumento do teor de Fe_2O_3 na composição química (Tabela 3.3).

Nas curvas de DTA das amostras de TJ30, TL30, TJ10 e TL10, foi observado o pico característico de transformação do quartzo. Nas curvas de DTA das amostras TJ1 e TL1 o mesmo pico não aparece, indicando que o quartzo α sofreu alterações em sua estrutura com a moagem nesse tamanho de partícula. O efeito de destruição da cristalinidade por moagens prolongadas já foi observado em amostras de quartzo (FLORES, 2010). A redução do pico da transformação na curva de DTA (Análise Térmica Diferencial)

indica que menor quantidade do composto químico sofreu alteração sendo possível quantificá-la por DSC (“Differential Scanning Calorimeter”) cujas curvas representam o fluxo de calor em J/g de amostra (BARTA e BRUTHANS, 1963). As amostras C30, C10 e C1 não apresentaram em suas curvas de DTA o pico característico de transformação do quartzo. Isso pode ser atribuído à temperatura elevada de queima da cerâmica. Na Tabela 4.6 são apresentados os requisitos da NBR 12653 (ABNT, 2012), para que se possa avaliar os RCDs estudados como adições minerais.

Tabela 4.6 Requisitos avaliados nos RCDs estudados de acordo com NBR 12653 (ABNT, 2012)

Propriedades	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	Teor de umidade (%)*	Perda ao fogo	Na ₂ O (%)**	IAP(%)	Água requerida (%)	
RCDs estudados	TJ30	95,57	0,03	1,32	1,8	0,08	89,13	117,06
	TJ10	95,1	0,02	1,17	1,9	0,09	84,29	123,41
	TJ1	91,2	0,12	2,06	0,93	0,63	81,66	151,78
	TL30	92,55	0,03	1,24	1,9	0,27	90,07	117,06
	TL10	92,57	0,02	1,83	2,1	0,37	83,5	123,41
	TL1	87,29	0,04	3,24	2,1	0,67	82,31	151,78
	C30	91,89	0,04	0,01	0,57	1,3	103,97	100,00
	C10	91,86	0,09	0,11	0,6	1,4	115,09	105,71
	C1	88,07	0,08	2,06	0	1,33	80,59	151,78
	Tipo de Pozolanas (NBR12653/92)	N	70	4	3	10	2	75
C		70	5	3	6	2	75	110
E		50	5	3	6	2	75	110

*Valores retirados das curvas TG equivalente a perda de massa a 100°C.

Os resultados indicam que os materiais produzidos neste trabalho atendem às exigências da NBR 12653 (ABNT, 2012), quanto à composição química, para serem considerados adições minerais. Os Índices de Atividade Pozolânica (IAP) também foram superiores ao mínimo exigido por essa norma, mesmo com o aumento na quantidade de água requerida (note que somente para as amostras C30 e C10 não foi necessário aumentar a água requerida). Se a quantidade de água fosse a mesma, corrigindo-se a trabalhabilidade com o uso de superplastificante, os resultados de IAP dos RCDs cerâmicos seriam ainda maiores. É importante destacar que para as partículas com tamanho de 1 µm, a relação a/c foi aumentada de 0,63 (caso das amostras com partículas de 30 µm) para 0,77.

A Figura 4.15 ilustra os difratogramas das adições minerais agrupados por tamanho de partícula com as composições identificadas.

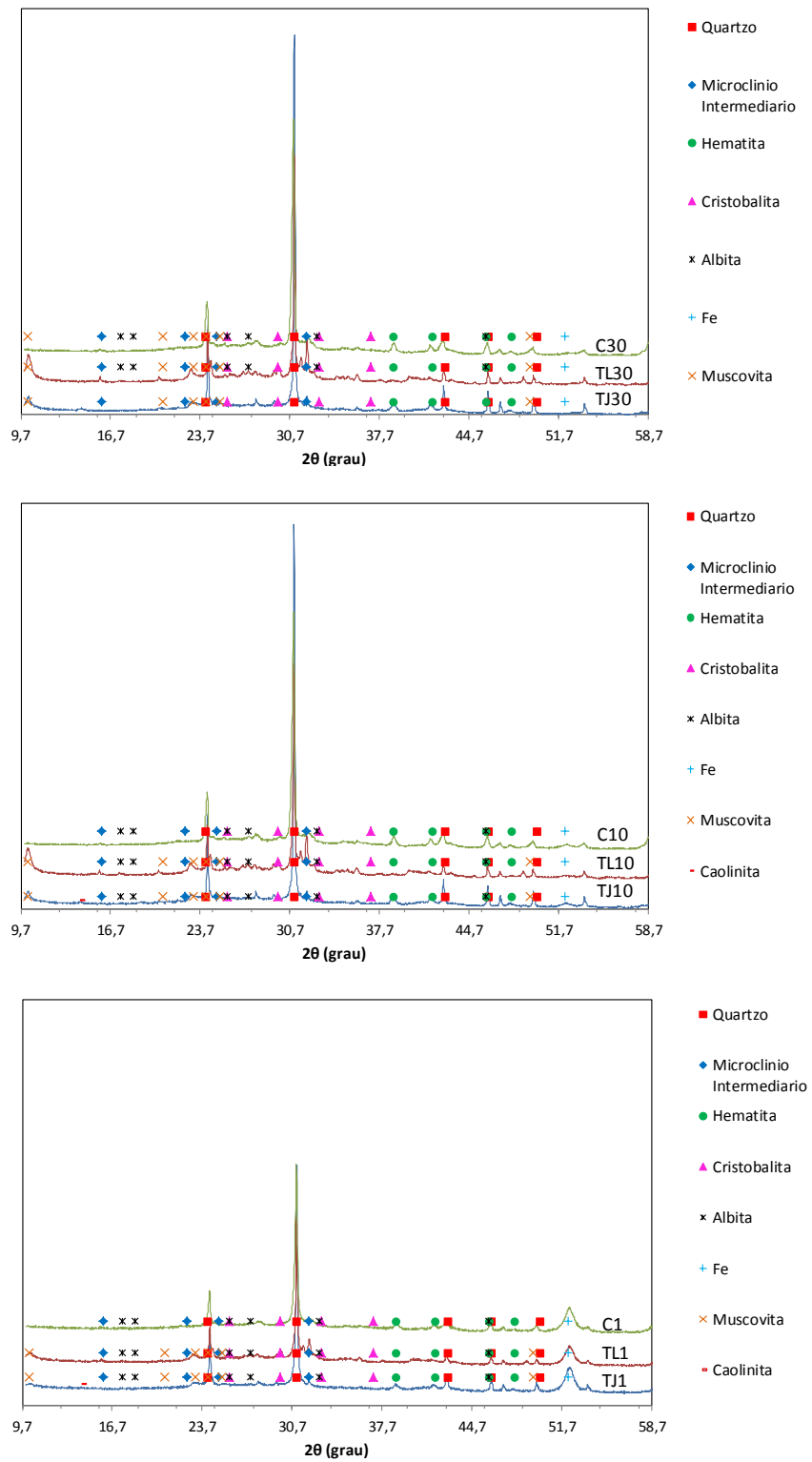


Figura 4.15 Difratomogramas das adições minerais agrupadas por tamanho de partícula com as suas composições

Observou-se que as amostras de 30 μm apresentaram pequena diferença na composição, como a presença de caolinita somente no tijolo e de albita na telha e cerâmica. Os difratogramas dessas amostras também demonstraram maior cristalinidade, evidenciada pela mais clara definição dos picos. As amostras 10 μm e 1 μm apresentaram, no caso do tijolo, a presença de albita. Em todas as amostras se tornou evidente o aumento da intensidade do pico de ferro. Portanto, as evidências da presença de ferro já observadas nas curvas de TG são confirmadas nas análises de DRX.

A partir dos difratogramas observa-se também o alargamento da base dos picos com a redução do tamanho de partícula. Na Figura 4.16 as curvas foram agrupadas por tamanho de partícula e, assim, é possível observar com mais clareza o alargamento da base dos picos. O alargamento dos picos indica que essas fases sofreram alteração na estrutura cristalina com a moagem.

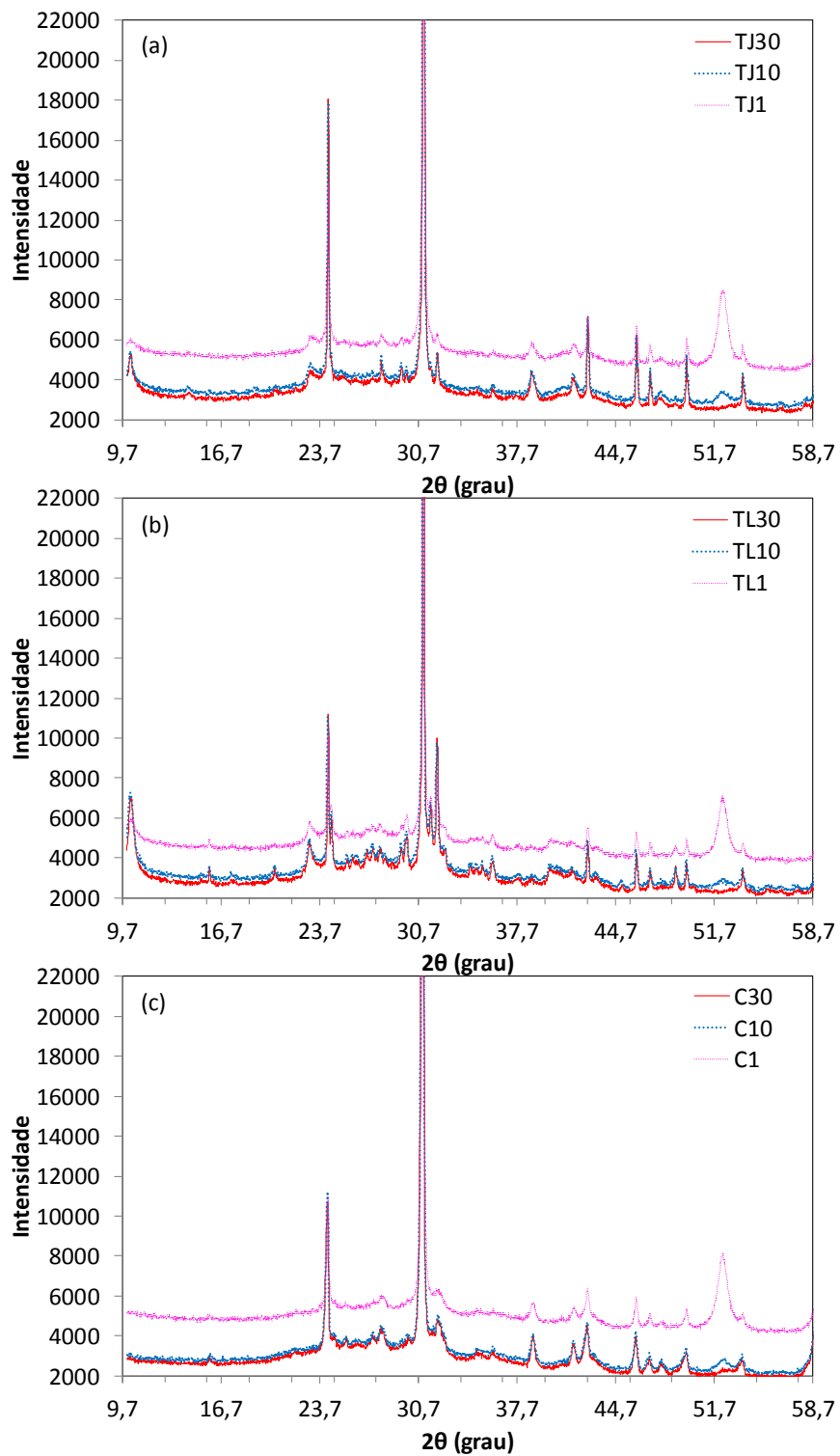


Figura 4.16 Difractogramas agrupados por tamanho nominal de partícula (a) TJ, (b) TL e (c) C

Pela análise quantitativa dessas fases (ver Tabela 4.7) as amostras de 1 μm apresentaram aumento na quantidade de material amorfo de 35,2%, 36,70% e 23,70% para o tijolo, telha e cerâmica respectivamente em relação às amostras de 30 μm , enquanto as amostras de 10 μm não apresentaram grande diferença na quantidade de amorfos em relação as de 30 μm . Houve redução na quantidade de Quartzo com a redução do tamanho de partícula para 1 μm , o que é relevante no caso da moagem de alta energia por promover alteração na estrutura das partículas desse mineral. Observou-se também uma redução na quantidade de Microclínio intermediário e de Muscovita 2M1 mais significativa nas amostra de TL e C com a redução do tamanho de partícula de 30 μm para 1 μm . Esses minerais pertencem aos grupos dos feldspatos e filossilicatos e são desejados em quantidades adequadas na produção de produtos de argila calcinada como matérias fundentes pelo baixo ponto de fusão. Portanto pode-se dizer que a moagem alterou a estrutura cristalina desses minerais contribuindo para o aumento da quantidade amorfos.

Tabela 4.7 Composição mineralógica quantitativa

Minerais	Composição (%)								
	TJ30	TL30	C30	TJ10	TL10	C10	TJ1	TL1	C1
Quartzo	37,17	22,06	40,96	36,45	21,67	40,61	27,52	16,19	32,37
Microclínio Intermediário	8,91	22,45	10,31	8,19	23,04	14,29	8,02	15,87	9,57
Hematita	5,26	2,37	4,28	5,09	2,37	4,47	3,69	1,67	3,37
Albita	0	4,77	5,93	0,22	4,06	4,64	0,4	3,77	3
Muscovita 2M1	6,9	11,41	1,77	6,47	12,62	0	5,2	8,38	0
Ferro α	0,32	0,05	0,71	1,2	0,91	1,57	6,56	4,87	7,97
Cristobalita baixa	2,42	1,71	2,57	0,5	1,82	5,3	0,16	1,15	2,31
Caolinita	6,37	0	0	6,63	0	0	4,31	0	0
Amorfos	32,65	35,19	33,48	35,25	33,52	29,11	44,14	48,11	41,4

A partir das quantidades de ferro encontradas nas amostras apresentadas em cada tamanho na Tabela 4.7 foi possível calcular a porcentagem de massa estimada devido à presença do ferro disponível para a reação. Essas porcentagens são comparadas às

porcentagens de ganho de massa da TG. Na Tabela 4.8 são apresentados os ganhos de massa teóricos devido à oxidação do ferro presente nas amostras, quantificados por análise quantitativas de DRX, e os ganhos de massa obtidos por TG. Os ganhos nas amostras de 30 μm e 10 μm foram muito menores.

Tabela 4.8 Ganho de massa devido à reação de oxidação do Fe^0 nas amostras

Amostras	Ganho de massa teórico (quantidade de oxigênio) (%)	Ganho de massa determinado por TG (quantidade de oxigênio) (%)
TJ30	0,1375	0,000
TJ10	0,5158	0,0953
TJ1	2,8195	1,5470
TL30	0,0202	0,0010
TL10	0,3898	0,2813
TL1	2,0918	1,3420
C30	0,3069	0,000
C10	0,6761	0,4771
C1	3,4238	2,2980

As quantidades de sílica amorfa da porcentagem de amorfos das amostras são representadas na Figura 4.17. A sílica amorfa foi obtida pela diferença entre a quantidade de SiO_2 da composição química e sílica cristalina da composição mineralógica.

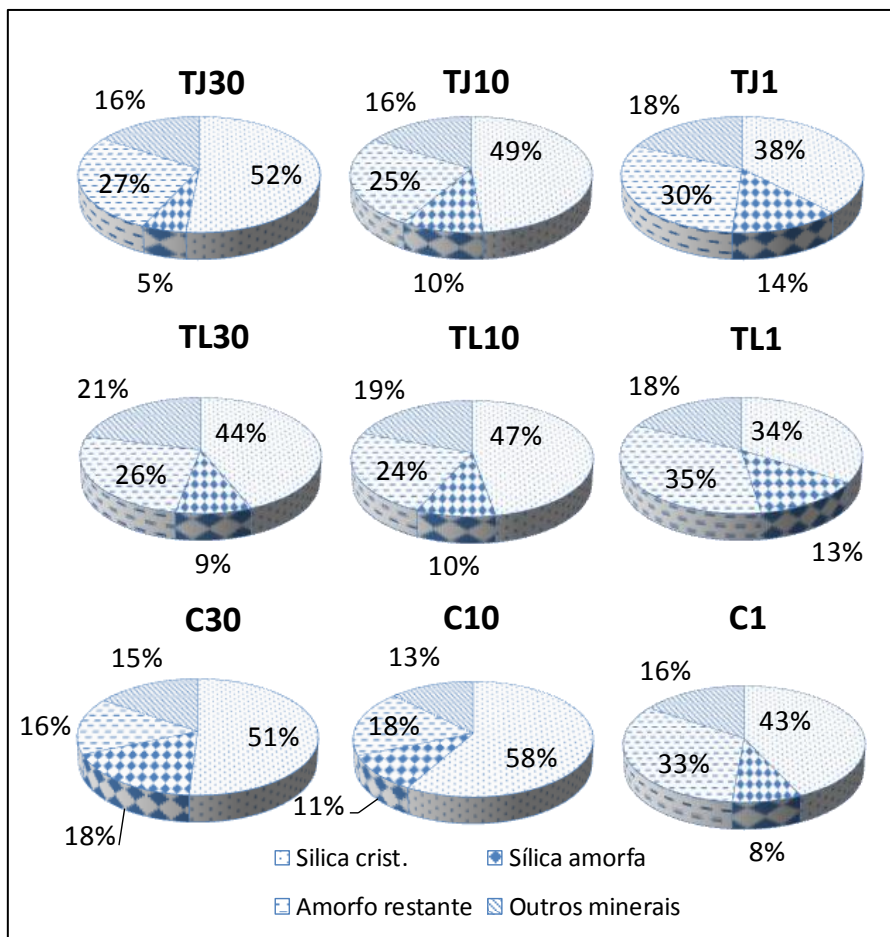


Figura 4.17 Porcentagem teórica de sílica cristalina, amorfa e de outros amorfos

As porcentagens de sílica amorfa aumentaram com a redução do tamanho de partícula para o tijolo e a telha. Porém para a cerâmica a redução do tamanho da partícula diminuiu a porcentagem de sílica amorfa. Isso significa que o aumento na porcentagem total de material amorfo não foi devido somente à amorfização do quartzo, como se pode observar pela quantidade de amorfo restante das amostras 10 μm e 1 μm , cujo aumento foi maior nas amostras de C. Considerando que no caso das amostras de C a redução do tamanho de partícula para 1 μm contribuiu para o aumento da quantidade de material amorfo com composição diferentes das amostras TJ1 e TL1.

A Figura 4.18 apresenta os resultados da quantidade de cal fixada pelos diferentes materiais cerâmicos com o tempo. Os resultados obtidos indicam que a quantidade máxima de cal que os materiais estudados podem fixar varia de 12,51 a 17,21 mmol/l. Pozolanas como cinza volante, metacaulinita e sílica ativa podem fixar no máximo

entorno de 12, 13 e 14 mmol/l, respectivamente, sendo 80% do tamanho das suas partículas abaixo de 20 μm (FRÍAS *et al.*, 2000). Isto significa que todos os materiais possuem elevada atividade pozolânica porém a velocidade de reação é diferente e varia segundo o tipo de resíduo cerâmico e tamanho de partícula. Assim, o material C10 e C30 que a 1 dia de idade não tem quase nenhuma atividade pozolânica apresenta alta atividade aos 28 e 90 dias de idade. Já o TL1 e o TJ1 que são muito reativos a 1 dia de idade apresentam velocidade de reação mais lenta para idades entre 7 e 90 dias.

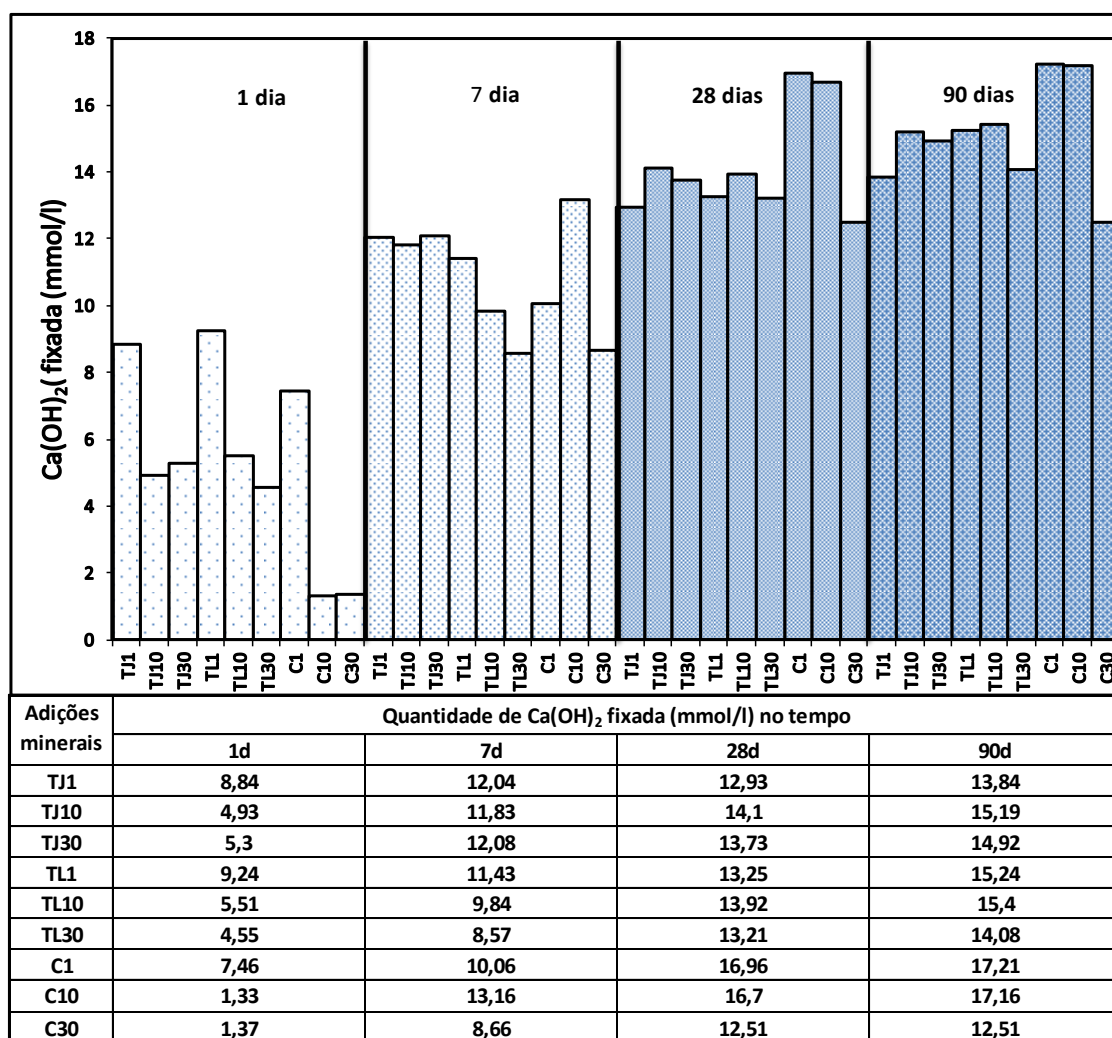


Figura 4.18 Cal fixada no tempo pelas cerâmicas estudadas pelo ensaio de dissolução saturada de cal

De forma geral, pode-se dizer que a partir dos 28 dias de reação os valores de cal fixada crescem muito pouco, embora se note que as amostras de TL crescem um pouco mais

que as demais. Observou-se ainda que o TJ e a TL mantem a mesma relação entre os valores de cal fixada e IAP com a redução do tamanho e C não apresenta mesma relação que TJ e TL.

4.2.1 Conclusões sobre as propriedades físico-químicas das adições minerais

Pelas análises de parâmetros físico e químicos das amostras de TJ, TL e C foi possível concluir quanto a reatividade desses materiais:

- A moagem de alta energia promoveu alterações na estrutura cristalina dos resíduos cerâmicos estudados, como observado nas análises de DRX e pelo aumento na quantidade de amorfos nas amostra com tamanho de partícula de 1 μm .
- Analisando as diferenças na composição mineralógica entre os materiais é possível dizer que para o TJ e a TL a redução do tamanho de partícula promoveu o mesmo aumento na quantidade de materiais amorfos e da sílica amorfa. Para a C a redução do tamanho de partícula para 1 μm não promoveu os mesmos níveis de quantidade de material amorfo e de sílica amorfa que TJ1 e TL1, portanto pode-se dizer que essas amostras possuem composição de material amorfo diferente entre si para o tamanho de 1 μm .
- O IAP das adições minerais demonstrou que a redução do tamanho de partícula não aumentou a reatividade devido a variação da quantidade de água prejudicando os resultados principalmente para as partículas de 1 μm .
- Quanto a reatividade em solução de cal, a redução no tamanho de partícula acelerou a fixação de cal nas idades iniciais, exceto para a cerâmica de piso, e nas idades de 28 e 90 dias todos os materiais apresentaram alta reatividade, sendo as amostras C1 e C10 as mais reativas de todas.

4.3 ARGAMASSAS DE CONSISTÊNCIA NORMAL - ACN

4.3.1 Consistência

Na Tabela 4.9 apresenta-se os espalhamentos obtidos para cada mistura e o teor de superplastificante usado em cada uma.

Tabela 4.9 Espalhamento das misturas de consistência normal e teor de superplastificante*

Mistura	Espalhamento (mm)	Teor de Superplastificante (%)
A10C1	227,5	0,19
A10C10	220	0,02
A10C30	230	0,06
A10TJ1	225	0,17
A10TJ10	227,5	0,12
A10TJ30	232,5	0,06
A10TL1	215	0,19
A10TL10	222,5	0,12
A10TL30	222,5	0,08
A20C1	250	0,6
A20C10	225	0,02
A20C30	215	0,07
A20TJ1	230	0,6
A20TJ10	210	0,17
A20TJ30	207,5	0,10
A20TL1	240	0,6
A20TL10	220	0,17
A20TL30	212,5	0,17
CTRL	222,5	0,02

*Massa de sólidos do superplastificante/massa de material cimentício

Em todas as misturas foi necessário o uso de superplastificante, inclusive na CTRL, para atingir o espalhamento especificado de 220 ± 10 mm. As argamassas com tijolo e telha demandaram maior teor de superplastificante para os tamanhos de 30 μ m e 10 μ m. Nas argamassas com cerâmica de 10 μ m usou-se o mesmo teor de superplastificante que a CTRL. Com o aumento do teor de substituição na argamassa com cerâmica de 30 μ m, a quantidade de superplastificante foi um pouco maior. O maior teor de superplastificante foi usado nas misturas com 1 μ m, com 0,6% de teor, ligeiramente superior ao ponto de saturação do cimento utilizado, que era de 0,5%. No geral as

argamassas necessitaram de maior quantidade de superplastificante com a redução do tamanho de partícula e com aumento do teor de substituição.

4.3.2 Propriedades Mecânicas

4.3.2.1 Evolução da resistência à compressão com a idade

As curvas de evolução da resistência das argamassas para as idades de 1, 3, 7 e 28 dias das misturas em estudo são apresentadas na Figura 4.19.

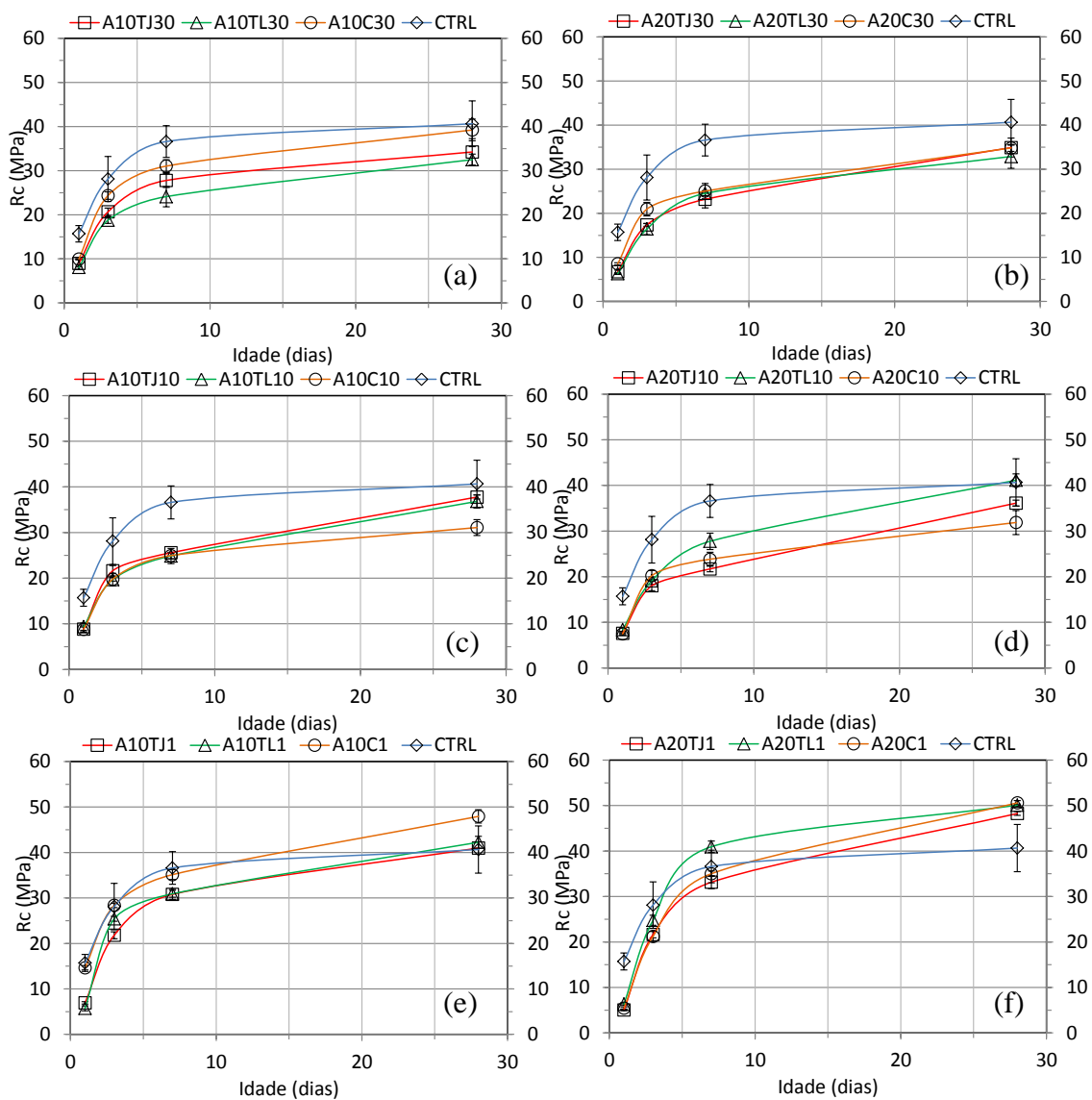


Figura 4.19 Curvas de evolução da resistência à compressão com a tempo de cura das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanhos 30, 10 e 1 μm

Na Tabela 4.10 são apresentados os resultados das resistências a compressão nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias de idade. Os resultados obtidos indicam que as resistências das argamassas de consistência normal contendo partículas de 1 μm são significativamente maiores que o das misturas contendo partículas de 10 e 30 μm . Para idade de 28 dias essas argamassas foram até mais resistentes que a argamassa de referência (para os dois teores de substituição utilizados).

Tabela 4.10 Resistências a compressão nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias das ACNs

Misturas	1D		3D		7D		28D	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
A10C1	14,63	0,48	28,37	0,49	35,12	1,08	47,93	1,46
A10C10	8,78	0,52	19,78	0,43	24,95	0,71	31,09	1,74
A10C30	9,95	0,11	24,35	0,85	31,03	1,46	39,22	2,46
A10TJ1	6,93	0,26	21,79	0,75	30,78	1,10	40,98	1,36
A10TJ10	8,84	0,69	21,61	1,15	25,57	0,04	37,77	0,43
A10TJ30	8,96	0,79	20,65	0,85	27,78	1,59	34,24	3,03
A10TL1	5,72	0,53	25,41	0,53	30,91	0,76	42,24	1,30
A10TL10	9,36	0,79	19,70	1,39	24,86	1,65	36,82	1,43
A10TL30	8,06	0,45	18,77	0,75	24,11	2,30	32,50	1,26
A20C1	5,45	0,26	21,22	1,10	35,01	0,60	50,59	0,50
A20C10	7,46	0,21	20,21	1,13	23,83	1,51	31,87	2,64
A20C30	8,54	0,24	20,94	1,53	25,03	1,75	34,81	0,77
A20TJ1	5,06	0,19	21,65	0,74	33,14	1,42	48,25	0,42
A20TJ10	7,61	0,27	18,02	1,09	21,71	0,64	36,12	0,64
A20TJ30	6,74	0,39	17,36	0,32	23,17	1,96	34,91	2,15
A20TL1	6,31	0,30	24,76	1,11	40,94	1,27	50,08	0,25
A20TL10	8,41	0,34	19,09	0,82	27,75	1,81	41,14	1,38
A20TL30	6,31	0,18	16,43	1,28	24,50	0,50	32,88	2,68
CTRL	15,70	1,86	28,11	5,11	36,60	3,60	40,65	5,20

De acordo com os resultados da análise estatística, ANOVA da Tabela 4.11, realizada para a resistência a compressão aos 28 dias, apenas o efeito isolado do tipo de material (TJ, TL e C) não é significativo nas argamassas de consistência normal, o que significa que os valores de resistências não dependem do tipo de material do aditivo. Porém os efeitos isolados tanto do teor de substituição quanto do tamanho de partícula se mostraram significativos. As interações estatisticamente significativas entre os três fatores (material, teor e tamanho de partícula) indicam que há sinergia entre os fatores.

Tabela 4.11 ANOVA dos dados de Rc28 das argamassas ACNs.

Fatores	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	P
Material	2	5,46	2,5	0,68	0,510
Teor	1	1,59	61,18	16,7	0,000
Tamanho	2	1465,89	764,59	208,71	0,000
Material x Teor	2	47,87	26,54	7,25	0,002
Material x Tamanho	4	381,4	94,38	25,76	0,000
Teor x Tamanho	2	119,3	59,65	16,28	0,000
Erro	49	179,51	3,66		
Total	62	2201,03			

O efeito da interação entre material e tamanho de partícula nas resistências aos 28 dias foi avaliado por teor de substituição e os resultados constam na Tabela 4.12. A análise de Tukey também foi feita em relação a CTRL.

Tabela 4.12 Teste de Tukey dos dados de Rc28 das argamassas ACNs.

Teor (%)	Tamanho (µm)	Material	Tamanho de partícula (µm)									CTRL
			1			10			30			
			TJ	TL	C	TJ	TL	C	TJ	TL	C	
P-valor para o teor de substituição de 10%												Redução (-) Aumento (+)
		TJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	=
1		TL	0,9900	-	-	0,1053	-	-	0,0002	-	-	=
		C	0,0004	0,0090	-	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	-	+
	10	TJ	0,3637	-	-	-	-	-	-	-	-	=
		TL	0,0656	0,0144	-	0,9985	-	-	0,5430	-	-	=
		C	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	0,0038	-	0,2940	0,9690	-	-
	10	TJ	0,0005	-	-	0,2509	-	-	-	-	-	-
		TL	0,0000	0,0000	-	0,0183	0,0496	-	0,8994	-	-	-
		C	0,8956	0,4415	0,0000	0,9761	0,6310	0,0001	0,0154	0,0006	-	=
P-valor para o teor de substituição de 20%												Redução (-) Aumento (+)
		TJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
1		TL	0,9798	-	-	0,0000	-	-	0,0000	-	-	+
		C	0,9221	1,0000	-	0,0000	0,0002	-	0,0000	0,0000	-	+
	20	TJ	0,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	=
		TL	0,0050	0,0004	-	0,0350	-	-	0,0024	-	-	=
		C	0,0000	0,0000	0,0000	0,1527	0,0001	-	0,4396	0,9966	-	-
	20	TJ	0,0000	-	-	0,9919	-	-	-	-	-	-
		TL	0,0000	0,0000	-	0,3100	0,0001	-	0,7552	-	-	-
		C	0,0000	0,0000	0,0000	0,9861	0,0020	0,4847	1,0000	0,8024	-	-

A tabela ANOVA para as resistências a compressão nas idades de 1, 3 e 7 dias é apresentada no Apêndice A. Todos os fatores analisados (isoladamente e com interações) apresentaram efeito significativo em todas as idades, com exceção do teor aos 7 dias. Na análise das misturas com 20% no tamanho de partícula de 1 μm apenas A20TJ1 e A20C1 não apresentaram diferenças significativas entre si nas idades de 1, 3 e 7 dias. Quanto às misturas com 20% no tamanho de 30 μm apenas as argamassas A20TJ30 e A20TL30 não apresentaram diferenças entre si até a idade de 7 dias.

A Figura 4.20 relaciona a área de superfície específica com a resistência a compressão aos 28 dias (R_{c28}). Há um aumento da resistência com o aumento da área de superfície específica mais significativa para as partículas de 1 μm . Com o aumento do teor as misturas com os materiais nos três tamanhos apresentaram a mesma relação.

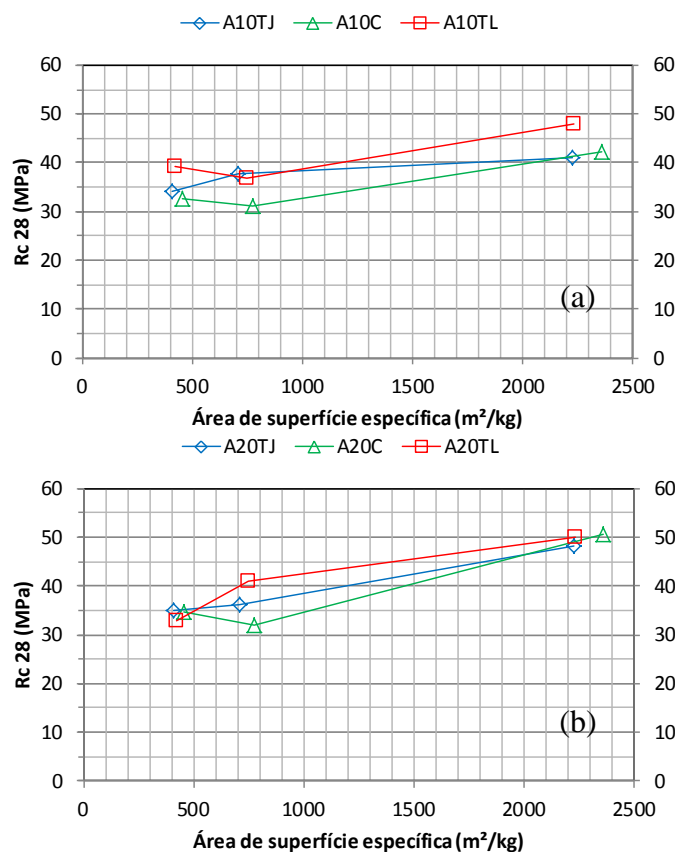


Figura 4.20 Curvas de relação área de superfície específicas das adições, nos tamanhos de 30 μm , 10 μm e 1 μm , e R_{c28} das misturas com teores de 10% (a) e 20% (b) de substituição

Na Figura 4.21 são ilustradas a relação resistência à compressão (R_c) versus a quantidade de cal fixada nas idades de 1, 7 e 28 dias para cada tamanho e teor, agrupadas por tipo de material.

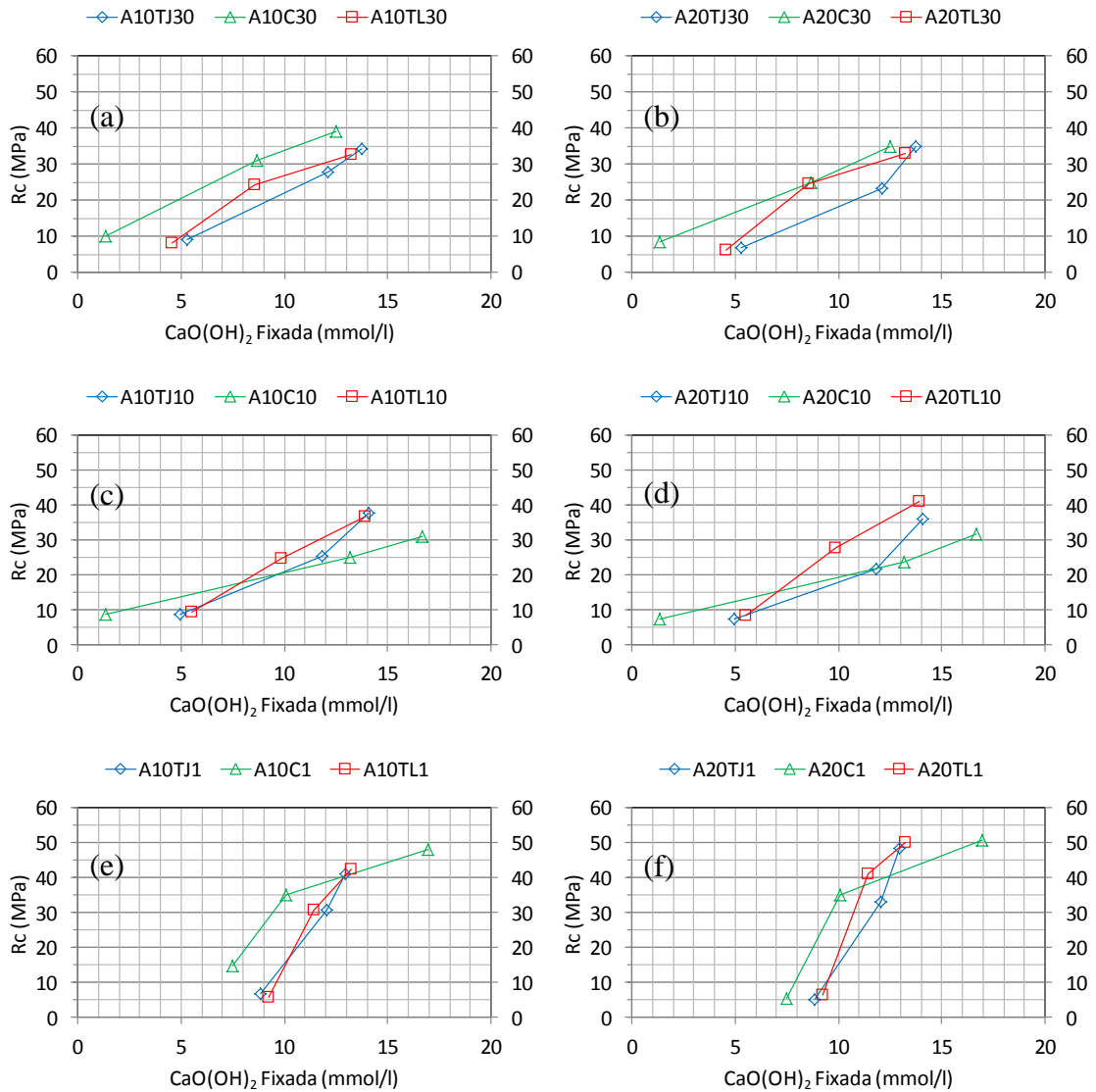


Figura 4.21 Curvas da relação R_{c28} e CaO(OH)_2 fixada das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm

Os resultados mostram a tendência do acréscimo da resistência a compressão das argamassas com o crescimento da fixação de cal. As misturas com 30 μm apresentaram a mesma relação, aproximadamente linear, com crescimento gradativo entre as variáveis. Essa proporção linear não mudou com o aumento do teor e nem com a redução do tamanho de partícula para 10 μm . Exceto A10C10 e A20C10 que apresentou declividade menor que as misturas com TJ e TL, isso significa que C10 apresentou maior reatividade em solução de cal do que na matriz substituindo parcialmente o cimento. Com a redução do tamanho de partícula para 1 μm a declividade aumentou demonstrando que a reatividade dessas partículas foi maior nas argamassas com cimento nos dois teores. Observou-se ainda um comportamento bi-linear para A10C1 e A20C1 indicando que houve uma reatividade maior em solução de cal saturada.

4.3.2.2 Comportamento Tensão x Deformação

Na Figura 4.22 são apresentadas as curvas típicas tensão versus deformação das misturas contendo os vários resíduos cerâmicos e da amostra de controle CTRL para a idade de 28 dias.

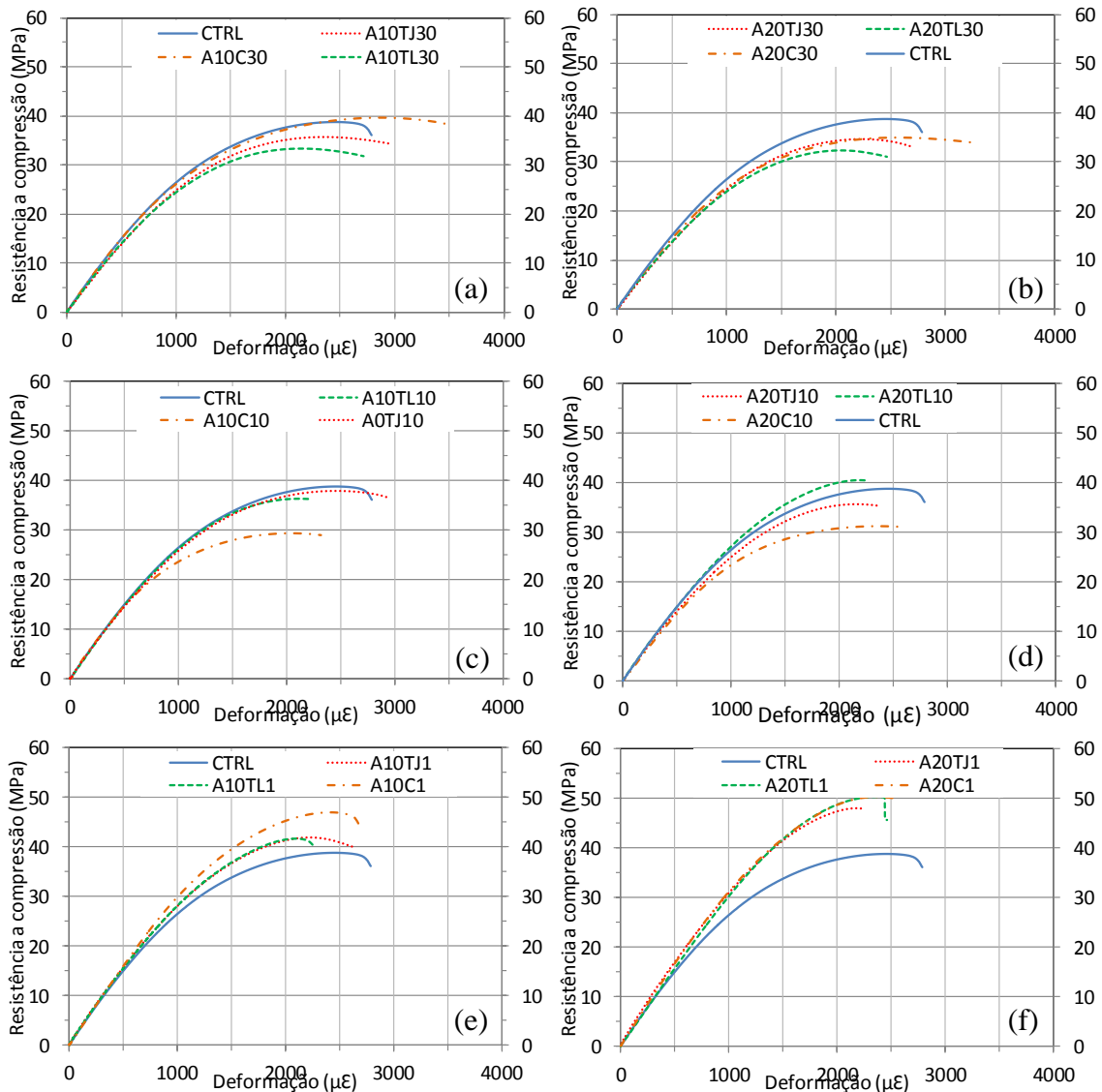


Figura 4.22 Gráficos de tensão x deformação das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanhos 30, 10 e 1 μm

Observou-se no trecho linear-elástico, correspondente a 50% da tensão de ruptura nas curvas da Figura 4.22 que as substituições não alteraram a declividade tendo somente aumento da declividade nas misturas com substituição de 20% pelas adições minerais TJ1, TL1 e C1. Neste trecho da curva o aumento na declividade indica aumento do módulo de elasticidade devido a redução na porosidades da pasta e na zona de transição na interface do agregado-pasta. No trecho restante até a ruptura, observou-se que nas misturas com 30 μm de TJ e TL houve mudança na curvatura em relação a CTRL

indicando que houve aumento na velocidade de propagação das fissuras, isso significa que essas misturas nos dois teores alteram a estrutura dos poros. Exceto para a mistura A10C30 que apresentou-se com mesma curvatura que CTRL, porém o aumento do teor de C30 alterou a estrutura de poros na mistura, como observado nas misturas com TL30 e TJ30. No entanto com redução do tamanho as misturas com TJ e TL não apresentaram mudanças na curvatura em relação a CTRL no trecho até a ruptura, no caso das partículas com tamanho inferior a 10 μm nos dois teores, tendo até superado em tensão de ruptura com tamanho de partículas de 1 μm . Com isso pode-se dizer que as substituições com tamanho de partícula de 1 μm aumentaram a rigidez da pasta e da zona transição na interface agregado-pasta com o refinamento da estrutura de poros reduzindo a propagação de fissuras.

4.3.2.3 Módulo de Elasticidade

Os módulos de elasticidade calculados estão apresentados na Figura 4.23.

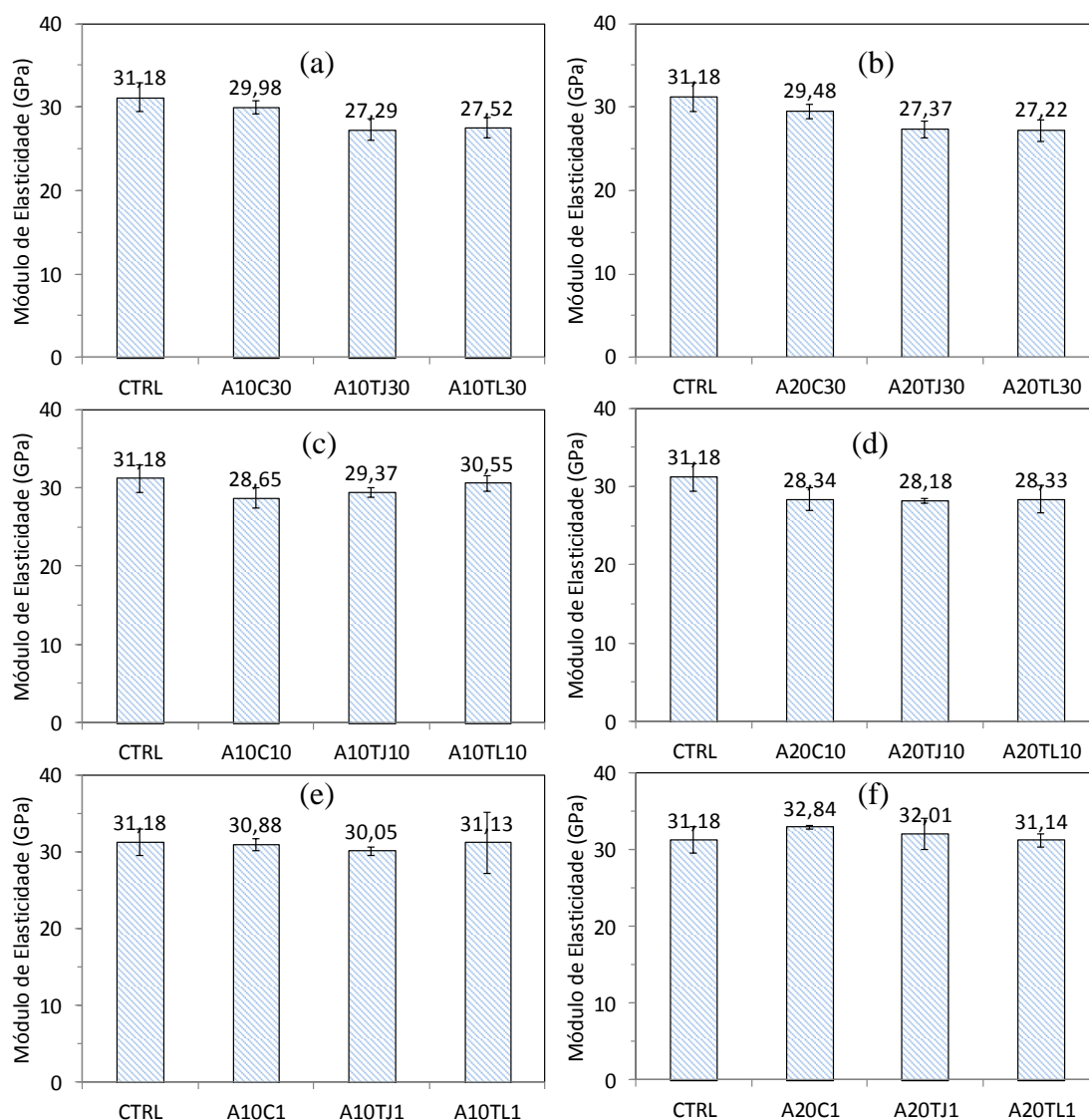


Figura 4.23 Módulo de elasticidade das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm

O tratamento estatístico, apresentado no Apêndice 1, demonstra que a substituição parcial do cimento por TJ, TL e C não apresenta diferenças no módulo de elasticidades entre si independentemente do teor utilizado. A alteração ocorre na interação entre o material e o tamanho de partícula. As análises complementam o que se observou para as argamassas com 1 μm no teor de 20% que o módulo de elasticidade foi maior que as argamassas com 30 μm e 10 μm . Enquanto que para o teor de substituição de 10% as

diferenças não foram significativas (os módulos das argamassas são estatisticamente iguais). Na Tabela 4.13 são apresentados os valores de módulo de elasticidade das misturas.

Tabela 4.13 Módulo de elasticidade médio das ACNs

Misturas	Média	Dp
A10C1	30,88	0,79
A10C10	28,65	1,33
A10C30	29,98	0,80
A10TJ1	30,05	0,55
A10TJ10	29,37	0,66
A10TJ30	27,29	1,33
A10TL1	31,13	4,03
A10TL10	30,55	0,98
A10TL30	27,52	1,20
A20C1	32,84	0,17
A20C10	28,34	1,45
A20C30	29,48	0,90
A20TJ1	32,01	2,02
A20TJ10	28,18	0,31
A20TJ30	27,37	1,01
A20TL1	30,68	0,77
A20TL10	28,33	1,76
A20TL30	27,22	1,29
CTRL	31,18	1,74

Com relação a CTRL todas as misturas não apresentaram diferenças significativas, como já observado anteriormente, com exceção das misturas A10TJ30 e A20TJ30 que apresentaram decréscimo no módulo de elasticidade.

4.3.2.4 Deformação de Pico

Os valores de deformação de pico das misturas estão representados graficamente na Figura 4.24.

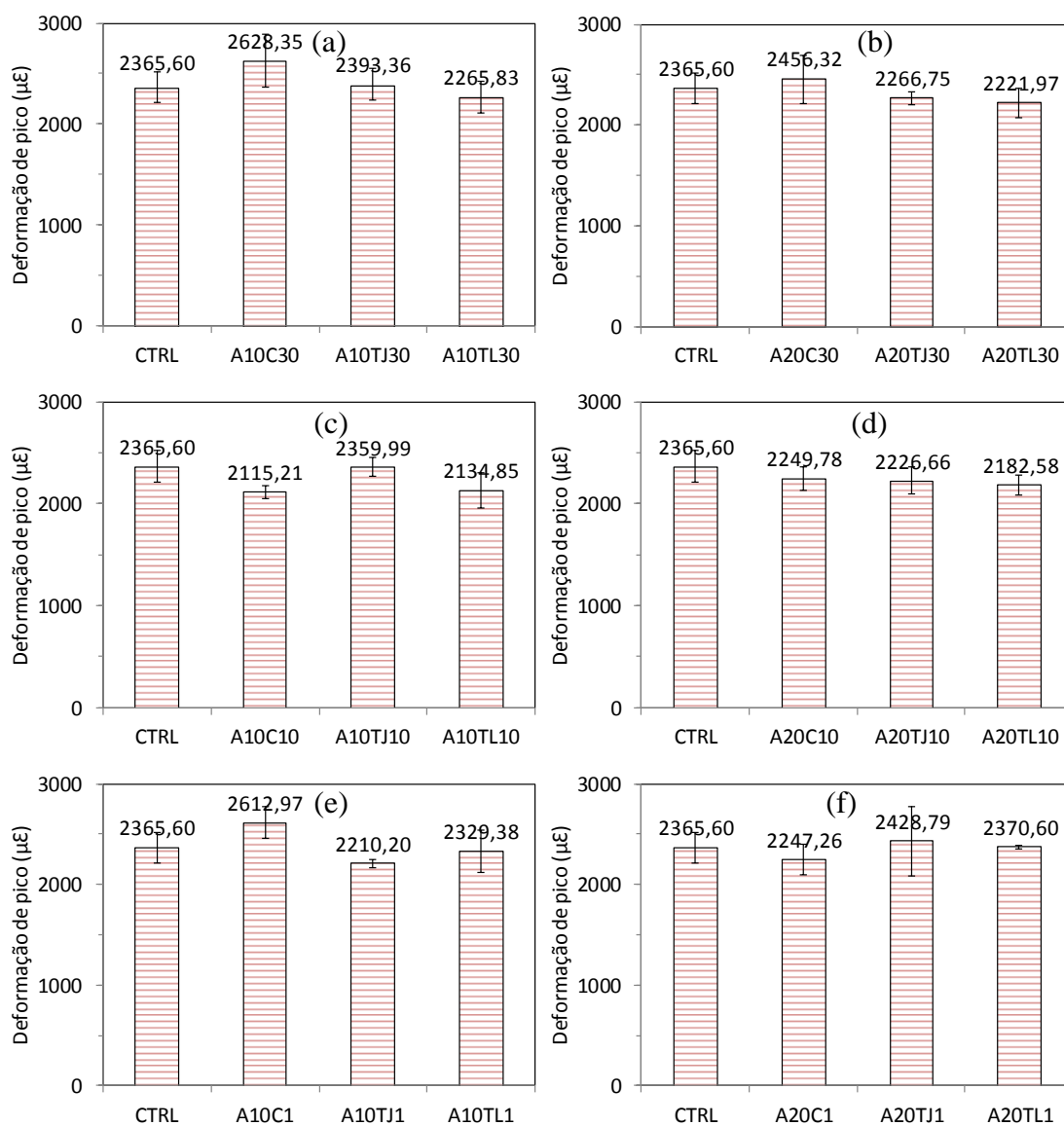


Figura 4.24 Deformação de pico das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μm

A análise estatística demonstrou que para o teor de 10% apenas A10C10 apresentou menor deformação de pico que A10C30 e A10C1, as quais não apresentaram diferenças entre si. Com 20% de substituição do cimento a redução do tamanho não alterou a deformação de pico nas misturas com substituição por qualquer um dos materiais. No entanto todas as misturas foram consideradas estatisticamente iguais em relação a CTRL. Isso significa que as substituições, mesmo nos casos de redução e aumento da

tensão de ruptura observados nas curvas da Figura 4.22, a deformação se manteve dentro da variabilidade dos resultados, isso significa que as adições de alguma forma mantiveram as variações dimensionais devido ao carregamento uniaxial, seja pela distribuição dos poros, pelas alterações na zona de transição, pelo preenchimento de poros com partículas inertes ou mesmo pela sua forma lamelar.

4.3.2.5 Resistência à tração por compressão diametral

Na Figura 4.25 estão apresentados os valores de resistência a tração por compressão diametral (R_{tcd}).

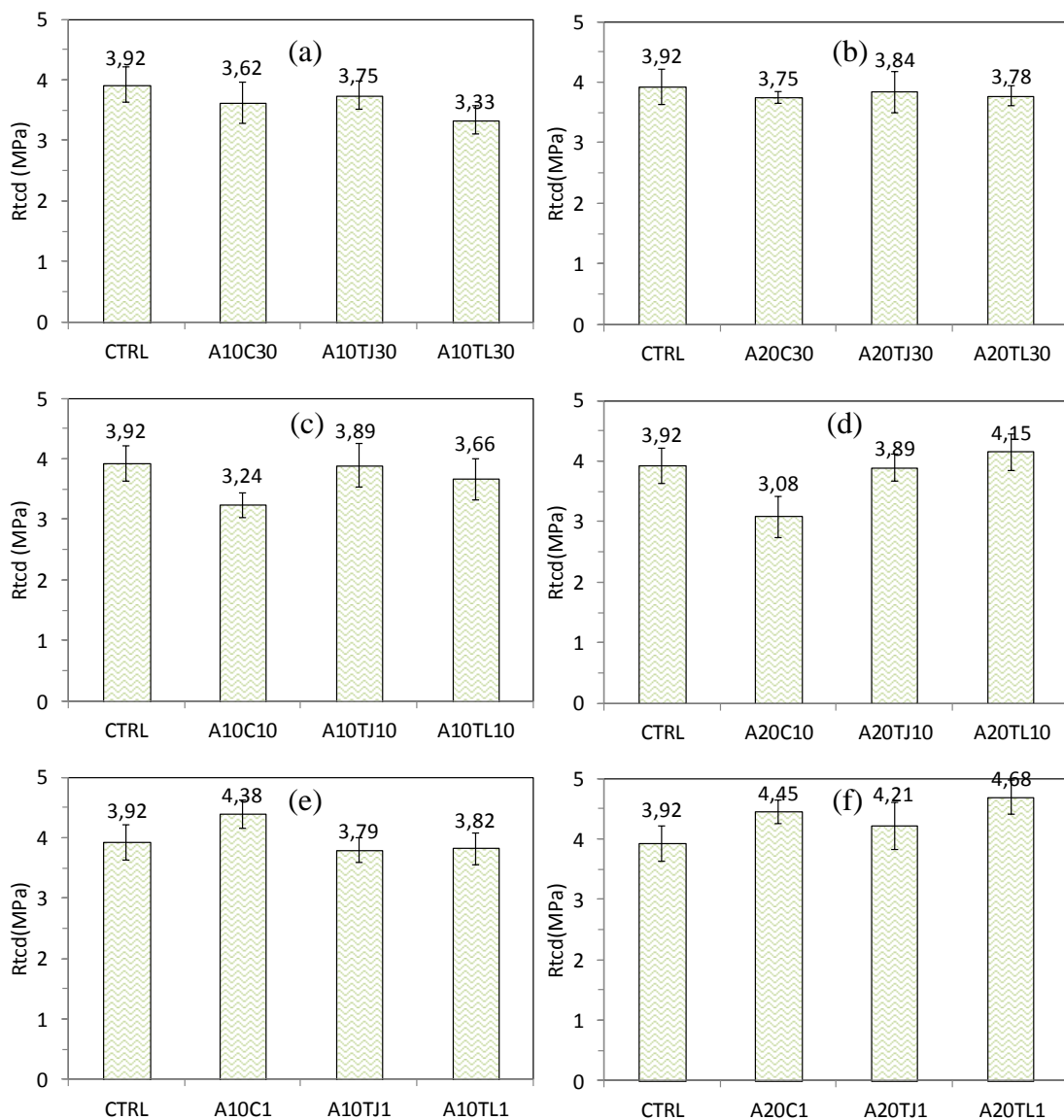


Figura 4.25 Rtcd das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanhos 30, 10 e 1 µm

Na análise dos efeitos, apenas a interação entre teor, material e tamanho de partícula não foi significativa. Isso significa que os efeitos isolados e as interações dois a dois dos fatores foram significativos. Destacando as misturas com partículas do tamanho de 1 µm que apresentaram maior resistência do que as demais inclusive a matriz de referência. O aumento do teor também contribuiu para que as diferenças entre os materiais diminuísse, e ainda promoveu o aumento da Rtcd com a redução do tamanho

de 1 μm . Na Tabela 4.14 também se mostra a relação $R_{\text{tcd}}/R_{\text{c}}$ e uma relação entre 9% e 11% foi observada para a série de misturas analisadas.

Tabela 4.14 R_{tcd} média das ACNs

Misturas	Rc		Rtcd		Rtcd/Rc
	Média	dp	Média	Dp	
A10C1	47,93	1,46	4,38	0,24	0,09
A10C10	31,09	1,74	3,24	0,20	0,10
A10C30	39,22	2,46	3,62	0,33	0,09
A10TJ1	40,98	1,36	3,79	0,21	0,09
A10TJ10	37,77	0,43	3,89	0,36	0,10
A10TJ30	34,24	3,03	3,75	0,24	0,11
A10TL1	42,24	1,3	3,82	0,27	0,09
A10TL10	36,82	1,43	3,66	0,33	0,10
A10TL30	32,5	1,26	3,33	0,23	0,10
A20C1	50,59	0,5	4,45	0,19	0,09
A20C10	31,87	2,64	3,08	0,34	0,10
A20C30	34,81	0,77	3,75	0,09	0,11
A20TJ1	48,25	0,42	4,21	0,39	0,09
A20TJ10	36,12	0,64	3,89	0,22	0,11
A20TJ30	34,91	2,15	3,84	0,35	0,11
A20TL1	50,08	0,25	4,68	0,28	0,09
A20TL10	41,14	1,38	4,15	0,30	0,10
A20TL30	32,88	2,68	3,78	0,16	0,11
CTRL	40,65	5,2	3,92	0,29	0,10

As misturas que apresentaram menor relação (9%) demonstram que houve não somente diminuição na porosidade da pasta e da zona de transição na interface como aumento na resistência intrínseca dos produtos de hidratação. Quanto as relações de 11% indicam que as alterações na estrutura dos poros responsáveis pela manutenção dos níveis de R_{tcd} em relação a CTRL não garantiram a resistência à compressão da mesma forma. O que pode ser explicado pela menor quantidade de cimento devido as substituições de menor reatividade produzindo menor quantidade de hidratos ou ainda pelo aumento no tamanho dos poros capilares devido a maior quantidade de água livre. Outra consideração seria de que os hidratos formados possam ter reduzido a porosidade mais suas resistências intrínsecas foram menores. Tendo essas alterações não promovido reduções significativas na R_{tcd} dessas misturas em relação a CTRL.

4.3.3 Propriedades Físicas

4.3.3.1 Absorção total, Índice de vazios e Massa específica

Na Tabela 4.15 apresenta-se os valores de absorção total, índice de vazios e massa específica das argamassas de consistência normal ACNs.

Tabela 4.15 Valores médios de Absorção total, Índice de vazios e Massa específica das ACNs

Misturas	A			IV			Mesp		
	Média	Dp	cv	Média	Dp	cv	Média	Dp	cv
A10C1	4,32	0,39	8,96	9,11	0,82	8,96	2,32	0,02	1,06
A10C10	5,9	0,38	6,5	11,94	0,69	5,75	2,30	0,02	0,85
A10C30	5,74	0,41	7,17	12,34	0,76	6,16	2,45	0,03	1,36
A10TJ1	5,61	0,15	2,64	11,79	0,27	2,26	2,38	0,02	0,80
A10TJ10	6,39	0,25	3,95	13,1	0,41	3,16	2,36	0,02	0,97
A10TJ30	6,32	0,29	4,55	12,81	0,51	3,97	2,33	0,02	0,66
A10TL1	5,81	0,2	3,47	12,15	0,35	2,87	2,38	0,01	0,56
A10TL10	5,57	0,27	4,81	11,64	0,48	4,08	2,37	0,02	0,75
A10TL30	6,58	0,24	3,68	13,51	0,39	2,92	2,37	0,02	0,83
A20C1	4,06	0,28	6,86	8,76	0,56	6,43	2,36	0,02	0,68
A20C10	5,24	0,4	7,56	10,88	0,76	6,95	2,33	0,02	0,97
A20C30	6,32	0,13	5,25	12,95	0,92	7,11	2,43	0,02	0,62
A20TJ1	3,33	0,19	5,71	7,15	0,37	5,17	2,31	0,01	0,53
A20TJ10	6,47	0,26	4,03	13,18	0,5	3,83	2,35	0,03	1,44
A20TJ30	6,48	0,32	4,86	13,04	0,53	4,07	2,32	0,01	0,55
A20TL1	4,2	0,18	4,31	9,04	0,38	4,17	2,37	0,01	0,45
A20TL10	5,02	0,19	3,83	10,43	0,38	3,62	2,32	0,02	0,73
A20TL30	6,69	0,17	2,49	13,66	0,31	2,27	2,37	0,02	0,66
CTRL	5,11	0,25	4,93	10,94	0,5	4,53	2,40	0,01	0,57

Analisando a Figura 4.26 observa-se o aumento da absorção com a substituição pelas cerâmicas de 30 μm . Observa-se ainda que houve redução da absorção com as misturas com 20% de 1 μm . O tratamento estatístico confirma o que se observou nos gráficos, demonstrando ainda que A20TJ1 absorve menos que A20TL1 e A20C1, as quais não apresentaram diferenças entre si, enquanto com 10% A10C1 apresentou decréscimo na absorção em relação a A10TJ1 e A10TL1, que por sua vez são estatisticamente iguais neste teor. Pode-se dizer ainda que o aumento do teor de substituição associado à redução no tamanho de partícula reduziu a absorção.

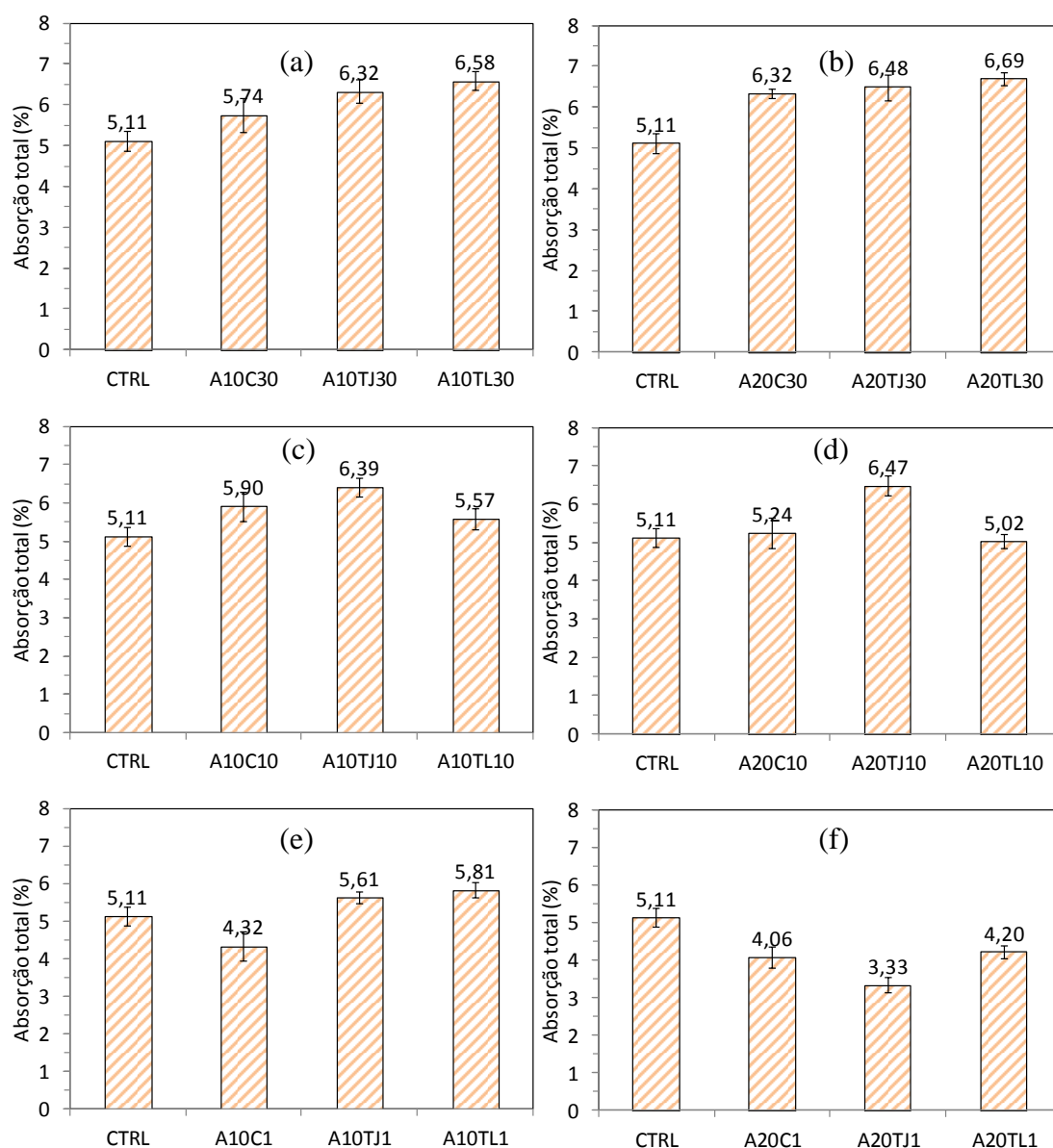


Figura 4.26 Absorção total das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanhos 30, 10 e 1 μm

Sabir *et al.* (1998) encontraram para argamassas (1:3:0,5) com substituição parcial por tijolo, em teores variados, aumento da absorção total em relação a argamassa de controle aos 7, 28 e 90 dias, e com o aumento do teor de substituição. Com exceção das misturas A10TL10, A20C10 e A20TL10 que são estatisticamente iguais a CTRL, as demais com 10 μm e 30 μm apresentaram acréscimos na absorção independente do teor,

enquanto as misturas com 20% de 1 μ m apresentaram decréscimo significativo em relação a CTRL. A análise estatística para o índice de vazios apresentou-se similar a da absorção, o que era esperado. A Figura 4.27 apresenta os índices de vazios das argamassas CTRL e das misturas.

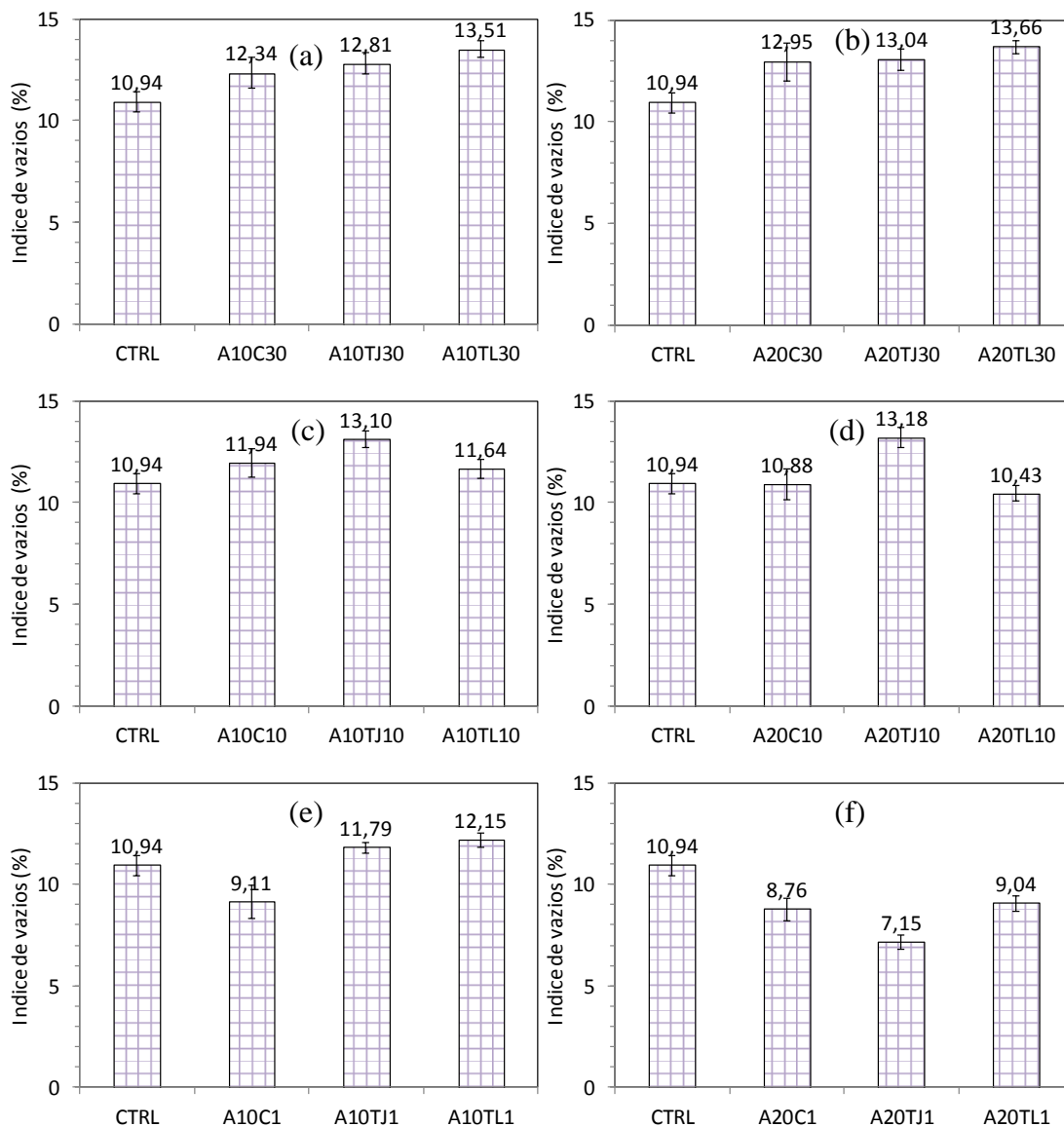


Figura 4.27 Índice de vazios das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanho 30, 10 e 1 μ m

As massas específicas são representadas graficamente na Figura 4.28. A massa específica de A20TJ1 é estatisticamente mais baixa que a de A20TL1 e A20C1, que não apresentam diferenças significativas entre si. Baseando-se nos dados de 30 μm pode-se dizer que com 10 μm as massas específicas passaram a ser iguais, e que com 1 μm a substituição por tijolo diminuiu a massa específica absorvendo menos e com menor índice de vazios em comparação as argamassas com telha e cerâmica no mesmo traço, tendo ainda a substituição reduzido a massa específica. Com relação a CTRL as misturas com 20% de 1 μm mostraram um decréscimo na massa específica. O aumento na massa específica e redução na absorção pode indicar densificação na estrutura de poros. Apenas as argamassas A10C30 e A20C30 apresentaram aumento na massa específica. O aumento na massa específica pode indicar aumento na quantidade de hidratos. Porém, associado ao aumento na absorção e no índice de vazios, podem causar perda nas propriedades mecânicas.

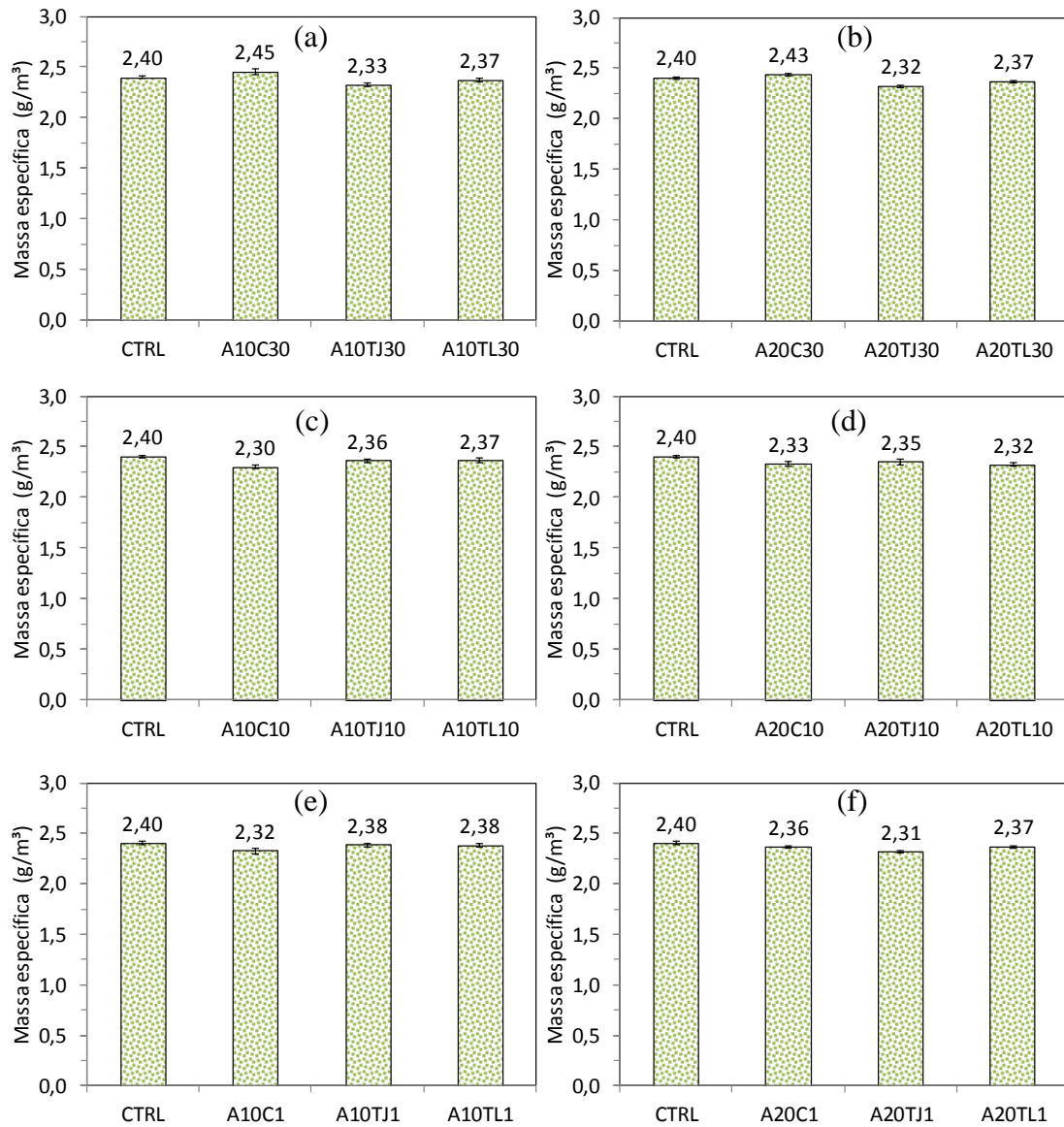


Figura 4.28 Massa específica das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanhos 30, 10 e 1 μm

4.3.3.2 Absortividade

Na Figura 4.29 estão ilustradas as curvas de ganho de massa em função da raiz quadrada do tempo para as argamassas com os pós-cerâmicos e a CTRL.

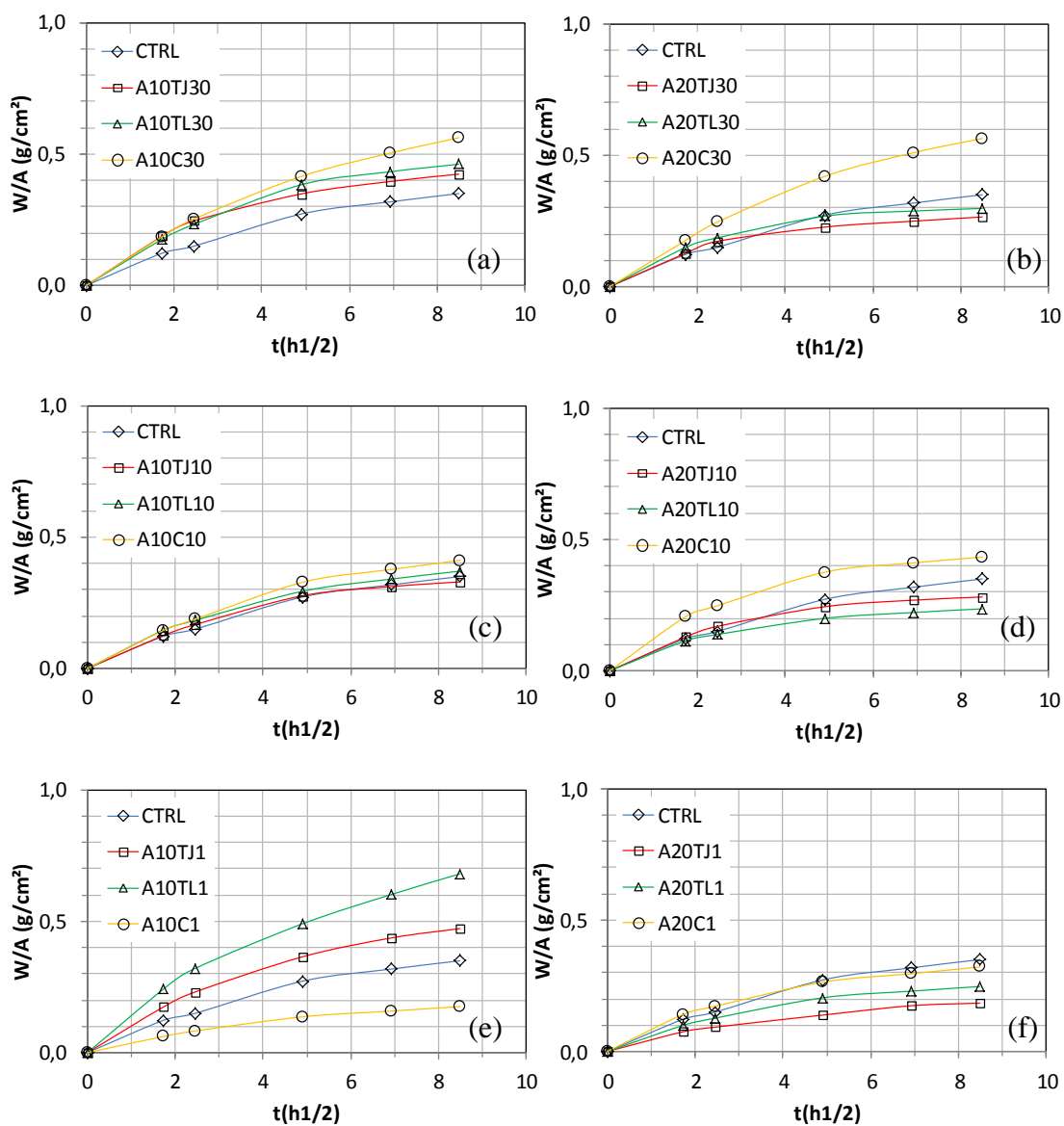


Figura 4.29 Curvas do ganho acumulado de massa com o tempo das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanhos 30, 10 e 1 μm

Na Tabela 4.16 encontram-se os valores de absorvidade. Pela ANOVA, todos os fatores foram significativos, inclusive a interação entre todos eles. As argamassas A20TJ1, A20TL1 e A20C1 não apresentaram diferenças significativa nos estágios 1 e 2, apenas A20TJ1 que apresentou menor ponto de transição. Quanto às argamassas com 30 μm apenas apresentaram mesmo comportamento no estágio 1. Das argamassas com 10 μm não apresentaram diferença TJ e TL no estágio 1. A redução do tamanho promoveu

decréscimo nos parâmetros nas argamassas TJ e TL, no entanto as argamassas com C apresentaram acréscimo dos parâmetros.

Tabela 4.16 Parâmetros de absorvidade das ACNs

Misturas	Estágio 1		Pt		Estágio 2	
	Média	dp	Média	Dp	Média	dp
A10TJ1	0,0952	0,0082	0,3221	0,0181	0,0265	0,0026
A10TJ10	0,0528	0,0022	0,2239	0,0172	0,0148	0,0027
A10TJ30	0,1016	0,0108	0,2467	0,0431	0,0173	0,0008
A20TJ1	0,04	0,0012	0,1162	0,0155	0,013	0,0033
A20TJ10	0,0722	0,0013	0,2277	0,0101	0,0123	0,0025
A20TJ30	0,0675	0,0028	0,2047	0,0124	0,0108	0,0006
A10TL1	0,1323	0,0085	0,3805	0,0831	0,0561	0,0022
A10TL10	0,0928	0,0001	0,3062	0,0052	0,0214	0,0015
A10TL30	0,096	0,0131	0,359	0,0373	0,0219	0,0003
A20TL1	0,0468	0,0059	0,1882	0,0285	0,012	0,0018
A20TL10	0,0649	0,0027	0,182	0,0268	0,0101	0,001
A20TL30	0,0749	0,004	0,255	0,0155	0,0083	0,001
A10C1	0,034	0,0039	0,1531	0,0102	0,0116	0,0014
A10C10	0,0776	0,002	0,305	0,0092	0,0233	0,0003
A10C30	0,123	0,0081	0,3586	0,0748	0,0441	0,0035
A20C1	0,0636	0,012	0,238	0,0312	0,0192	0,0023
A20C10	0,1205	0,0066	0,3944	0,0124	0,016	0,0043
A20C30	0,086	0,0095	0,3496	0,0434	0,0358	0,0018
CTRL	0,0628	0,0048	0,2524	0,0216	0,0217	0,0017

Com relação a CTRL, as argamassas A20TJ1, A20TL1 e A20C1 não apresentaram diferença no estágio 1, porém A20TJ1 apresentou menor ponto de transição. No estágio 2 apenas A20C1 não apresentou diferença em relação a CTRL, sendo que A20TJ1 e A20TL1 apresentaram decréscimo no estágio 2. As demais misturas com 20% não apresentaram diferença significativa em relação a CTRL no estágio 1, sendo que dessas misturas apenas A20C10 e A20C1 não apresentaram diferença no estágio 2 em relação a CTRL. Para o teor de substituição de 10% as misturas apresentaram aumento no estágio 1, no entanto no estágio 2 apresentaram efeitos variados, tendo as misturas com TJ30, TJ1, TL30, TL10 e C30 não alterado significativamente o estágio 2 em relação a CTRL.

4.3.4 Durabilidade

4.3.4.1 Permeabilidade a gás

Na Figura 4.30 são representadas as permeabilidades intrínsecas das misturas e da CTRL.

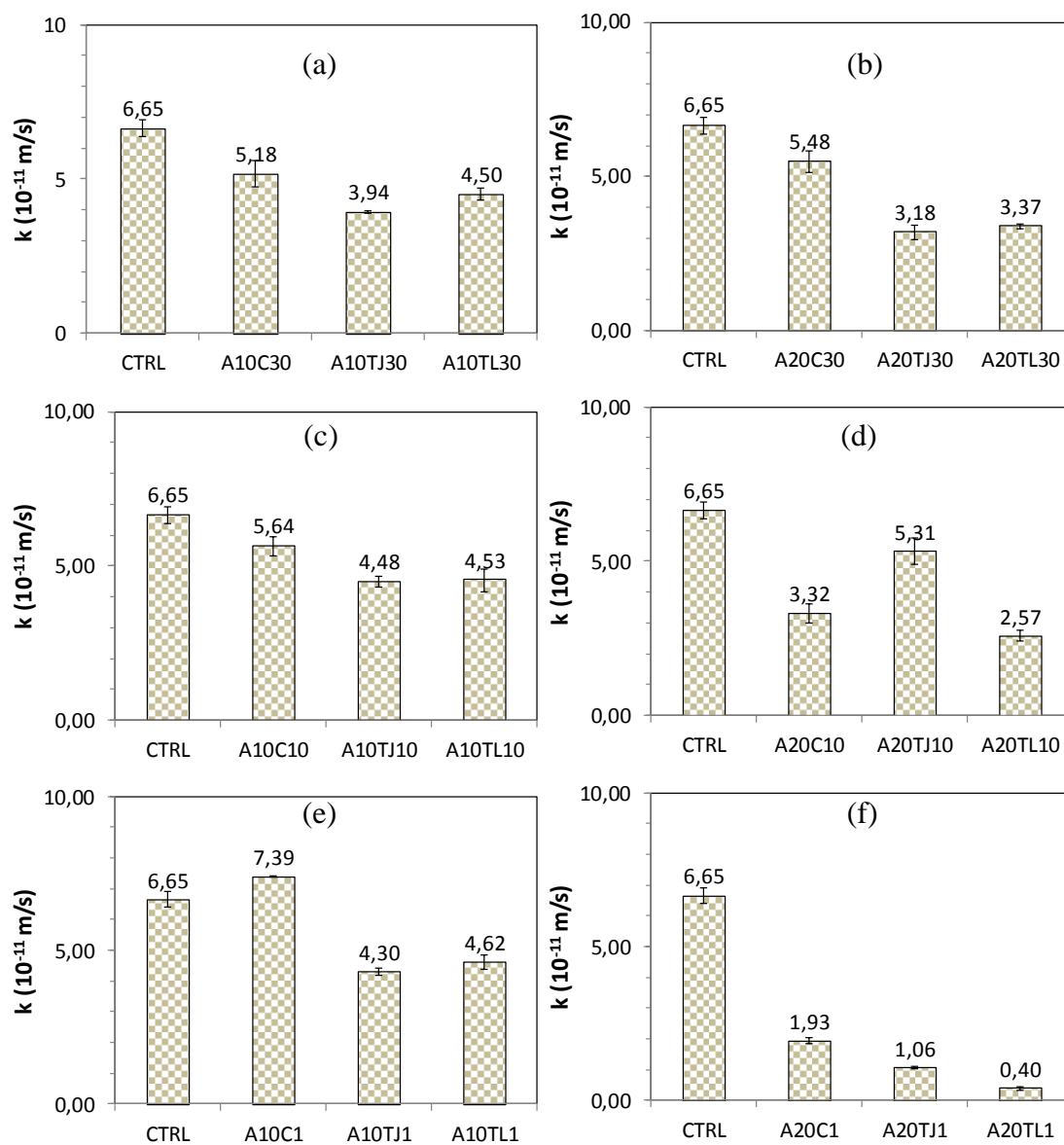


Figura 4.30 Permeabilidade intrínseca das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanhos 30, 10 e 1 μ m

Todos os fatores apresentaram efeitos significativos na permeabilidade, bem como suas interações. As argamassas com 20% de 1 μm apresentaram diferenças, sendo a A20TJ1 a menos permeável das demais no mesmo traço. A redução no tamanho de partícula reduziu a permeabilidade em todos os tamanhos, porém essa redução foi maior para 1 μm . Todas as misturas apresentaram valores de permeabilidade inferiores a CTRL, exceto A10C1 que foi considerado estatisticamente igual.

4.3.4.2 Penetração Acelerada de íons Cloreto

Os valores da carga passante das misturas e da CTRL, obtidos pelo ensaio de penetração acelerado de íons cloretos, estão representado na forma de gráfico na Figura 4.31.

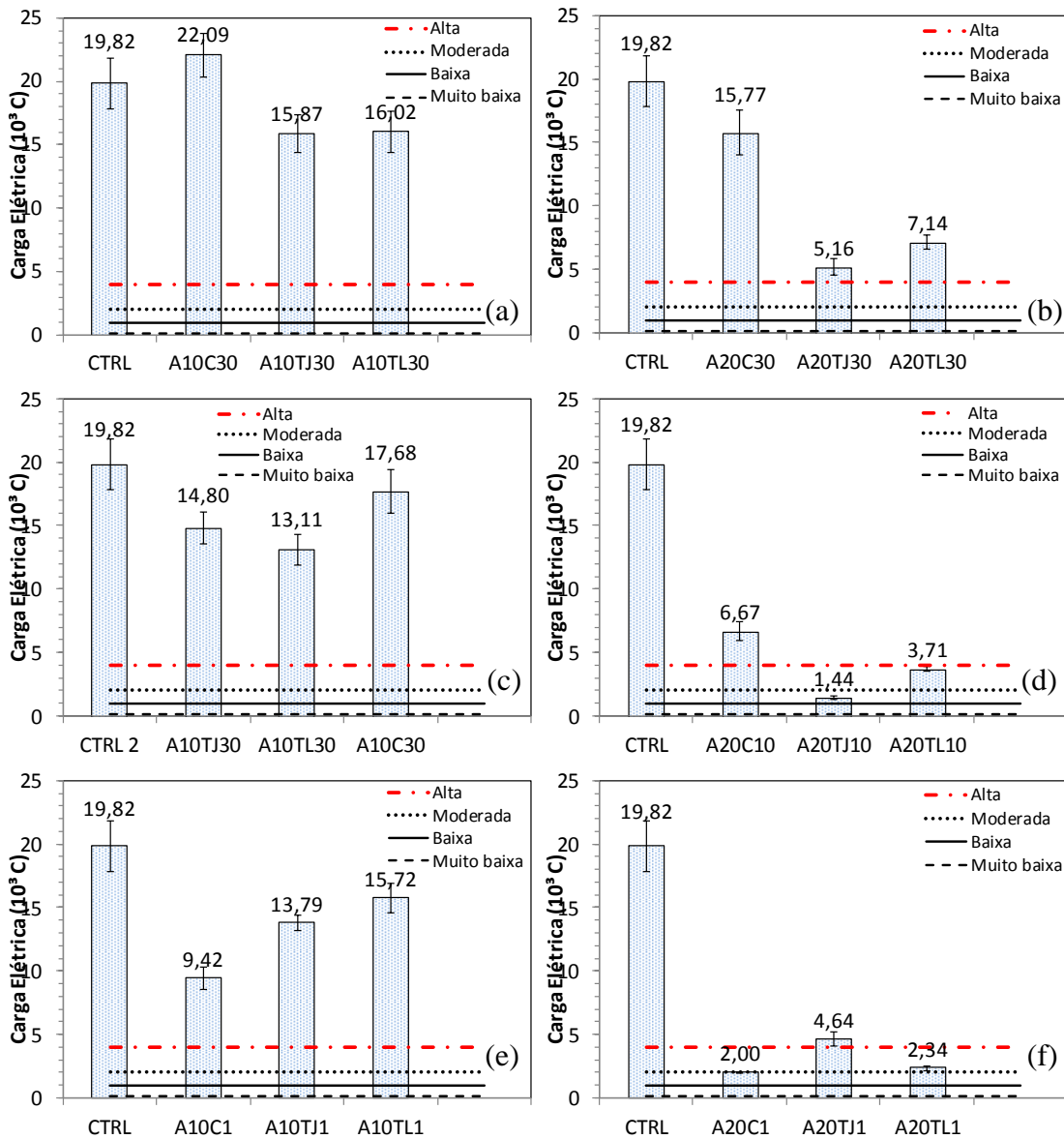


Figura 4.31 Penetração acelerada de íons cloreto das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) nos tamanhos 30, 10 e 1 μm

A partir dos resultados de penetração acelerada de íons cloreto pode-se dizer que todos os fatores estudados foram significativos. Para as argamassas com 20% de 1 μm apenas as com C e TL não apresentaram diferença entre si. A argamassa A20TJ1 apresentou maior carga de elétrons que as demais no mesmo traço. A redução no tamanho de partícula reduziu a quantidade de carga elétrica, exceto para as argamassas com 20% de TJ que não apresentou diferença entre os tamanhos de 30 μm e 1 μm. O aumento do teor

tornou as misturas com TJ, TL e C diferentes entre si em todos os tamanhos. Observou-se ainda que houve decréscimo na carga elétrica com a aumento do teor. Em relação a CTRL todas as argamassas apresentaram decréscimo na carga de elétrons exceto A10C30 e A10TL10 que são estatisticamente iguais.

4.3.4.3 Estrutura de poros

Este item trata do estudo das mudanças na estrutura dos poros das argamassas de consistência normal com 20% de tijolo e cerâmica nos tamanhos de 30 μm , 10 μm e 1 μm . Essas argamassas foram escolhidas devido as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade das argamassas ACN com telha e com tijolo não apresentaram diferenças significativas entre si nos três níveis de tamanho e nos dois teores. Na Figura 4.32 estão ilustrados esses gráficos das misturas ACN agrupadas por tamanho de partícula.

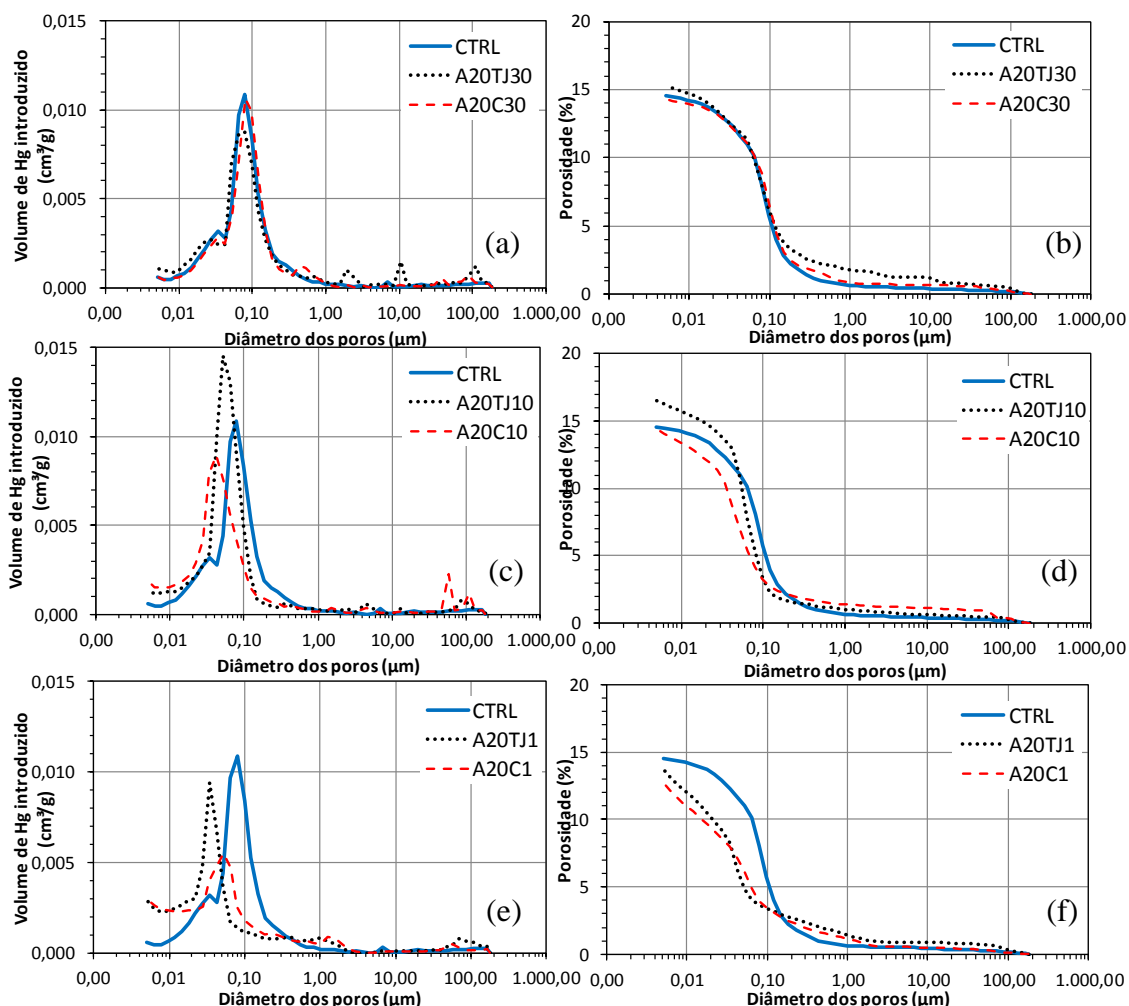


Figura 4.32 Porosimetria por intrusão de mercúrio das ACN com 20% nos tamanhos 30 μm (“a” e “b”), 10 μm (“c” e “d”) e 1 μm (“e” e “f”)

Na Tabela 4.17 são apresentados os resultados obtidos das análises de porosimetria quanto à porcentagem de poros nos tamanhos acima de 10 μm , grandes capilares, médio capilares e pequenos capilares. Constam ainda a porosidade e o volume total de mercúrio introduzido, além dos diâmetros crítico (dc) e limite ou “threshold” (dl). Observa-se que CTRL possui maior parte de seu volume de poros na faixa de tamanho dos grandes capilares e um número baixo de poros acima de 10 μm .

Tabela 4.17 Parâmetros de porosimetria das ACNs

Misturas	$\phi > 10\mu\text{m}$			Grandes capilares ($0,05 < \phi \leq 10\mu\text{m}$)			Médios capilares ($0,01 < \phi \leq 0,05\mu\text{m}$)			Pequenos capilares ($0,0025 < \phi \leq 0,01\mu\text{m}$)		
	M	dp	cv	M	Dp	Cv	M	dp	Cv	M	Dp	Cv
CTRL	2,87	0,17	5,79	72,94	2,98	4,08	21,11	3,02	14,31	3,09	0,53	17,30
A20TJ30	7,97	6,72	84,28	65,99	7,84	11,88	20,91	2,23	10,65	5,13	1,11	21,57
A20TJ10	3,83	2,46	64,15	61,69	4,81	7,80	28,37	1,44	5,06	6,10	0,92	15,06
A20TJ1	6,47	0,13	1,98	28,80	4,09	14,19	49,29	3,22	6,52	15,44	0,74	4,81
A20C30	4,85	1,38	28,36	73,01	0,54	0,74	18,83	1,12	5,93	3,31	0,28	8,47
A20C10	7,66	2,27	29,64	40,08	5,14	12,82	42,99	5,15	11,97	9,28	2,26	24,38
A20C1	3,87	2,18	56,39	44,51	4,77	10,72	34,37	4,42	12,86	17,25	2,53	14,69

Misturas	Porosidade (%)			V total (cm^3/g)			dc (μm)			dl (μm)		
	M	dp	cv	M	Dp	Cv	M	dp	Cv	M	dp	Cv
CTRL	14,54	0,70	4,82	0,0702	0,0016	2,28	0,0796	0,0000	0,01	0,1503	0,0002	0,11
A20TJ30	15,32	1,04	6,76	0,0726	0,0070	9,63	0,0720	0,0108	15,02	0,1360	0,0203	14,96
A20TJ10	16,51	0,35	2,14	0,0807	0,0006	0,73	0,0521	0,0000	0,06	0,1216	0,0001	0,05
A20TJ1	13,68	0,04	0,33	0,0647	0,0004	0,56	0,0342	0,0000	0,02	0,0644	0,0001	0,15
A20C30	14,27	0,58	4,09	0,0669	0,0030	4,53	0,0890	0,0133	14,88	0,1504	0,0000	0,03
A20C10	14,44	0,67	4,66	0,0687	0,0030	4,36	0,0382	0,0057	14,90	0,0984	0,0000	0,04
A20C1	12,76	0,04	0,34	0,0595	0,0004	0,74	0,0471	0,0070	14,91	0,0720	0,0108	14,97

Para o tamanho de poros maiores que $10\mu\text{m}$ os fatores: material, tamanho de partícula e a interação entre eles não teve efeito significativo, o que significa que as argamassas não apresentaram diferenças entre si. Quanto aos poros grandes, médios e pequenos o efeito isolado do material não é significativo e que somente para os poros pequenos a interação entre material e tamanho de poro não é significativo. Porém o efeito isolado do tamanho de partícula é significativo em todas as faixas de tamanho de poros.

O teste de Tukey das argamassas com TJ e C de $30\mu\text{m}$ demonstrou que não há diferença entre si nos tamanhos de poros grandes, médios e pequenos. Enquanto que A20C10 apresenta menor volume de poros grandes e maior volume de poros médios e pequenos que A20TJ10. Com $1\mu\text{m}$ a diferença entre as argamassas é somente significativa nos poros médios, tendo A20C1 apresentado menor volume desses poros que A20TJ1. Quanto à porosidade, ao volume total de poros introduzido, ao dc e ao dl as argamassas com TJ e C não apresentaram diferença significativa entre si para nenhum dos tamanhos.

A redução no tamanho de partícula promoveu refinamento da estrutura de poros, sendo mais significativo com $1\mu\text{m}$ para as argamassas com TJ e, a partir de $10\mu\text{m}$, para as

argamassas com C. Com relação a CTRL as argamassas A20TJ1 e A20C1 apresentaram redução dos poros capilares grandes e aumento dos poros médios e pequenos. Além dessas argamassas a A20C10 também apresentou o mesmo comportamento. Essas argamassas ainda apresentaram redução do d_c e do d_l , sem alterações na porosidade e no volume total. Apenas A20C1 apresentou redução no volume total em relação a CTRL. As argamassas com 30 μm e 10 μm não apresentaram diferenças significativas nos tamanho dos poros em relação a CTRL, sendo que somente as argamassas com 10 μm apresentaram redução nos parâmetros d_c e d_l em relação a CTRL.

4.3.5 Comparação entre os Resultados Teóricos e Experimentais das ACNs

Neste item são comparadas algumas propriedades das argamassas ACN, obtidas experimentalmente, às simulações realizadas no BetonlabPro 3[®]. Dessas simulações foi possível obter a compacidade das misturas calculadas pelo modelo. A comparação entre os valores experimentais e teóricos foi quanto a aproximação dos dados, sendo relevante para que o cálculo da compacidade fosse considerado real. Na Tabela 4.18 constam os resultados experimentais e teóricos obtido pelo BetonlabPro 3 das argamassa.

Tabela 4.18 Resultados teóricos e experimentais das ACNs

Mistura	fc1 (MPa)	fc3 (MPa)	fc7 (MPa)	fc28 (MPa)	E (GPa)	Compacidade ϕ
CTRL	15,30	26,90	34,50	40,90	31,60	0,7759
	15,70	28,11	36,60	40,65	31,18	
A10C1	12,50	25,30	35,70	46,40	33,30	0,7911
	5,72	25,41	30,91	42,24	30,05	
A10C10	14,00	23,00	28,20	32,30	28,40	0,7754
	8,78	19,78	24,95	31,09	30,55	
A10C30	12,30	22,80	30,20	37,00	30,20	0,7767
	9,95	24,35	31,03	39,22	27,52	
A10TJ1	12,10	23,40	32,00	40,40	31,40	0,7901
	6,93	21,79	30,78	40,98	30,88	
A10TJ10	11,40	21,30	28,30	34,70	29,40	0,7817
	8,84	21,61	25,57	37,77	28,65	
A10TJ30	13,50	22,80	28,30	32,70	28,60	0,7744
	8,96	20,65	27,78	34,24	29,98	
A10TL1	12,60	24,20	32,70	40,90	31,50	0,7906
	14,63	28,37	35,12	47,93	31,13	
A10TL10	11,50	21,30	28,10	34,20	29,20	0,7810
	9,36	19,70	24,86	36,82	29,37	
A10TL30	13,30	21,80	26,60	30,30	27,60	0,7758
	8,06	18,77	24,11	32,50	27,29	
A20C1	13,90	27,50	38,20	48,80	33,90	0,7985
	6,31	24,76	40,94	50,08	32,01	
A20C10	13,20	22,70	28,50	33,30	28,90	0,7742
	7,46	20,21	23,83	31,87	28,33	
A20C30	10,50	21,10	29,60	38,20	30,70	0,7746
	8,54	20,94	25,03	34,81	27,22	
A20TJ1	12,40	24,70	34,40	44,10	32,50	0,7979
	5,06	21,65	33,14	48,25	32,84	
A20TJ10	9,10	18,80	27,10	36,00	29,80	0,7812
	7,61	18,02	21,71	36,12	28,34	
A20TJ30	12,50	22,00	28,10	33,30	28,80	0,7713
	6,74	17,36	23,17	34,91	29,48	
A20TL1	13,00	25,50	35,10	44,60	32,60	0,7973
	5,45	21,22	35,01	50,59	31,14	
A20TL10	9,50	19,30	27,20	35,30	29,60	0,7796
	8,41	19,09	27,75	41,14	28,18	
A20TL30	11,90	20,70	26,10	30,70	27,70	0,7743
	6,31	16,43	24,50	32,88	27,37	

A Figura 4.33 ilustra as curvas de CTRL obtida experimentalmente e por simulação.

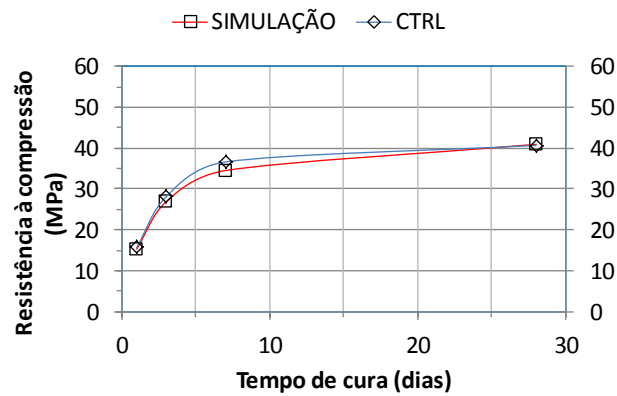


Figura 4.33 Curvas de evolução da resistência a compressão da CTRL simulada e experimental

Os valores de resistência a compressão das argamassas CTRL e de 30 μm obtidos experimentalmente e através do programa estão representados na Figura 4.34 por curvas de evolução das resistências com o tempo.

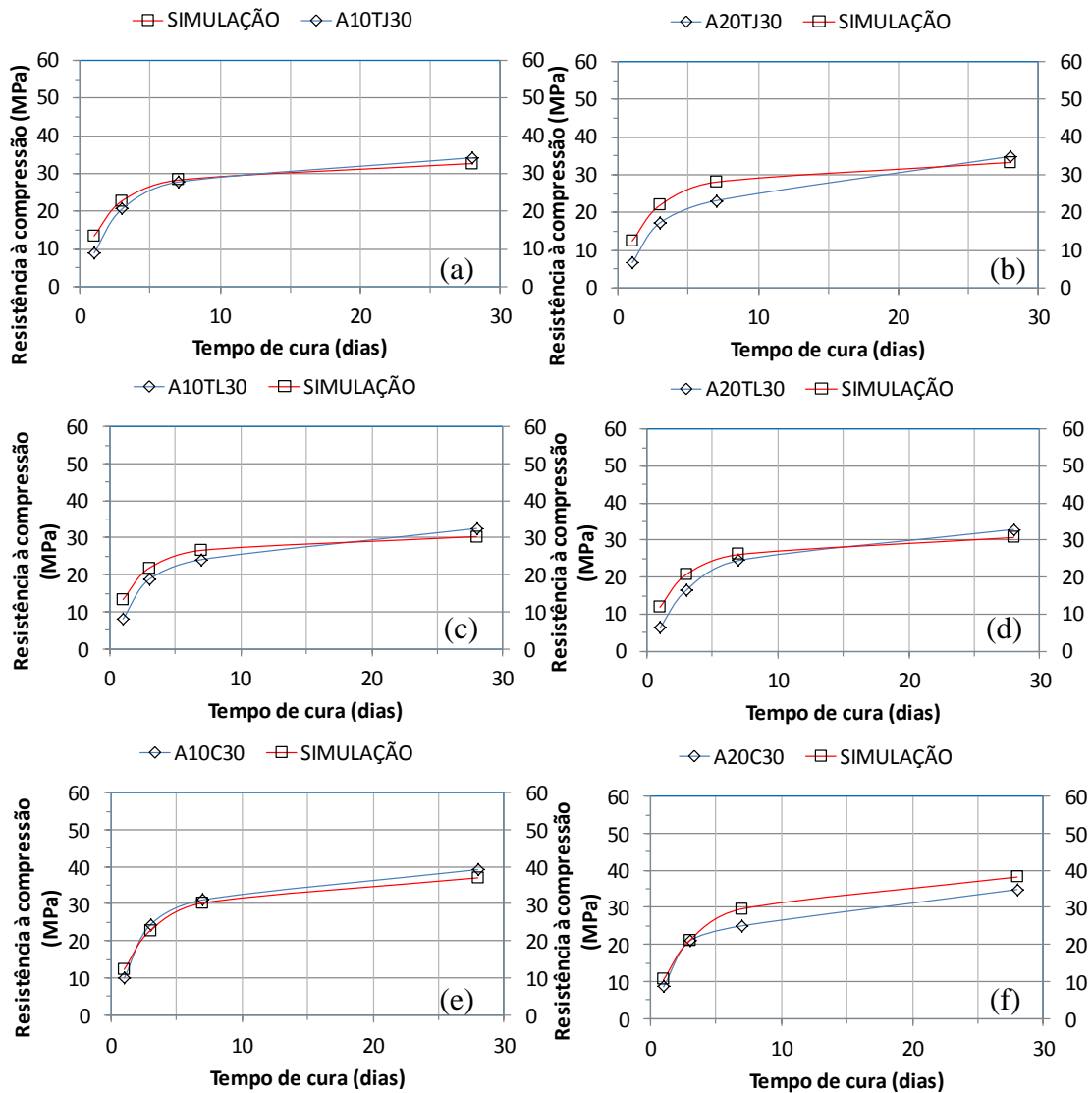


Figura 4.34 Curvas da evolução da resistência a compressão com tempo das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) no tamanho de $30\mu\text{m}$, simulação vs experimental

As curvas com os valores obtidos pelo programa apresentaram inclinação muito próxima às curvas experimentais, sendo que os valores das curvas de simulação foram mais altos que os experimentais, exceto para as argamassas CTRL e A10C30, as quais foram as de maior e menor diferença respectivamente. As diferenças entre as resistências são maiores nas idades de 1, 3 e 7 dias para todas as argamassas. As diferenças aos 28 dias foram 12% a 19%, com exceção das argamassas CTRL e

A10C30 cujas diferenças foram 11% e 0% respectivamente. Na Figura 4.35 são representados os valores da simulação e experimentais dos módulos de elasticidade e observa-se pouca diferença entre os valores, com exceção da CTRL que apresentou módulo de elasticidade da simulação 12% maior que o experimental. As misturas com 30 μm apresentam diferença entre módulos de elasticidade de 2% a 7%.

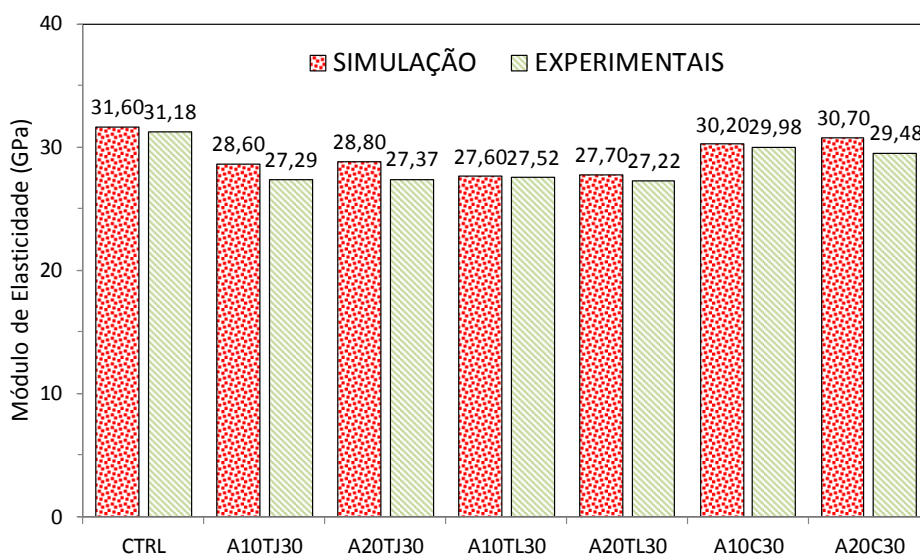


Figura 4.35 Módulo de elasticidade teórico e experimental das ACN de 30 μm

Na Figura 4.36 são representadas as curvas de resistência das argamassas com 10 μm . Observando as curvas de 10 μm os valores de resistência experimentais e da simulação nas idades de 1 e 3 dias apresentam-se mais próximos do que as curvas de 30 μm , sendo que a telha e o tijolo apresentaram curvas mais bem ajustadas pelo modelo.

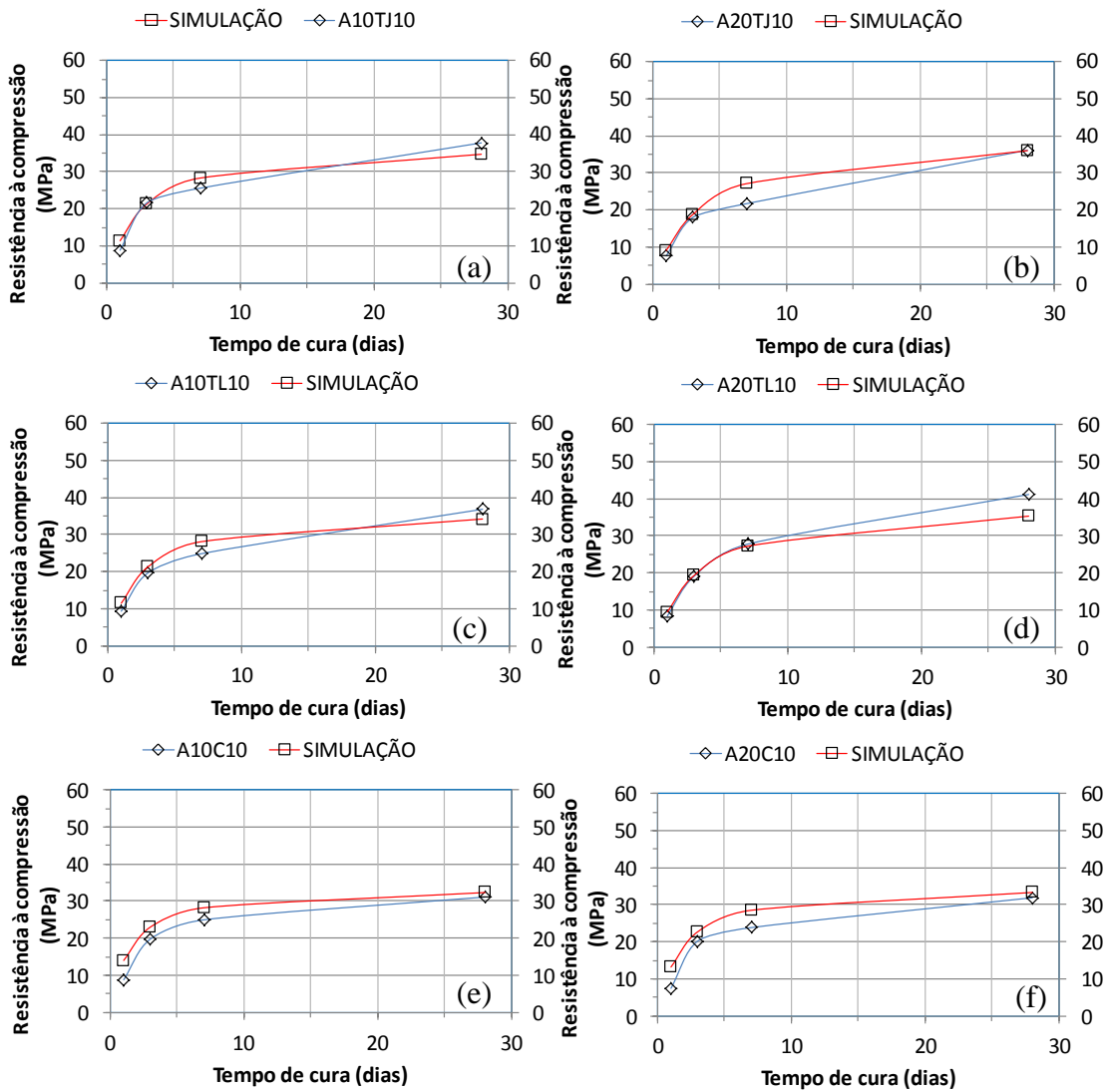


Figura 4.36 Curvas de dados da simulação e experimentais da evolução da resistência a compressão com tempo das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) no tamanho de 10 μm

As diferenças aos 28 dias são 11% a 31%, com exceção da argamassa A20TL10, cuja curva se ajustou melhor com diferença de 4%. Porém, os valores de resistência da simulação ainda são mais altos. Os módulos de elasticidade obtidos experimentalmente e por simulação estão ilustrados na Figura 4.37.

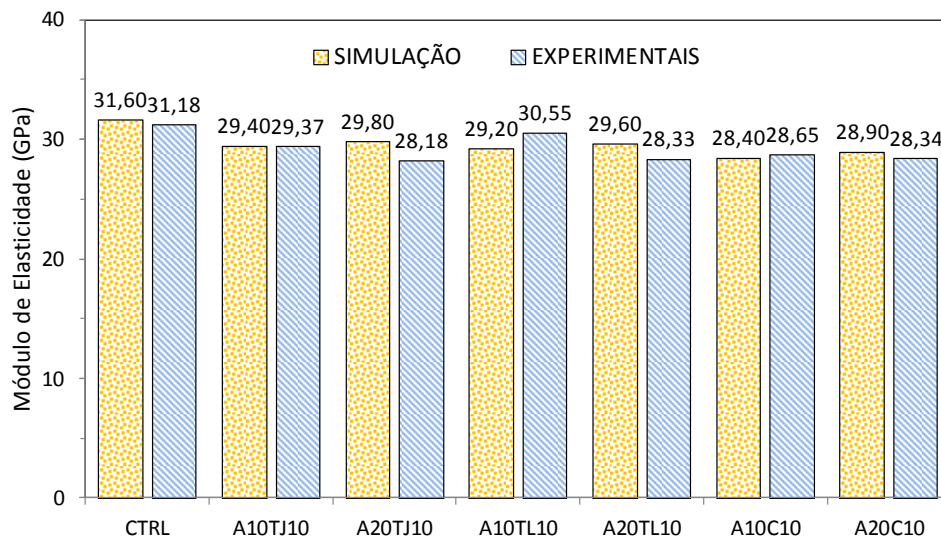


Figura 4.37 Módulo de elasticidade teórico e experimental das ACN de 10 μ m

As diferenças entre os módulos da simulação e experimentais também foram pequenas entre 1% e 8%. Na Figura 4.38 estão representadas as curvas de evolução da resistência com o tempo das argamassas de 1 μ m teóricas e experimentais.

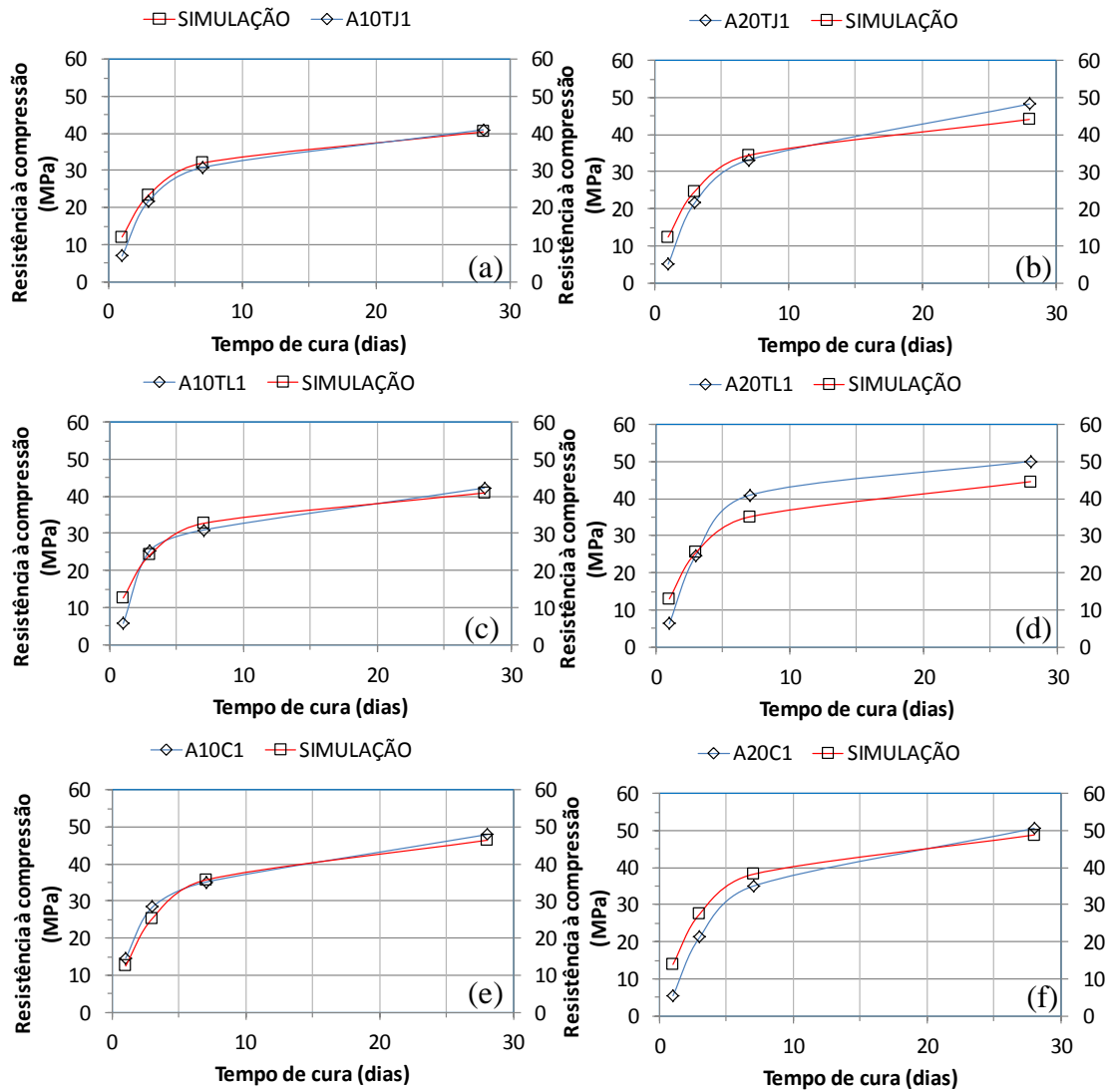


Figura 4.38 Curvas de dados da simulação e experimentais da evolução da resistência a compressão com tempo das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) no tamanho de $1\mu\text{m}$

As curvas de $1\mu\text{m}$ apresentaram as maiores diferenças observadas nos gráficos, exceto para A20TL1 que permaneceu com o melhor ajuste de curvas também observado com $10\mu\text{m}$. A Figura 4.39 ilustra os módulos de elasticidades experimentais e simulados.

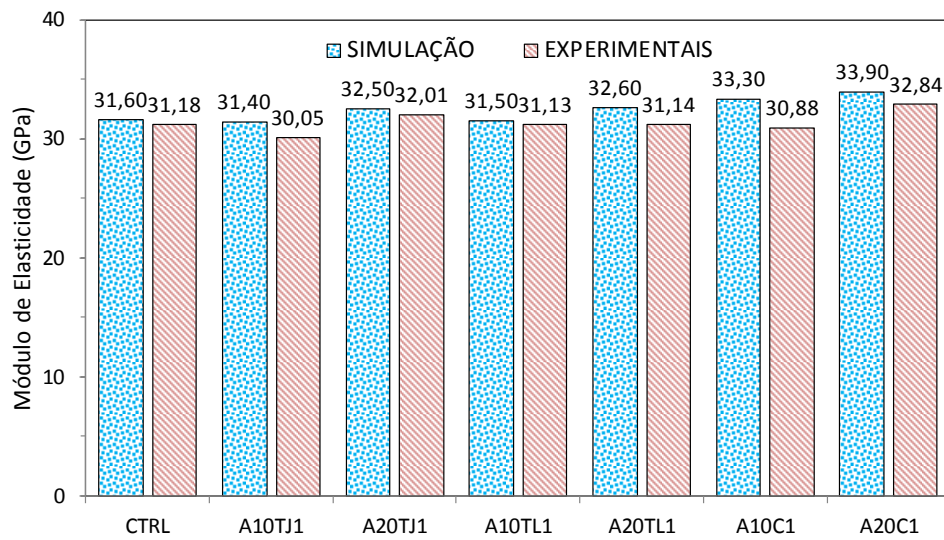


Figura 4.39 Módulo de elasticidade teórico e experimental das ACN de 1 μ m

As diferenças entre os módulos foram também maiores em torno de 10% a 24%. O programa calculou a compactidade da mistura seca e os valores estão ilustrados na Figura 4.40.

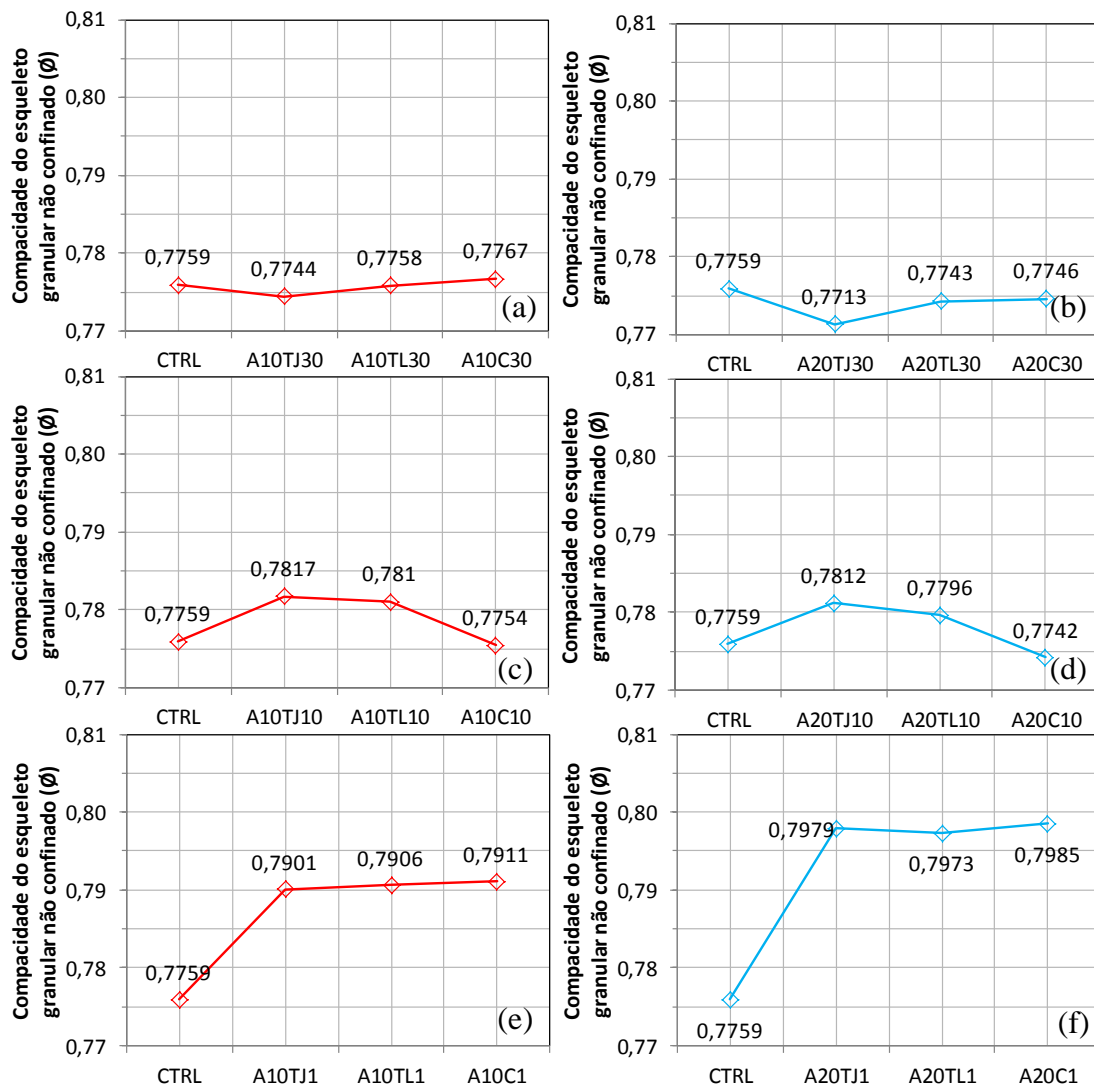


Figura 4.40 Gráfico comparativo das compacidades das ACN com 10% (“a”, “c” e “e”) e 20% (“b”, “d” e “f”) no tamanho de 30, 10 e 1 μ m.

O que se observa nas compacidades das misturas com 30 μ m, para os teores de 10% e 20%, é um pequeno decréscimo (marginal) na compacidade. Com o tamanho de partículas de 10 μ m tanto pequenos acréscimos quanto decréscimos (também marginais) ocorreram na compacidade das misturas em relação a mistura CTRL. O aumento na compacidade foi mais claro com a redução do tamanho das partículas para 1 μ m. Com o aumento do teor de substituição houve um aumento da compacidade tanto para tijolo quanto para a telha e a cerâmica.

4.3.6 Conclusões sobre as propriedades das ACNs

Foi possível concluir com base nos resultados que quanto a consistência das argamassas do tipo ACN:

- A substituição parcial do cimento pelas amostras de tijolo e telha reduziram a trabalhabilidade. A redução do tamanho de partícula e aumento do teor também afetaram a trabalhabilidade das misturas com tijolo e telha. A amostra C10 não afetou a trabalhabilidade das argamassas nos dois teores de substituição.

Quanto as propriedades mecânicas:

- A redução no tamanho de partícula para 1 μm não somente diminuiu as diferenças entre os materiais como promoveu aumento na rigidez da matriz sendo mais significativo no teor de 20%. E que as diferenças nas resistências nas idade de 1, 3 e 7 dias não se mativeram na idade de 28 dias.

- O efeito do aumento da área de superfície específica com a redução do tamanho de partícula para 1 μm foi mais significativo para o aumento da resistência à compressão.

- As argamassa de 30 μm não apresentaram diferenças significativas entre os materiais nos dois teores porém reduziram o desempenho mecânico das argamassas em relação a CTRL.

- A redução do tamanho para 10 μm além de ter apresentado diferenças no comportamento das argamasas com os diferentes materiais, não promoveu alteração nas propriedades mecânicas.

- As substituições nas ACN pelas adições nos tamanhos de 30 μm e 10 μm não apresentaram entre si diferenças significativas entre suas propriedades mecânicas. Isso foi evidenciado na relação área de superfície específica e a resistência cujo efeito do aumento da área de superfície com a redução do tamanho para 10 μm na resistência não foi significativamente maior que o efeito das partículas de 30 μm .

- As argamassas de 30 μm e 10 μm apresentaram mesma relação linear entre a reatividade em cal e a resistência mecânica, com exceção das A10C10 e A20C10 cuja reatividade foi maior em solução de cal saturada.
- Com a redução no tamanho de partícula para 1 μm a resistência mecânica foi maior que a reatividade devido ao efeito de nucleação heterogênea dado o tamanho das partículas. Sendo que as misturas com C1 aos 28 dias apresentaram maior reatividade em cal não mantendo a mesma tendência de aumento da resistência que TJ1 e TL1.

Quanto as propriedades físicas:

- Quanto às propriedades físicas das argamassas ACN, a redução do tamanho de partículas para 1 μm e o aumento do teor para 20% promoveu redução da absorção total, do índice de vazios e da massa específica em relação a CTRL, sendo que A20TJ1 apresentou menor absorção, índice de vazios e massa específica que A20TL1 e A20C1.
- As misturas não apresentaram alterações na absorvidade dos poros médios em relação a CTRL porém apresentaram redução da absorvidade dos poros pequenos, com exceção de A20C1 que não apresentou alterações. No entanto, a absorvidade das argamassas A20TJ1, A20TL1 e A20C1 não apresentou diferenças entre si, exceto quanto ao ponto de transição da A20TJ1 o qual foi menor que as demais indicando que a saturação dos poros médios foi mais rápida.

Quanto à durabilidade das argamassas:

- A redução do tamanho de partículas para 1 μm e o aumento do teor para 20% reduziu a permeabilidade e aumentou a resistência ao ingresso de íons cloretos em relação a CTRL, apresentando diferenças entre si.

Quanto a estrutura de poros das argamassas:

- As argamassas A20TJ1 e A20C1 não apresentaram diferenças no tamanho de poros, no volume total de poros introduzidos, na porosidade, dc e no dl, exceto A20C1 que apresentou menor volume de poros médios que A20TJ1.

- Em relação a CTRL a redução do tamanho de partículas para 1 μm e o aumento do teor para 20% promoveu refinamento da estrutura de poros.

4.4 ARGAMASSA DE COMPACIDADE MÁXIMA

4.4.1 Obtenção do Traço de Maior Compacidade (TMC)

Os resultados obtidos nas argamassas de consistência normal motivaram o estudo do desempenho dos pós-cerâmicos nos tamanhos de partículas de 30 μm e 10 μm em uma argamassa de compacidade máxima (MC). A composição da MC apresentou maior consumo de cimento, maior teor de superplastificante (0,3%) e com relação a/c menor, o que promoveu um espalhamento de 23,6 cm. Observou-se ainda redução na massa específica e no módulo de elasticidade, porém com aumento na resistência a compressão em todas as idades. Quanto à compacidade o aumento foi de 3,1%. Porém, para a obtenção de um traço com mesmo consumo de cimento e relação a/c com maior compacidade que CTRL separou-se as frações de areia conforme sua classificação pelo IPT. Na Tabela 4.19 constam os resultados da simulação com as frações de areia separadas para a CTRL, MC e o traço de maior compacidade TMC.

Tabela 4.19 Dados simulados no BetonlabPro 3 das misturas CTRL, MC e TMC com frações de areia do IPT separadas

PROPRIEDADES	CTRL	MC	TMC
Areia 1,2mm (kg/m ³)	383,20	947,10	1011,60
Areia 0,6mm (kg/m ³)	383,10	0,00	0,00
Areia 0,3mm (kg/m ³)	383,20	46,70	3,70
Areia 0,15mm (kg/m ³)	383,00	337,70	424,90
Cimento (kg/m ³)	511,20	624,10	511,20
SP (kg/m ³)	0,33	6,00	4,94
Sp (%)	0,02	0,30	0,30
Água (kg/m ³)	245,40	248,50	245,40
Ar total (%)	2,00	5,60	5,50
a/c	0,48	0,40	0,48
Massa específica (g/cm ³)	2,29	2,21	2,20
Espalhamento (cm)	0,00	23,20	21,20
fc1 (MPa)	15,30	20,70	12,10
fc3 (MPa)	26,90	34,00	22,30
fc7 (MPa)	34,50	41,70	29,30
fc28 (MPa)	40,90	47,80	35,60
E28 (GPa)	32,30	28,30	26,60
Compacidade granular seca \emptyset^*	0,7632	0,8066	0,8014
Compacidade dos grãos g*	0,6783	0,6978	0,7033

As simulações no traço de referência de maior compacidade TMC com substituições de 20% do cimento por TJ, TL e C nos tamanhos de 30 μm e 10 μm constam na Tabela 4.20, cujos dados correspondem aos resultados das propriedades de acordo com o modelo do MEC (método do empacotamento compressível) para essas argamassas com as adições minerais.

Tabela 4.20 Dados de parâmetros de dosagem e de propriedades físicas e mecânicas das TMCs obtidos pelo BetonlabPro 3

Propriedades	TMC	TMC20TJ30	TMC20TL30	TMC20C30	TMC20TJ10	TMC20TL10	TMC20C10
Areia 1,2mm (kg/m ³)	1087,3	1087,4	1087,5	1087,4	1087,5	1087,6	1085,6
Areia 0,6mm (kg/m ³)	0	0	0	0	0	0	0
Areia 0,3mm (kg/m ³)	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5
Areia 0,15mm (kg/m ³)	455,8	455,9	455,9	455,9	455,9	455,9	455,1
Cimento (kg/m ³)	517	424,5	425,8	429,3	425,7	427,7	428,9
TJ30 (kg/m ³)	0	92,5	0	0	0	0	0
TL30 (kg/m ³)	0	0	91,2	0	0	0	0
C30 (kg/m ³)	0	0	0	87,6	0	0	0
TJ10 (kg/m ³)	0	0	0	0	91,3	0	0
TL10 (kg/m ³)	0	0	0	0	0	89,3	0
C10 (kg/m ³)	0	0	0	0	0	0	87,2
Água (kg/m ³)	248,2	248,1	248,1	248,1	248,1	248,1	247,7
Ar (%)	1	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7
Massa específica (g/cm ³)	2,317	2,317	2,318	2,317	2,318	2,318	2,314
fc1 (MPa)	16,6	13,5	12,1	10,9	8,3	9,5	13,9
fc3 (MPa)	28,9	26,7	24,7	23,6	19,8	21,6	27,8
fc7 (MPa)	36,7	37	35,2	35,3	32,7	34	38,8
fc28 (MPa)	43,3	47,2	46,3	49,1	51,6	50,1	50
ft28 (MPa)	3	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,3
Ei28 (GPa)	32,7	33,9	33,6	34,4	35,2	34,7	34,6
Compacidade do esqueleto granular \emptyset^*	0,7833	0,7748	0,7752	0,7796	0,7811	0,779	0,7807
Compacidade dos granulares g*	0,7033	0,7033	0,7033	0,7033	0,7033	0,7033	0,7033

4.4.2 Consistência

Na Tabela 4.21 são apresentados os valores de espalhamento obtidos com a mistura TMC, a qual, sem superplastificante, foi maior que da CTRL.

Tabela 4.21 Espalhamento das TMCs e o teor de superplastificante

Espalhamento	250±10 (mm)	Teor de Superplastificante (%)
TMC	250	0
TMC20TJ30	262,5	0,1
TMC20TL30	250	0,1
TMC20C30	250	0,02
TMC20TJ10	245	0,1
TMC20TL10	250	0,1
TMC20C10	247,5	0

Os espalhamentos das misturas com os pós-cerâmicos não apresentaram diferença significativa em relação a TMC. As misturas com tijolo e telha nos tamanhos de 30 μm e 10 μm precisaram do mesmo teor de superplastificante. A cerâmica apenas precisou de superplastificante para o tamanho 30 μm sendo menor que o teor utilizado pelo tijolo e a telha.

4.4.3 Propriedades Mecânicas

As curvas de evolução da resistência com o tempo das misturas otimizadas estão representadas na Figura 4.41 e os resultados na Tabela 4.22.

Os resultados obtidos indicam que as misturas otimizadas apresentaram resistência à compressão aos 28 dias de idade iguais ou superiores (caso das misturas com TJ10 e TL10) ao da mistura otimizada de referência. Com 1 dia de cura somente o efeito isolado do tamanho de partícula não é significativo. Nas idades de 3 e 7 os efeitos de todos os fatores são significativos. As argamassas com 30 μm apresentaram comportamento diferente com relação ao tipo de material nas idades de 1, 3 e 7 dias. Nas argamassa com 10 μm , apenas na idade de 1 dia não apresentaram diferenças. Com relação a TMC todas as misturas apresentaram decréscimo na resistência nas idades 1 e 3 dias. Na idade de 7 dias apenas TMC20TL30, TMC20C30 e TMC20TL10 são estatisticamente iguais a TMC; as demais apresentaram decréscimo na resistência nesta idade.

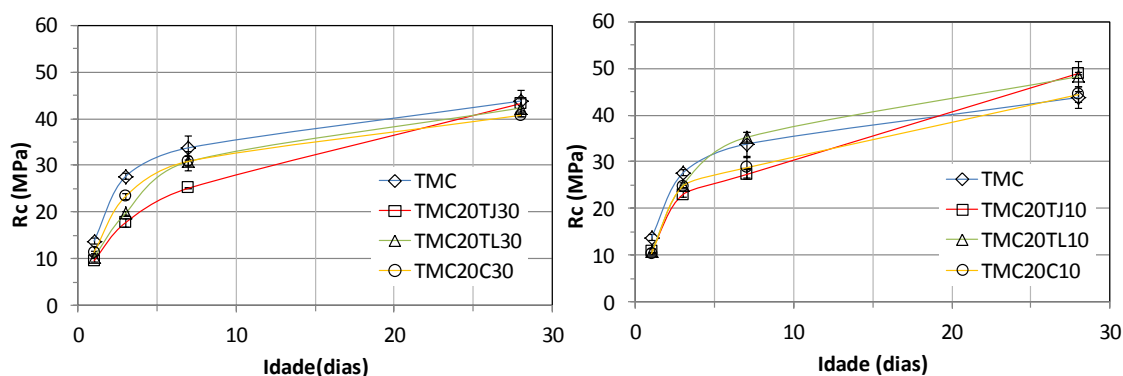


Figura 4.41 Curvas de evolução da resistência à compressão com o tempo das TMCs

Tabela 4.22 Resistência à compressão média (M) e desvio padrão (dp) das TMCs por idade

Idade (dias)		TMC20TJ10	TMC20TJ30	TMC20TL10	TMC20TL30	TMC20C10	TMC20C30	TMC
1	M	10,95	9,58	10,84	10,36	10,34	11,38	13,79
	dp	0,47	0,30	0,60	0,29	0,29	0,23	0,74
	cv(%)	4,31	3,11	5,58	2,84	2,83	2,00	5,39
3	M	23,02	17,74	25,09	19,72	24,81	23,37	27,64
	dp	0,54	0,41	0,50	0,47	0,22	0,60	0,63
	cv(%)	2,36	2,31	2,00	2,37	0,89	2,57	2,29
7	M	27,26	25,13	35,21	30,82	28,71	30,89	33,77
	dp	1,01	0,93	1,10	2,06	2,20	1,00	2,56
	cv(%)	3,71	3,72	3,11	6,68	7,65	3,24	7,58
28	M	48,92	43,22	48,25	42,28	44,39	40,72	43,78
	dp	0,18	0,10	3,25	1,96	1,71	0,41	2,39
	cv(%)	0,37	0,23	6,74	4,64	3,85	1,01	5,46

4.4.3.1 Comportamento Tensão x Deformação

Na Figura 4.42 são ilustradas as curvas tensão versus deformação na idade de 28 dias para as misturas de traço otimizado.

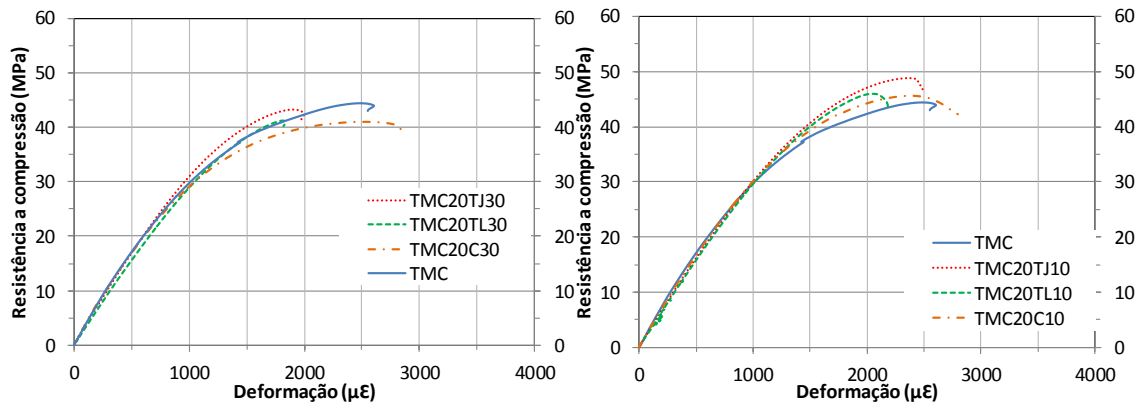


Figura 4.42 Gráficos de tensão x deformação das TMCs

4.4.3.2 Módulo de Elasticidade

A Figura 4.43 ilustra os módulos de elasticidade das misturas TMC e TMC com 20% dos pós-cerâmicos.

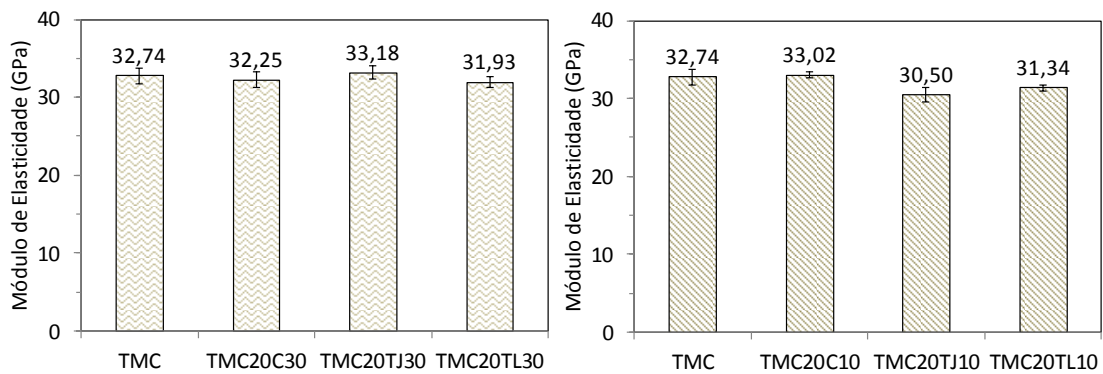


Figura 4.43 Módulo de elasticidade médio das TMCs.

O efeito de todos os fatores foi significativo. As misturas com 30 µm não apresentaram diferenças significativas entre si. No entanto, com 10 µm apenas TJ e TL não apresentaram diferença entre si, sendo o módulo de elasticidade de TMC20C10 maior. A redução do tamanho de partícula não alterou significativamente o módulo de elasticidade, exceto nas misturas com TJ que apresentaram acréscimo. Todas as

misturas são estatisticamente iguais em relação a TMC, exceto TMC20TJ10 que tem menor módulo que TMC.

4.4.3.3 Deformação de Pico

As deformações de pico das misturas do traço TMC estão representadas na Figura 4.44.

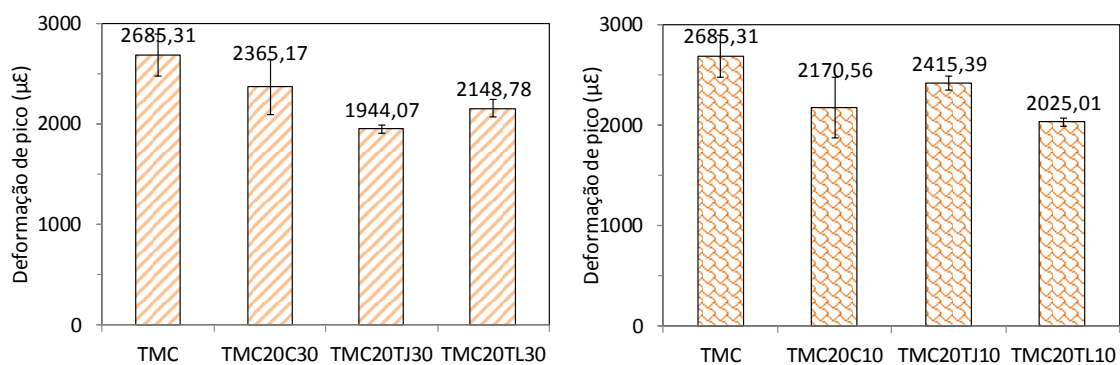


Figura 4.44 Deformação de pico média das TMCs

O efeito isolado dos fatores não foi significativo. As misturas não apresentaram diferença significativa entre si em nenhum dos dois tamanhos. Não apresentaram alteração na deformação de pico com a redução do tamanho. Em relação a TMC as argamassas TMC20TJ30, TMC20TL30 e TMC20TL10 apresentaram menor deformação de pico, as demais são estatisticamente iguais.

4.4.3.4 Resistência à tração por compressão diametral

Na Figura 4.45 estão ilustradas as resistências a tração por compressão diametral das misturas tipo TMC.

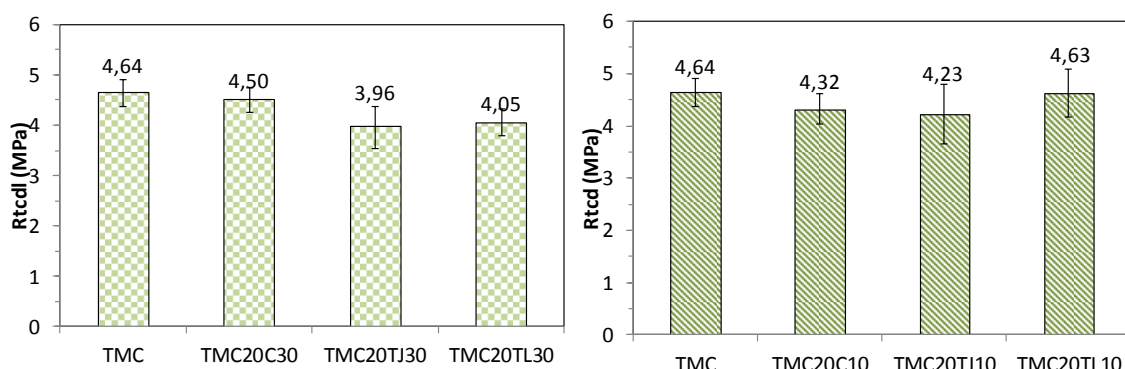


Figura 4.45 Rtcd das TMCs

Nenhum dos efeitos foi significativo na Rtcd. As misturas não apresentaram diferença significativa entre si em nenhum dos dois tamanhos. A redução do tamanho também não promoveu mudanças significativas na Rtcd. Em relação a TMC, todas as misturas foram consideradas estatisticamente iguais, com exceção de TMC20TJ30, que apresentou decréscimo na Rtcd. A Tabela 4.23 apresenta a relação Rtcd/Rc das misturas TMCs.

Tabela 4.23 Rtcd média das TMCs.

Misturas	Rc		Rtcd		Perda/ ganho	Rtcd/Rc
	Média	CV	Média	CV		
TMC	43,78	5,46	4,64	5,83	1,00	0,11
TMC20C30	40,72	1,01	4,50	5,46	0,97	0,11
TMC20TJ30	43,22	0,23	3,96	10,38	0,85	0,15
TMC20TL30	42,28	4,64	4,05	6,64	0,87	0,13
TMC20C10	44,39	3,85	4,32	6,65	0,93	0,07
TMC20TJ10	48,92	0,37	4,23	13,52	0,91	0,09
TMC20TL10	48,25	6,74	4,63	9,89	1,00	0,00

As Misturas com tijolo apresentaram menor relação Rtcd/Rc em relação a TMC devido a redução na Rtcd. As demais misturas apresentaram relação próxima de TMC.

4.4.4 Propriedades Físicas

4.4.4.1 Absorção Total, índice de vazios e Massa Específica.

Para as propriedades de absorção total, índice de vazios e massa específica, o efeito isolado do tipo de material não foi significativo. Pela análise de Tukey os materiais não apresentaram diferença significativa entre si, em nenhum dos dois tamanhos, somente para a propriedade física de massa específica. Ou seja, as argamassas do tipo TMC com TJ, TL e C não apresentam diferenças entre si quanto a absorção e índice de vazios. Na Figura 4.46 estão os valores de absorção total representados graficamente.

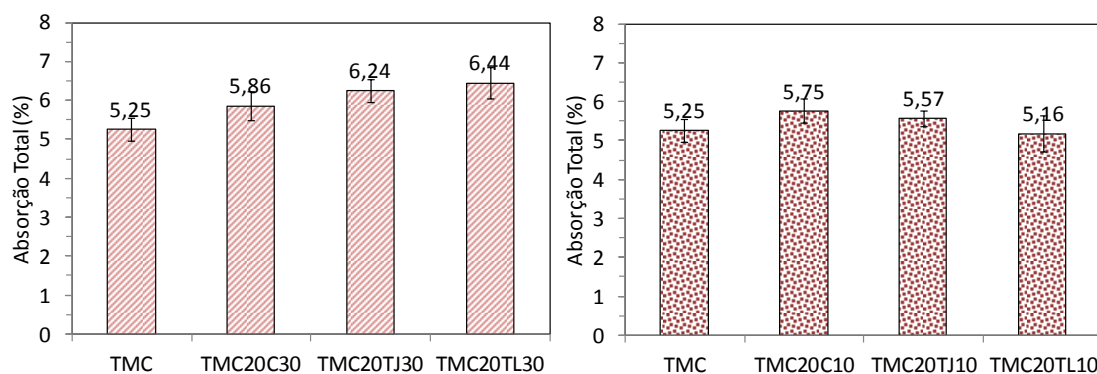


Figura 4.46 Absorção total das TMCs

Com a redução do tamanho as argamassas com TJ e TL passaram a absorver menos. As argamassas com C não apresentaram alterações na absorção com a redução do tamanho de partícula. Em relação a TMC as argamassas com 30 μ m apresentaram acréscimo na absorção, enquanto as argamassas com 10 μ m não apresentaram diferença significativa. A Figura 4.47 representam os índices de vazio das misturas.

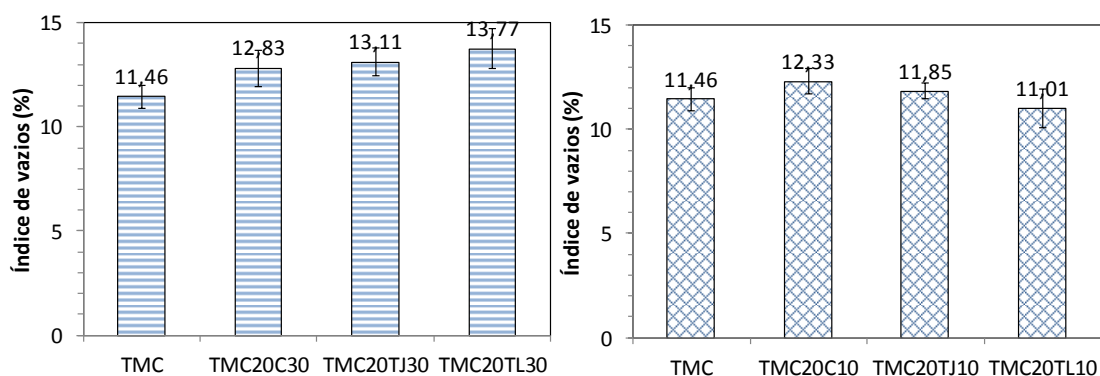


Figura 4.47 Índice de vazios das TMCs

A redução do tamanho promoveu redução do índice de vazios nas argamassas com TJ e TL, assim como observado na absorção. Tendo as argamassas com C não apresentado mudanças no índice de vazios com a redução do tamanho de partícula. As misturas com 30 μ m apresentaram ainda maior índice de vazios que TMC e as com 10 μ m foram consideradas estatisticamente iguais a TMC, conforme foi observado na absorção.

As massas específicas estão representadas na Figura 4.48. Pela análise estatística somente o efeito isolado do tamanho de partícula não é significativo. O tipo de material influenciou nesta propriedade tendo as argamassas com C apresentado maior massa específica, nos dois tamanhos, que as argamassas com TJ e TL. Essas últimas por sua vez não apresentaram diferença entre si nos tamanhos avaliados. Em análise quanto a redução do tamanho esses acréscimos na massa específica não foram significativos para nenhum dos três materiais.

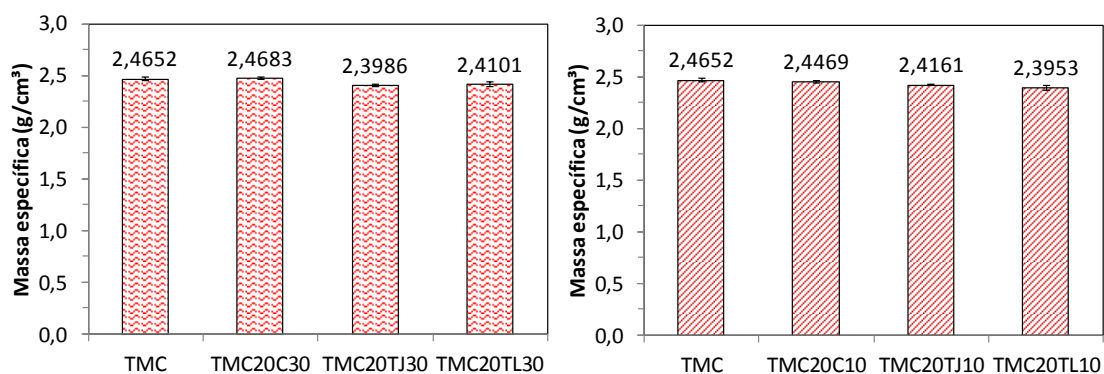


Figura 4.48 Massa específica das TMCs

Em relação a TMC as argamassas com TJ e TL nos dois tamanhos apresentaram decréscimo na massa específica, enquanto as argamassas com C não apresentaram diferença significativa.

4.4.4.2 Absortividade

Pelas curvas de absorção capilar com a raiz quadrada do tempo na Figura 4.49 observa-se que a mistura TMC20C30 apresentou absortividade maior que as demais, porém com a redução de tamanho essa diferença desaparece. Pela análise estatística, nenhum dos fatores apresentou efeito significativo na absortividade. Isso significa que não há diferença entre os materiais em nenhum dos tamanhos, assim como também não houve alteração na absortividade com a redução do tamanho de partícula.

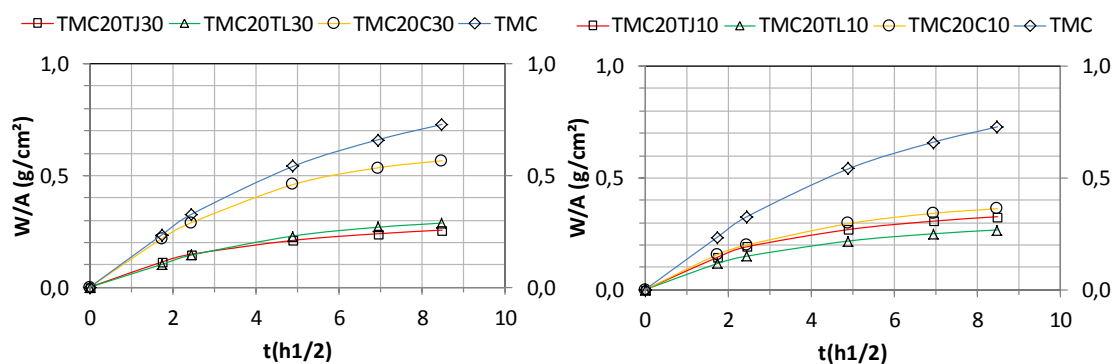


Figura 4.49 Curvas de ganho acumulativo de massa com o tempo das TMCs

Porém há uma exceção quanto ao efeito do tipo de material para a análise feita com dados do estágio 2, devido a TMC20C30 ser estatisticamente diferente de TMC20TJ30 e igual a TMC20TL30, uma vez que essas são estatisticamente iguais. A dispersão dos dados causou essa incoerência, porém não foi possível diminuir essa dispersão devido ao número reduzido de réplicas. No entanto avaliando os valores de P-valor há uma tendência maior para que TMC20C30 seja diferente de TMC20TL30. Na Tabela 4.24 constam os valores de absorvidade das curvas de absorção capilar.

Tabela 4.24 Parâmetros de absorvidade das TMCs

Misturas	Estágio 1			Ponto de Transição			Estágio 2		
	Média	Dp	CV(%)	Média	Dp	CV(%)	Média	Dp	CV(%)
TMC	0,1336	0,0011	0,85	0,4728	0,0236	5,00	0,0526	0,0003	0,54
TMC20C10	0,0831	0,0383	46,12	0,2649	0,1138	42,96	0,0190	0,0011	5,60
TMC20C30	0,1194	0,0003	0,24	0,4222	0,0193	4,58	0,0300	0,0018	6,13
TMC20TJ10	0,0792	0,0281	35,53	0,2398	0,0864	36,04	0,0162	0,0023	13,97
TMC20TJ30	0,0611	0,0357	58,49	0,1860	0,1269	68,22	0,0129	0,0053	41,27
TMC20TL10	0,0622	0,0106	17,05	0,1934	0,0422	21,85	0,0140	0,0037	26,87
TMC20TL30	0,0587	0,0088	15,07	0,2106	0,0768	36,48	0,0163	0,0052	31,77

Em relação a TMC as argamassas somente apresentaram diferença significativa no estágio 2. Por isso é possível dizer que as argamassas com TJ, TL e C, independente do tamanho de partícula, promoveram redução no tamanho de poros pequenos.

4.4.5 Estrutura de poros

As propriedades mecânicas e físicas das argamassas TMC com tijolo, cerâmica e telha não apresentaram diferenças significativas entre si nos dois tamanhos de partícula. Por isso foram escolhidas somente as argamassas com TJ para as análises de porosimetria, como sendo suficientemente representativas das modificações na estrutura dos poros das argamassas do tipo TMC. Por se tratar somente de um tipo de material as análises foram com relação ao efeito da redução do tamanho de partícula. Os resultados das análises de porosimetria estão na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 Parâmetros obtidos das análises de porosimetria por intrusão de mercúrio das TMCs

Misturas	TMC	TMC20TJ30	TMC20TJ10	Misturas	TMC	TMC20TJ30	TMC20TJ10
$\phi > 10\mu\text{m}$	M	3,51	5,05	Porosidade (%)	M	10,4	14,99
	dp	1,56	0,84		dp	0,29	0,5
	cv	44,52	16,68		cv	2,78	3,36
Grandes capilares ($0,05 < \phi \leq 10\mu\text{m}$)	M	57,23	38,44	V total (cm^3/g)	M	0,0477	0,0715
	dp	0,53	0,91		dp	0,0015	0,0038
	cv	0,93	2,36		cv	3,19	5,36
Médios capilares ($0,01 < \phi \leq 0,05\mu\text{m}$)	M	32,85	39,49	dc (μm)	M	0,072	0,0382
	dp	1,21	0,7		dp	0,0108	0,0057
	cv	3,7	1,78		cv	15,02	14,84
Pequenos capilares ($0,0025 < \phi \leq 0,01\mu\text{m}$)	M	6,41	17,02	dl (μm)	M	0,136	0,0795
	dp	0,88	0,64		dp	0,0205	0,0001
	cv	13,7	3,75		cv	15,06	0,18

A redução no tamanho da partícula nas argamassas do tipo TMC somente apresentou efeito significativo no volume de poros grandes, médios, pequenos e no dl. Apresentando maior redução nos poros grandes, maior aumento dos poros médios e pequenos, e menor dl. Na Figura 4.50 estão ilustradas as curvas de porosidade total e volume de mercúrio introduzido das TMCs.

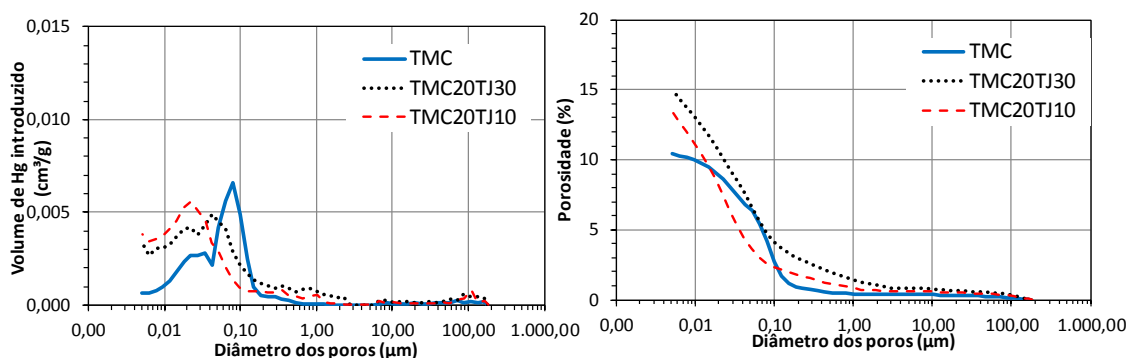


Figura 4.50 Porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas TMC

A substituição por TJ não alterou o volume de poros maiores que $10\mu\text{m}$. Porém promoveu o refinamento da estrutura dos poros pela redução dos poros grandes, aumento dos poros médios e pequenos, redução do d_c e do d_l . Observou-se ainda aumento da porosidade e do volume total de poros introduzidos. O aumento do volume de poros com redução do d_c e do d_l indica aumento da conectividade. Porém isso não corresponde com o que foi observado na absortividade, a qual demonstrou redução na absortividade. A explicação para essa diferença de comportamento entre os métodos seria a de que a água absorvida por capilaridade atingiu poros capilares maiores que $0,05\mu\text{m}$, cujo diâmetro corresponde aos poros grandes na porosimetria, onde se observou a redução.

4.4.6 Comparação entre os Resultados Teóricos e Experimentais das TMCs

O traço ajustado experimentalmente de TMC foi novamente simulado no Betonlab para que fossem feitas as simulações com as adições. Na Tabela 4.26 estão os valores das propriedades nos estados fresco e endurecido das misturas TMCs obtidos a partir do programa. Para TMC foi utilizada a porcentagem de ar aprisionado obtida experimentalmente, para ajuste dos valores de consumo dos materiais. A porcentagem de ar aprisionado das demais argamassas não foi obtida experimentalmente, foi ajustada para manter as mesmas proporções de consumo dos materiais.

Tabela 4.26 Resultados teóricos e experimentais das TMCs

Propriedades	TMC	TMC20TJ30	TMC20TL30	TMC20C30	TMC20TJ10	TMC20TL10	TMC20C10
Areia 1,2mm (kg/m ³)	1087,3	1087,5	1087,5	1087,2	1087,5	1087,6	1085,6
Areia 0,6mm (kg/m ³)	0	0	0	0	0	0	0
Areia 0,3mm (kg/m ³)	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5
Areia 0,15mm (kg/m ³)	455,8	455,9	455,9	455,8	455,9	455,9	455,1
Cimento (kg/m ³)	517	424,5	425,8	429,3	425,7	427,7	428,9
TJ30 (kg/m ³)	0	92,5	0	0	0	0	0
TL30 (kg/m ³)	0	0	91,2	0	0	0	0
C30 (kg/m ³)	0	0	0	87,6	0	0	0
TJ10 (kg/m ³)	0	0	0	0	91,3	0	0
TL10 (kg/m ³)	0	0	0	0	0	89,3	0
C10 (kg/m ³)	0	0	0	0	0	0	87,2
SP (%)	0	0,1	0,1	0,02	0,1	0,1	0
Ar (%)	1	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7
Massa específica (g/cm ³)	2,317	2,318	2,318	2,317	2,318	2,318	2,314
Espalhamento (cm)	0	0	0	0	2,1	0	0
fc1 (MPa)	16,6	13,6	12,1	10,9	8,3	9,5	13,9
fc3 (MPa)	28,9	26,7	24,8	23,6	19,8	21,6	27,8
fc7 (MPa)	36,7	37	35,3	35,3	32,8	34	38,8
fc28 (MPa)	43,3	47,3	46,3	49,1	51,6	50,1	50
Ei28 (GPa)	32,7	33,9	33,6	34,4	35,2	34,7	34,6
Compacidade do esqueleto granular ϕ^*	0,7833	0,7803	0,7807	0,7809	0,7867	0,7847	0,7807
Compacidade dos grãos g*	0,7033	0,7033	0,7033	0,7033	0,7033	0,7033	0,7033

O teor de ar incorporado com as adições minerais diminui de acordo com o modelo da simulação. O teor de superplastificante não promove alteração no espalhamento, exceto para TMC20TJ10. Porém, durante a dosagem os valores de espalhamento foram bem maiores que o do modelo. Quanto as massas específicas as obtidas experimentalmente foram maiores que a do modelo. Na Figura 4.51 são apresentadas as curvas de evolução da resistência com o tempo dos dados obtidos experimentalmente e através do programa.

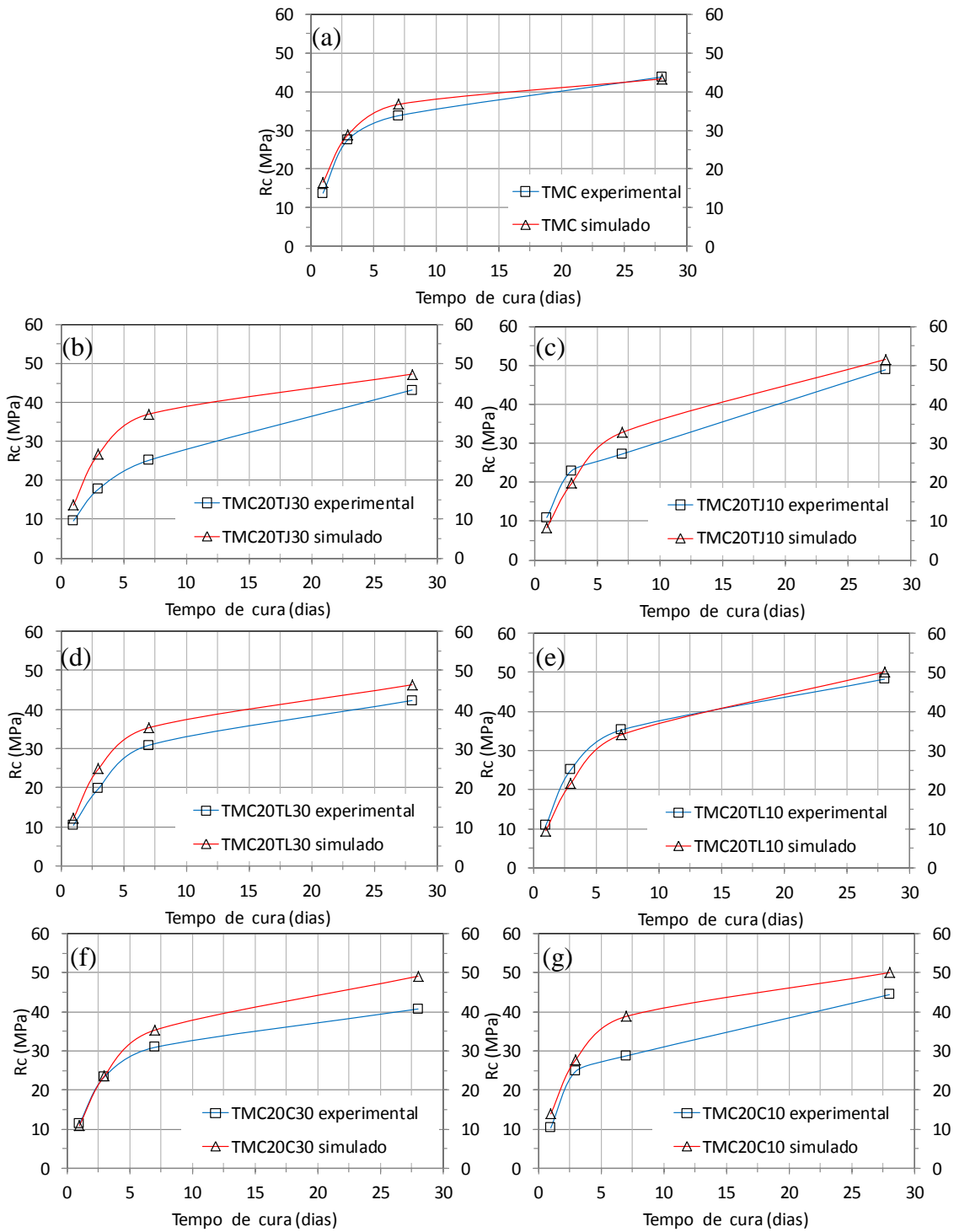


Figura 4.51 Curvas de evolução da resistência compressão teóricas e experimentais, com o tempo das TMCs

A argamassa TMC apresentou dados experimentais bem ajustados aos do modelo. E das argamassas, TMC20TL10 foi a que melhor ajustou o modelo do experimental em todas as idades. A argamassa TMC20TJ30 foi a que apresentou maior diferença entre as resistências nas idades de 1, 3 e 7 dias. As argamassas com TJ e TL apresentaram valores de R_c teórico e experimental muito próximos. No entanto as argamassas com C apresentaram maiores diferenças nas R_c 28. Isso significa que os teores de ar incorporados das misturas com TJ e TL são próximos do real, o qual não foi medido, porém os das argamassas com C30 e C10 foram bem maiores do que os obtidos por simulação. Na Figura 4.52 são apresentados os módulos de elasticidade obtidos experimentalmente e os através do programa.

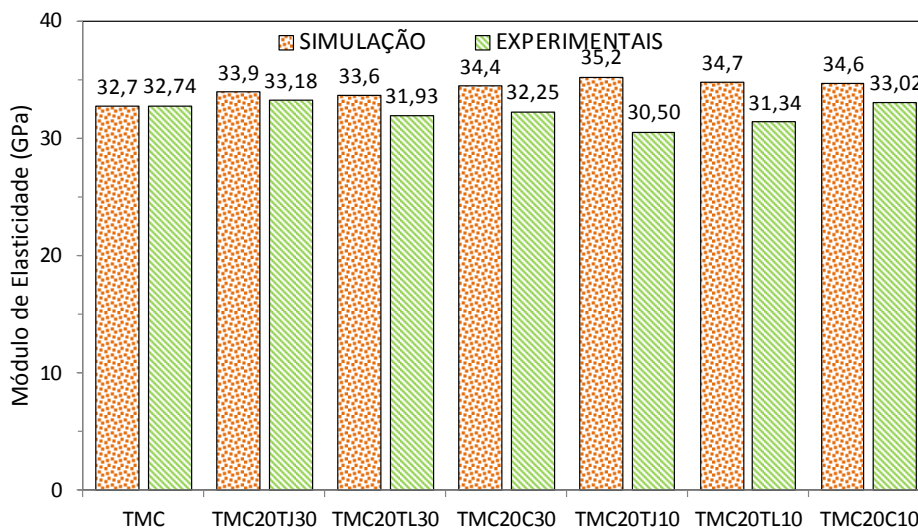


Figura 4.52 Módulo de elasticidade teórico e experimental das TMCs

Os módulos de elasticidade experimentais são menores do que os simulados, exceto da TMC cuja diferença foi insignificante. A Figura 4.53 ilustra as compacidades das misturas obtidas através do programa.

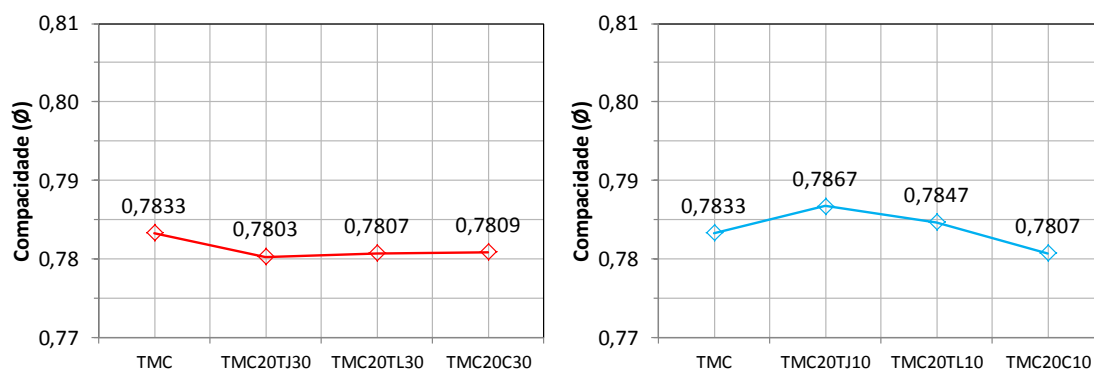


Figura 4.53 Gráfico comparativo das compacidades das TMCs

As argamassas com 30 μ m tem menor compacidade que TMC, não apresentando diferença entre os materiais cerâmicos. Quanto as argamassas com 10 μ m apenas TMC20TJ10 e TMC20TL10 apresentaram compacidade maior que TMC, a argamassas TMC20C10 apresenta menor compacidade.

4.4.7 Conclusões sobre as propriedades das TMCs

Com base na análise dos resultados das propriedades avaliadas das TMCs, foi possível concluir que:

- O programa de simulação, Betonlab, contribuiu para a obtenção do traço ideal, dada boa aproximação aos dados experimentais. Os resultados das simulações com as substituições de 20% nos tamanhos de 30 μ m e 10 μ m indicavam aumento das propriedades mecânicas.
- As argamassas com TJ e TL apresentaram aumento na Rc28 com a redução do tamanho de 30 μ m para 10 μ m. Enquanto a C não apresentou ganhos significativos com a redução do tamanho.
- Na evolução da resistência a compressão com o tempo as argamassas apresentaram diferenças no comportamento entre os materiais, as quais não afetaram a Rc28 não promovendo diferença entre os materiais.

- Com relação ao traço de referência TMC, de modo geral, não houve acréscimos nas propriedades mecânicas, com algumas exceções.
- A redução do tamanho para 10 μm promoveu aumento da resistência à tração por compressão diametral sem alteração do módulo de elasticidade e da deformação de pico das argamassas tipo TMC.
- Nas propriedades físicas as argamassas com 30 μm apresentaram redução na absorção, e as com 10 μm não apresentaram alterações em relação a TMC nessa propriedade. Assim como não apresentaram diferenças na absorvidade, tanto as argamassas com 30 μm como as com 10 μm . Apenas houve redução no tamanho de poros pequenos para todas as argamassas.
- Quanto às alterações na estrutura de poros observou-se o refinamento da estrutura sem alteração da porosidade, do volume total de poros introduzidos e do dc com a redução do tamanho de partícula.
- Em relação a TMC, além da redução no volume de poros grandes e aumento nos poros médio e pequenos (o que indica refinamento dos poros), houve aumento da porosidade, do volume total com redução do dc e do dl. Isso significa que houve aumento da conectividade, porém com redução da acessibilidade dessa rede de poros.

4.5 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ACN E TMC

4.5.1 Estudo Comparativo das Argamassas de Referência- CTRL x TMC

A Figura 4.54 apresenta as propriedades mecânicas e físicas das misturas TMC e CTRL. A análise estatística das propriedades mecânicas e físicas das argamassas CTRL e TMC demonstrou que as argamassas não apresentaram diferenças significativas entre si quanto a resistência, módulo de elasticidade, absorção e índice de vazios. No entanto o aumento da compactidade e da trabalhabilidade aumentaram a resistência a tração por compressão diametral, a massa específica e a absortividade.

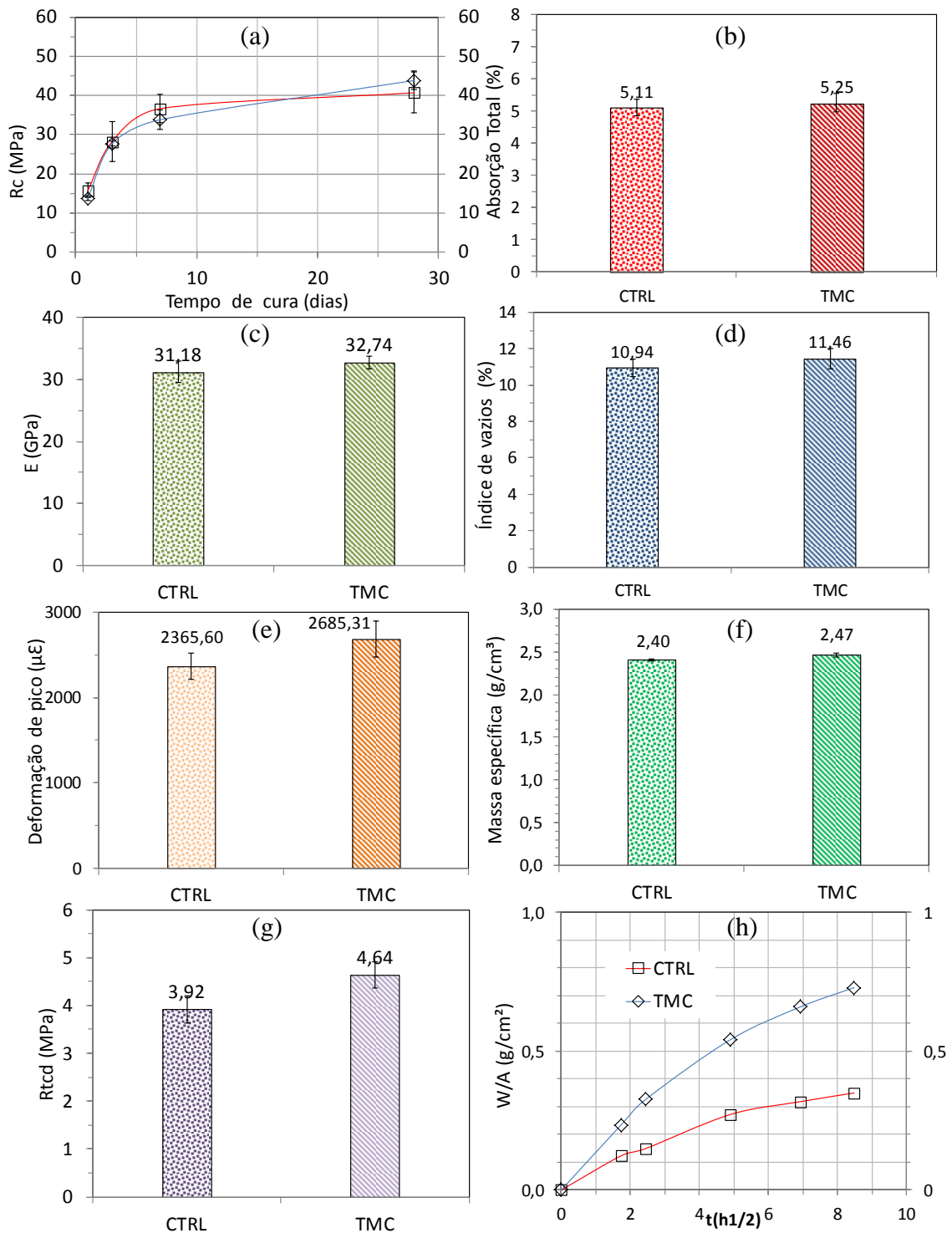


Figura 4.54 Gráficos comparativos das propriedades físicas e mecânicas das argamassas de referência CTRL e TMC

O aumento da massa específica e da R_{tcd} pode ser atribuído ao aumento da compactidade, que alterou a rede de distribuição e tamanho de poros, aumentando a densificação. Porém o aumento da rigidez com aumento da compactidade não foi significativo para acréscimos na resistência compressão, de acordo com a ANOVA. O aumento da absorvidade pode ser atribuído a granulometria da areia. Argamassas com areia monogranular apresentam maior absorvidade que argamassas com areia de granulometria contínua (Hall, 1990). Isso é devido ao aumento no volume de paste necessário para preencher os espaços entre os grãos da areia monogranular, e como as pastas possuem uma rede de poros capilares de maior conectividade sua absorvidade é maior. No entanto a areia usada na TMC apesar de possui duas populações de monotamanho, uma mais grossa (1,2mm) e uma mais fina (0,15mm), suas proporções foram ajustadas para maior compactidade. Isso significa que os espaços entre os grãos foram reduzidos. Como é demonstrada pela compactidade dos grãos das areias das argamassas CTRL e TMC que foram de 0,6955 e 0,7033 respectivamente. Portanto o aumento do volume de pasta entre os grãos não pode ter aumentado devido ao aumento dos espaços intergranular, mas pelo aumento da fração mais fina aumentando a área superficial a ser envolvida pela pasta. Outro efeito devido ao aumento da fração mais fina foi o aumento da trabalhabilidade, uma vez que as relações a/c e areia/cimento foram mantidas. O aumento da trabalhabilidade contribui ainda para a maior diluição das partículas de cimento, produzindo maior quantidade de hidratos. A Figura 4.55 ilustra as curvas de volume de mercúrio introduzido e de porosidade das argamassas TMC e CTRL.

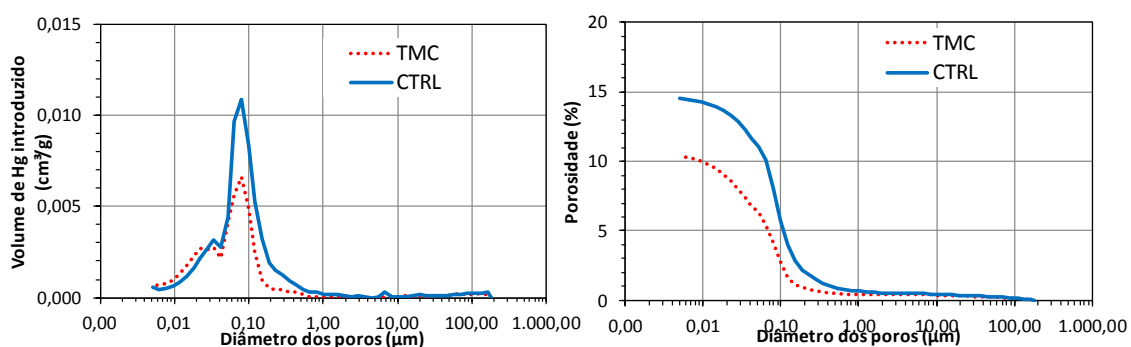


Figura 4.55 Porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas de referência CTRL e TMC

O volume total e a porosidade foram significativamente menores com o aumento da compactidade e da trabalhabilidade. Quanto ao dc e o dl não apresentaram alterações com as mudanças no traço. Na Tabela 4.27 constam os resultados dos parâmetros obtidos pela análise de porosimetria.

Tabela 4.27 Parâmetros de porosimetria por intrusão de mercúrio das referências CTRL e TMC

Parâmetros de porosimetria	CTRL	TMC
$\phi > 10\mu\text{m}$	2,87	3,51
Grandes capilares ($0,05 < \phi \leq 10\mu\text{m}$)	72,94	57,23
Médios capilares ($0,01 < \phi \leq 0,05\mu\text{m}$)	21,11	32,85
Pequenos capilares ($0,0025 < \phi \leq 0,01\mu\text{m}$)	3,09	6,41
Porosidade (%)	14,54	10,40
V total (cm^3/g)	0,07	0,05
dc (μm)	0,08	0,07
dl (μm)	0,15	0,14

O aumento da compactidade e trabalhabilidade reduziram o tamanho dos poros grandes e aumentaram os poros médios e pequenos. Portanto o aumento da absorvidade está relacionado ao aumento dos poros médio e pequenos o que indica refinamento da estrutura de poros pelo aumento quantidade de hidratos. Os resultados de redução da porosidade e do volume de mercúrio introduzido indicam redução dos espaços entre os grãos.

Portanto de acordo com as propriedades analisadas pode se dizer que o aumento da compactidade produziu uma argamassa mais densa. E que a granulometria da areia com maior compactidade aumentou a trabalhabilidade e o volume de pasta. O que promoveu maior diluição das partículas de cimento aumentando a quantidade hidratos e uma rede maior de poros conectáveis. Por isso a argamassa TMC satisfaz as condições ideais para aumentar a reatividade das adições minerais pela maior proximidade dos grãos e pela maior trabalhabilidade a qual promove melhor dispersão das partículas.

4.5.2 Estudo Comparativo das Propriedades Mecânicas entre as misturas A20 e TMC20

4.5.2.1 Resistência à Compressão

Na Figura 4.56 são apresentadas as curvas de evolução da resistência a compressão das misturas TMC20 e A20 comparadas entre si. Pela análise estatística entre os dados das argamassas A20 e TMC20, houve acréscimo na resistência aos 28 dias com o aumento da consistência e da compactidade. Porém este acréscimo não foi suficiente para superar a R_{c28} da A20 com 1 μ m. Observou-se ainda diferenças ente os materiais, tendo o TMC20TJ30 e TMC20TJ10 não apresentado acréscimos significativos em relação a A20TJ1. As argamassas TMC20TL30 apresentaram redução na R_{c28} , enquanto TMC20TL10 não apresentou diferença significativa em relação a A20TL1. Quanto as com C30 e C10 apresentaram menor resistência aos 28 dias que a A20C1.

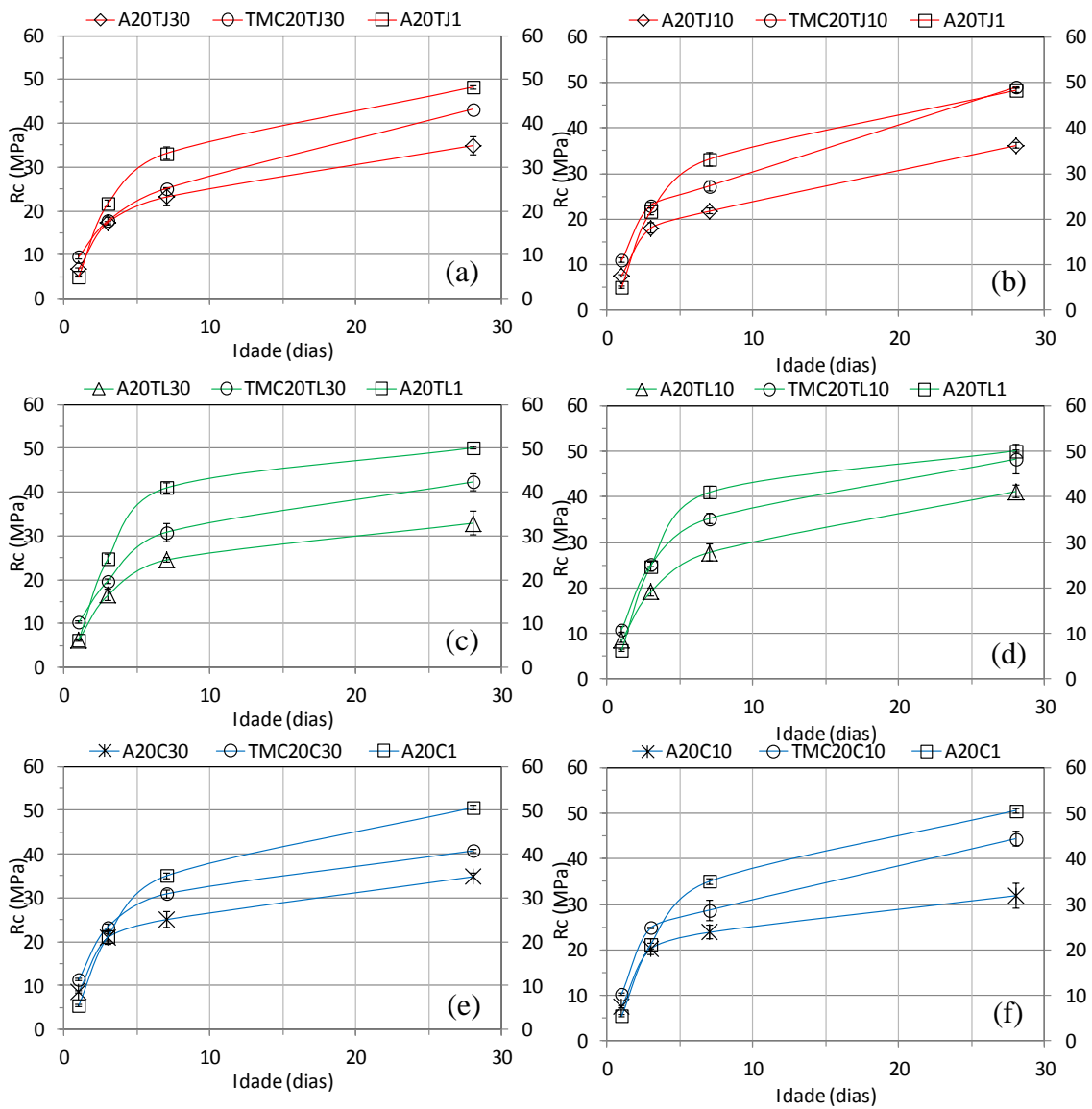


Figura 4.56 Gráficos comparativos da evolução da resistência à compressão com o tempo das argamassas A20 e TMC20

Houve a ainda acréscimo em todas as idades com o aumento da compacidade e da consistência, com exceção a TMC20TJ30 e TMC20C30 cujo acréscimo não foi significativo nas idades de 3 e 7 dias. Com relação a A20 de 1µm todas apresentaram acréscimo na idade de 1 dia. Aos 3 dias aparecem as diferenças no desempenho entre os tamanhos de 30µm e 10µm em relação a A20 1µm para cada material. Enquanto TMC20TJ30 apresentou menor Rc3 que A20TJ1, a argamassa TMC20TJ10 apresentou

maior Rc3. TMC20TL30 obteve acréscimo em relação a A20TL1, porém TMC20TL10 não apresentou acréscimo em relação a A20TL1. As argamassas contendo C30 e C10 apresentaram acréscimo em relação a A20C1. Aos 7 dias todas apresentaram menor resistência que a A20 de 1 μ m.

4.5.2.2 Módulo de Elasticidade

Os módulos de elasticidade das misturas TMC20 e A20 estão representados na Figura 4.57 nos tamanhos de 30 μ m e 10 μ m. As argamassas apresentaram aumento no módulo de elasticidade com o aumento da consistência e da compactidade.

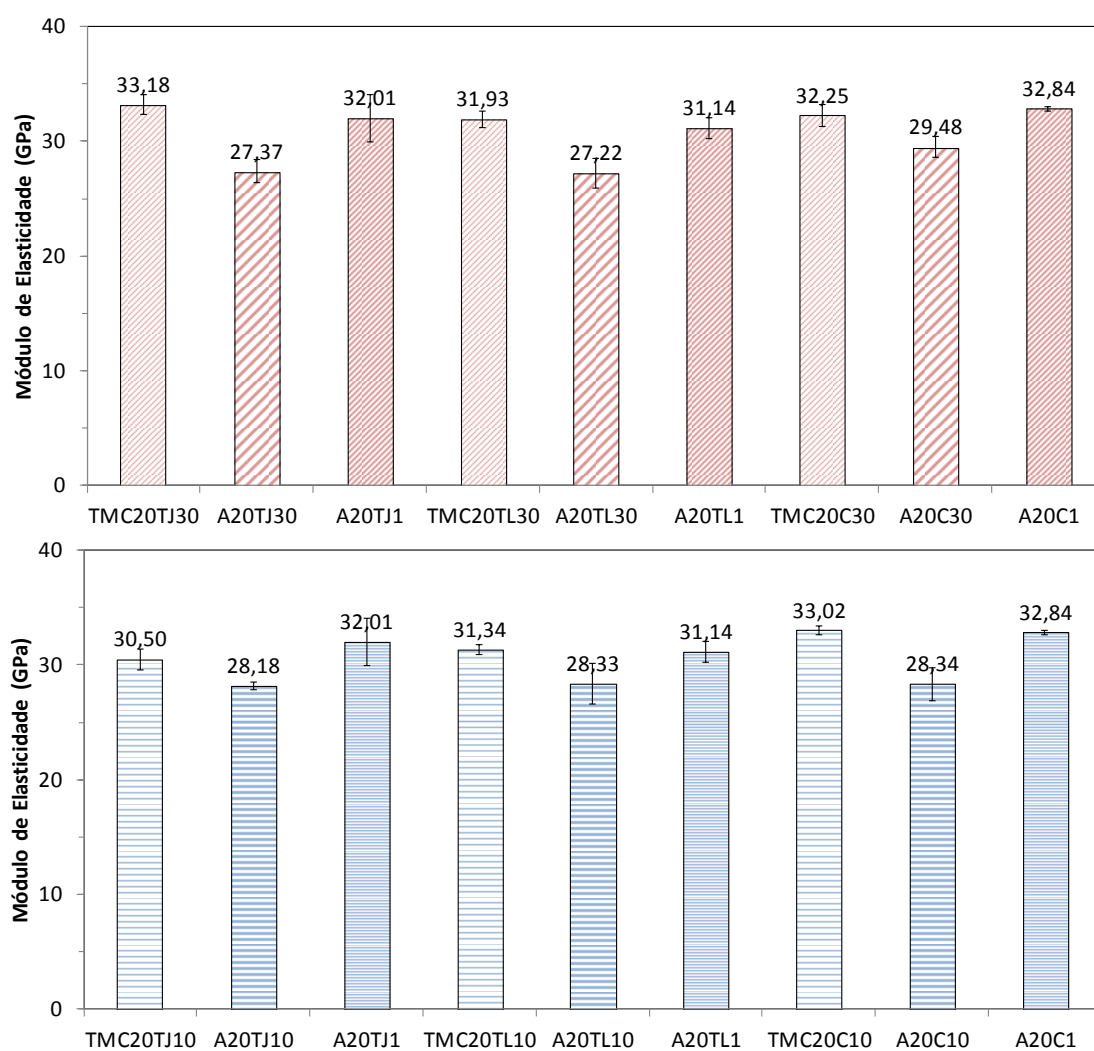


Figura 4.57 Gráficos comparativos do módulo de elasticidade das argamassas A20 e TMC20

No entanto com relação as argamassas A20 com 1 μ m esse acréscimo não foi significativo.

4.5.2.3 Deformação de Pico

A Figura 4.58 estão as deformações de pico das misturas TMC20 e A20 comparadas entre si. O aumento da compactidade e da consistência não promoveu alterações na deformação de pico. Com exceção de TMC20TJ30 que apresentou redução na deformação de pico em relação a A20TJ30.

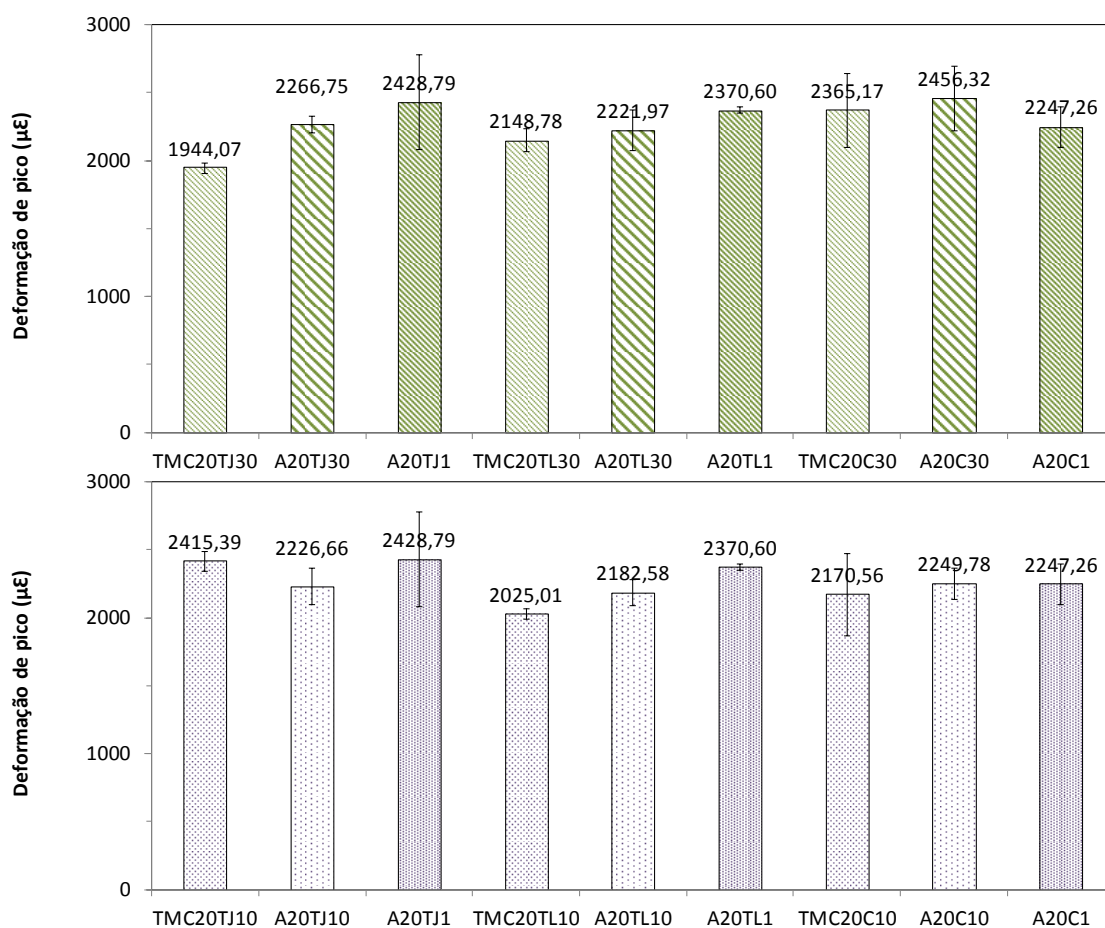


Figura 4.58 Gráficos comparativos da deformação de pico das argamassas A20 e TMC20

Com relação as argamassas A20 com 1µm também não houve acréscimos, exceto para TMC20TL10 que apresentou menor deformação de pico que A20TL1.

4.5.2.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral

As R_{tcd} das misturas TMC20 e A20 estão ilustradas na Figura 4.59. Pelos resultados da ANOVA o aumento da compactidade e da consistência não promoveu alteração nesta propriedade. Com exceção das argamassas TMC20C30 e TMC20C10 que apresentaram acréscimo na R_{tcd} em relação a A20C30 e A20C10 respectivamente.

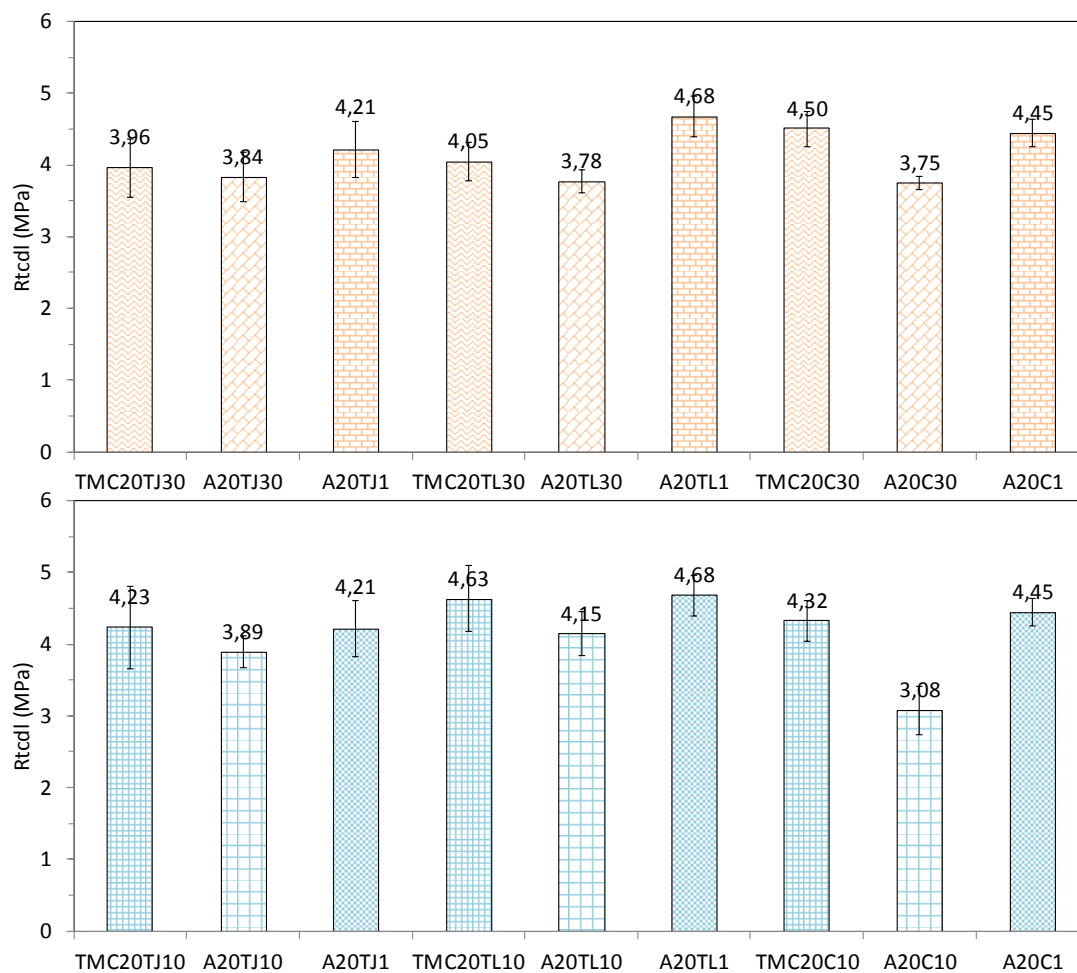


Figura 4.59 Gráficos comparativos da R_{tcd} das argamassas A20 e TMC20

Em relação as argamassas A20 de 1 μ m, também não foi significativo o aumento na R_{td} das argamassas TMC20. Tendo a argamassa TMC20TL30 apresentado perda nesta propriedade em relação a A20TL1. Na Figura 4.60 são representadas as compacidades das misturas TMC20 e A20 nos tamanhos de 30 μ m e 10 μ m comparadas entre si.

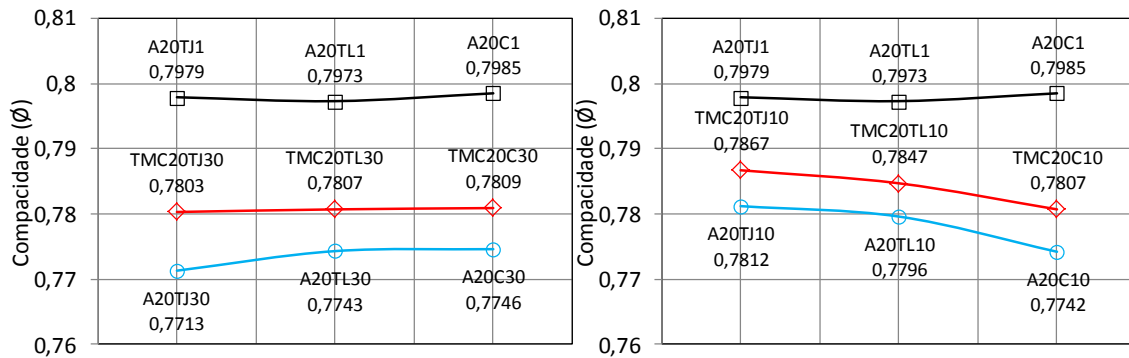


Figura 4.60 Gráficos comparativos da compacidade das misturas A20 e TMC20

Observa-se que o aumento da compacidade reduziu a diferença entre os materiais no tamanho de 30 μ m. Porém para o tamanho de 10 μ m o aumento da compacidade não alterou a diferença entre os materiais. Sendo TMC20C10 a argamassa de menor compacidade. Os acréscimos nas compacidades das argamassas de 30 μ m foram entorno de 1%. Para as argamassas de 10 μ m os acréscimos foram menores, na média de 0,73% ($\pm 0,10\%$). Em relação as argamassas A20 de 1 μ m esses acréscimos nas compacidades das argamassas com 30 μ m e 10 μ m não diminuiram as diferenças entre as compacidade. A diferença média das compacidade de 30 μ m em relação as argamassas A20 de 1 μ m é de 2,21% ($\pm 0,07\%$), para as argamassas com 10 μ m a diferença média é de 1,77% ($\pm 0,45\%$).

4.5.3 Estudo Comparativo das propriedades Físicas entre as misturas A20 e TMC20.

4.5.3.1 Absorção total, Índice de Vazios e Massa Específica

A Figura 4.61 ilustra os valores de absorção total das misturas TMC20 e A20 comparadas entre si. Observou-se que não houve diferença significativa com o aumento da compacidade e da consistência na absorção total. Exceto para TMC20TJ30 que apresentou redução na absorção em relação a A20TJ30. Com relação às argamassas A20 com 1 μ m as argamassas TMC20 absorvem mais.

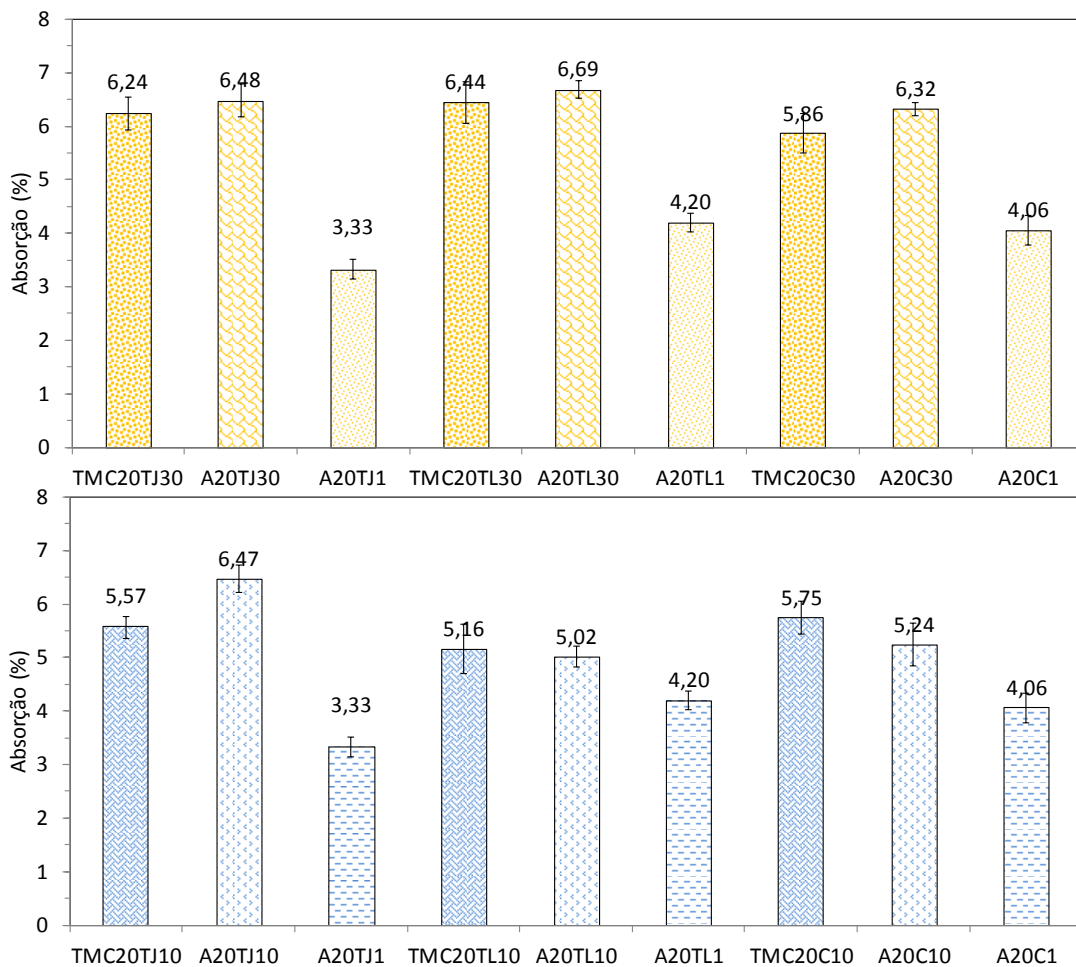


Figura 4.61 Gráficos comparativos da absorção total das argamassas A20 e TMC20

Na Figura 4.62 são apresentados os índices de vazios. Os quais não apresentaram alteração com o aumento da compacidade, exceto para as argamassas TMC20TJ30 que reduziu e TMC20C10 que aumentou. As argamassas TMC apresentaram maior índice de vazios que as argamassas A20 com 1 μ m.

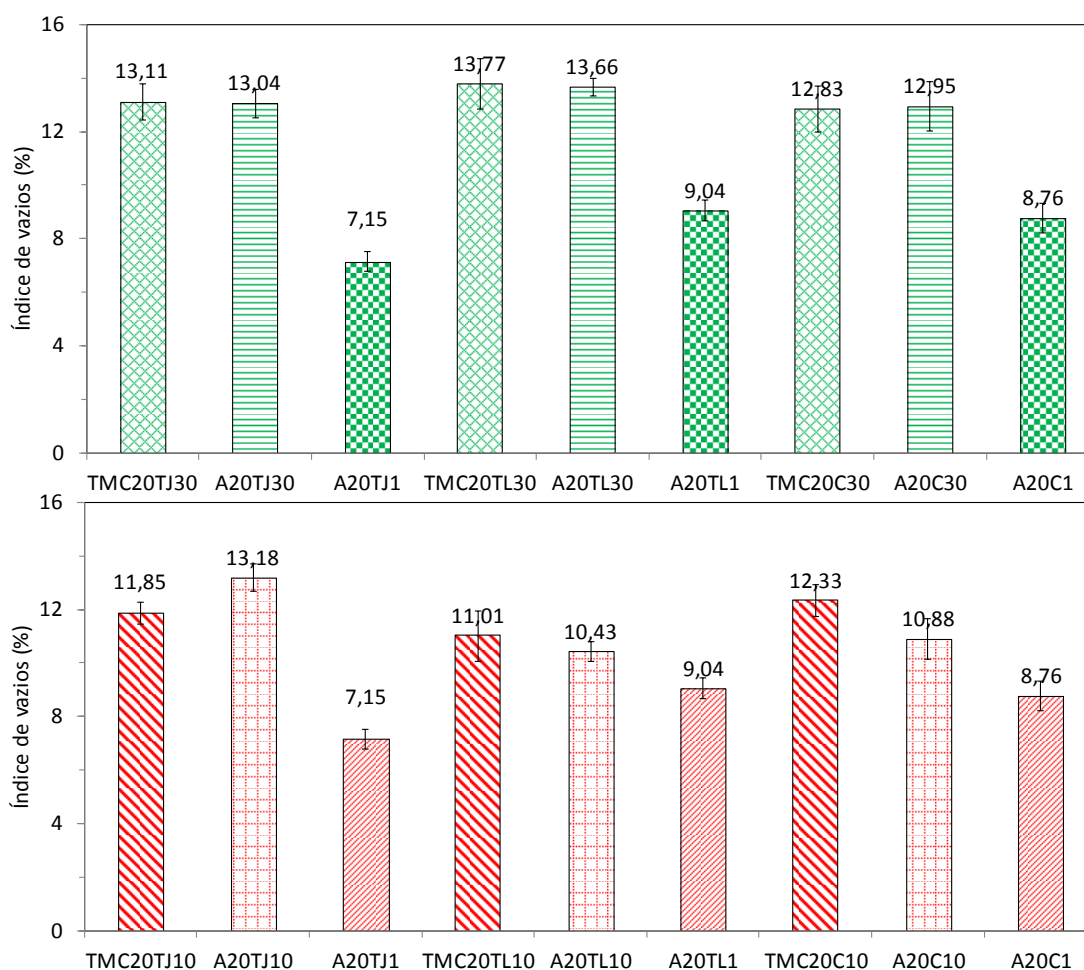


Figura 4.62 Gráficos comparativos do índice de vazios das argamassas A20 e TMC20

As massas específicas, quais são apresentadas na Figura 4.63, apresentaram aumento nas massa específica com o aumento da compacidade e da consistência, inclusive em relação as argamassas A20 com 1 μ m. Com exceção de TMC20TL10 que não apresentou alterações na massa específica em relação a A20TL1.

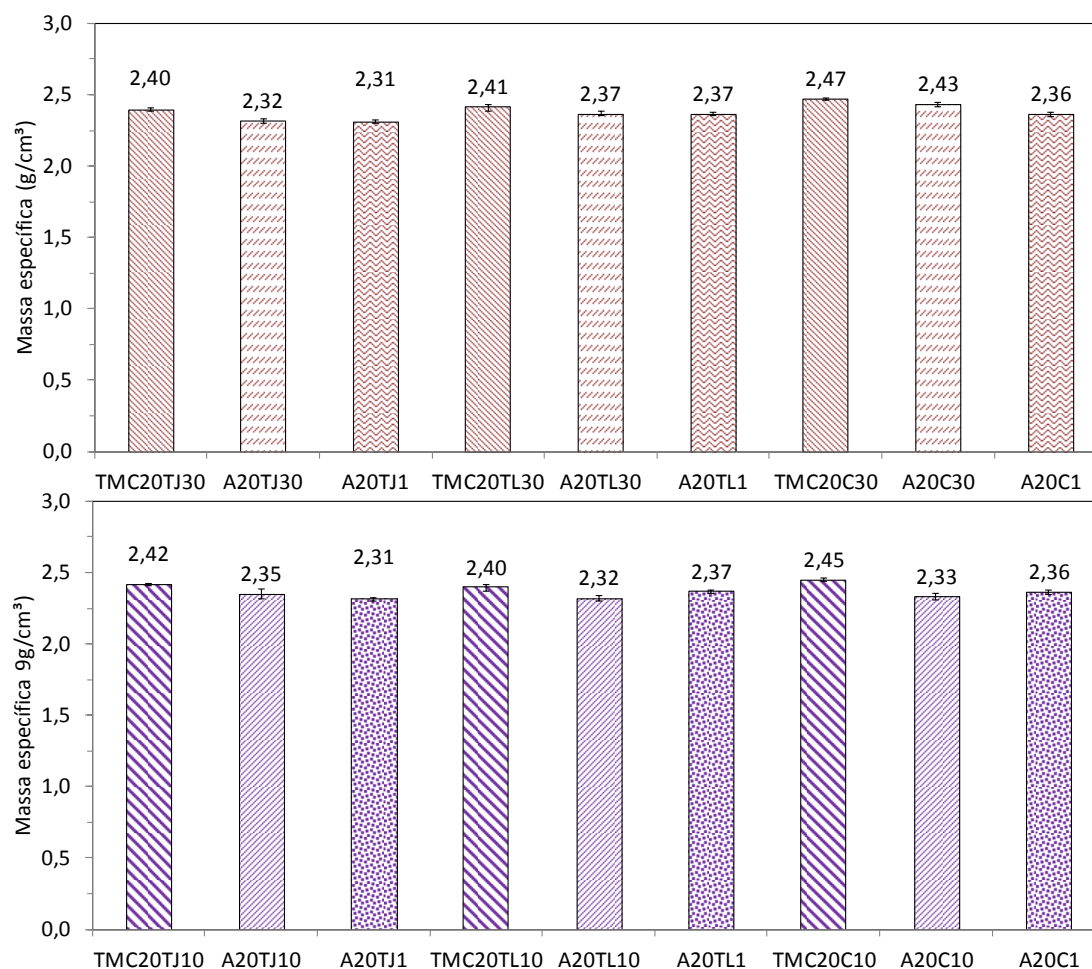


Figura 4.63 Gráficos comparativos da massa específica das argamassas A20 e TMC20

4.5.3.2 Absortividade

As curvas de absorvidade das misturas TMC20 e A20 estão representadas na Figura 4.64 comparadas entre si. A ANOVA dos dados confirmou o que se observou nos gráficos, que não houve alteração na absorvidade com o aumento da compacidade e da consistência. As TMC20 também não apresentaram diferenças significativas em relação a A20 com $1\mu\text{m}$, exceto TMC20C30 a qual apresentou aumento do tamanho de poros pequenos (estágio 2) em relação a A20C1.

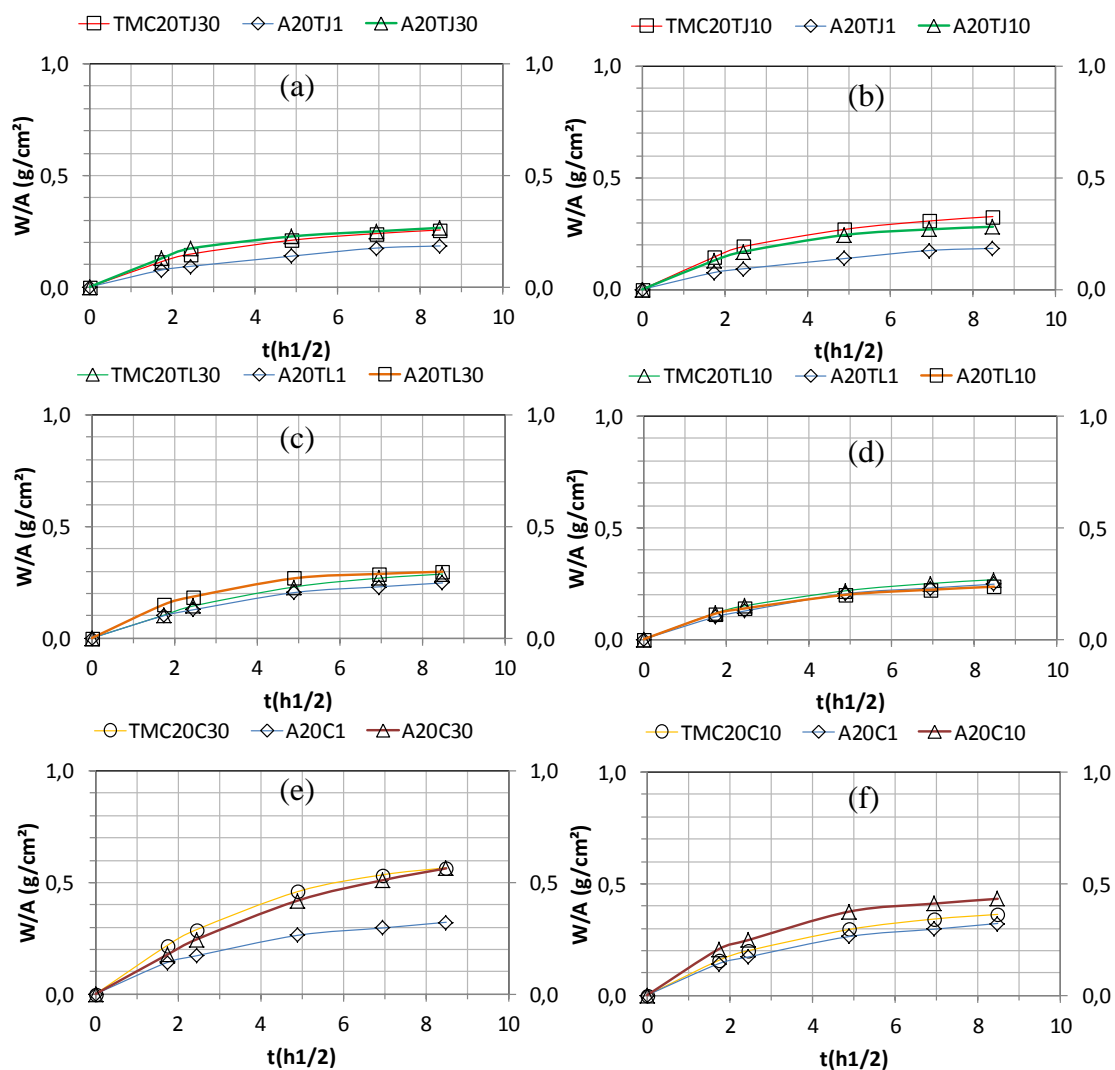


Figura 4.64 Gráficos comparativos da curva de ganho acumulativo de massa com o tempo das argamassas A20 e TMC20

4.5.4 Estrutura de poros

A análise da estrutura de poros, como dito nas seções anteriores foi somente para as argamassas TMC20TJ30 e TMC20TJ10. O aumento da compactidade e da consistência promoveu redução dos poros grandes e aumento dos poros médios e pequenos. Não alterando o volume de poros inferiores a $10\mu m$, a porosidade e o volume total de poros

introduzidos. Com exceção da porosidade da TMC20TJ10 que apresentou redução neste parâmetro em relação a A20TJ10. As argamassas TMC20 ainda apresentaram redução do dc e do dl em relação a A20. A Figura 4.65 ilustra as curvas de porosimetria e volume de poros introduzidos das argamassas com 30 μm e 10 μm do tipo ACN e TMC e da A20TJ1.

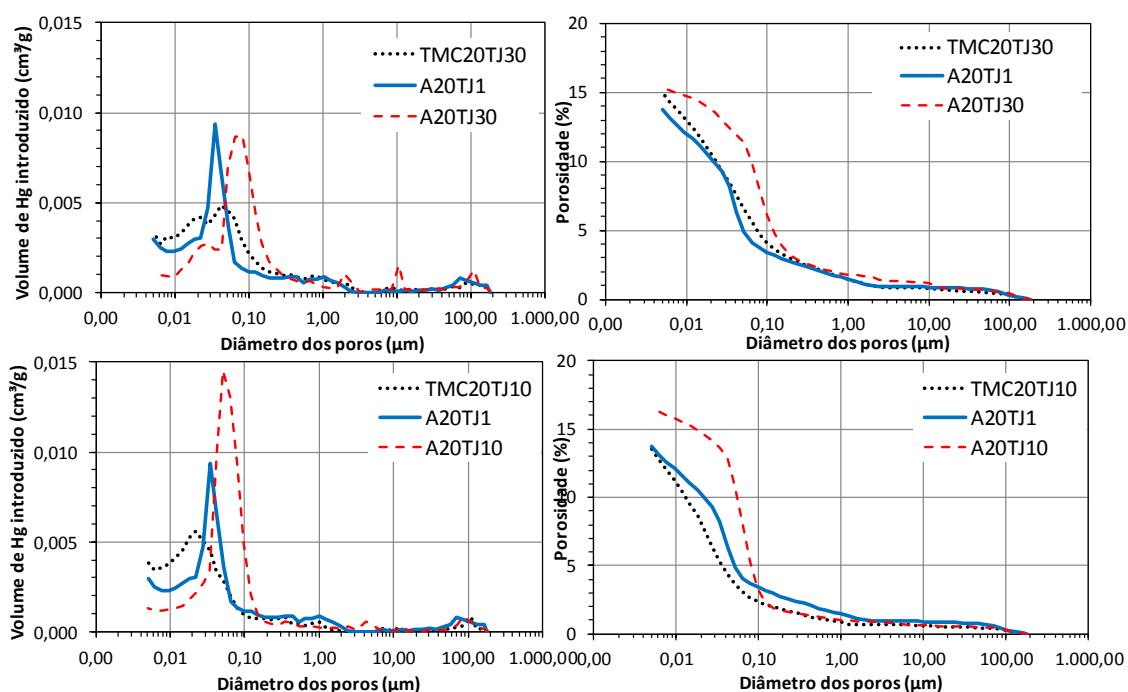


Figura 4.65 Porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas A20 e TMC20 de TJ

Em relação a A20TJ1, TMC20TJ30 apresentou alteração significativa apenas no volume de poros médios e TMC20TJ10 somente no volume de poros pequenos, tendo ambas apresentado redução nos respectivos parâmetros. As argamassas TMC20TJ30 e TMC20TJ10 ainda apresentaram menor dl que A20TJ1.

4.5.5 Conclusões sobre o estudo comparativo entre as Misturas A20 e TMC20.

- O aumento da compactidade e da consistência promoveram aumento na resistência à compressão e no módulo de elasticidade, sem alterações na deformação de pico e na resistência à tração por compressão diametral.
- Quanto as propriedades físicas, o aumento da compactidade e da consistência apenas aumentou a massa específica, não alterando a absorção, o índice de vazios e absorvidade.
- Quanto a estrutura de poros o aumento da compactidade e da consistência promoveu refinamento da estrutura sem alteração na porosidade, no volume total de poros, no d_c e no d_l .
- O aumento da compactidade e da consistência, mesmo com as melhorias das propriedades das argamassas ACN com 30 μm e 10 μm , não foram suficientes para alcançar o desempenho das argamassas A20 com 1 μm .

CAPÍTULO 5- CONCLUSÃO

O estudo permitiu as seguintes conclusões:

- A moagem de alta energia de 1 μm para o tijolo, a telha e a cerâmica, com mesma distribuição de tamanho e duração de moagem, permite que esses materiais sejam moídos juntos. A moagem ainda aumentou 5 vezes a área de superfície específica, amorfizando as fases cristalinas como se comprovou por DRX. Tendo ainda todos os materiais elevada atividade pozolânica, com velocidade de reação diferente, de acordo com tipo de material e tamanho de partícula.
- A redução do tamanho de partícula e aumento do teor reduziram a trabalhabilidade das argamassas do tipo ACN. Apenas C10 não afetou a trabalhabilidade das argamassas nos dois teores de substituição. Porém reduziram as diferenças entre as propriedades das argamassas com tijolo, telha e cerâmica ainda promoveram aumento nas propriedades mecânicas e redução do ingresso de substâncias que possam deteriorar o concreto. Tal desempenho pode ser atribuído ao maior empacotamento dessas misturas e a reatividade das partículas nesse tamanho. Sendo o desempenho dessas argamassas superior ao desempenho das argamassas contendo partículas nos tamanhos de 30 μm e 10 μm .
- A substituição parcial do cimento por tijolo, telha e cerâmica nos tamanhos de 30 μm e 10 μm em uma argamassa de maior compactidade e consistência (argamassa tipo TMC) não apresentou diferença entre as propriedades mecânicas em cada tamanho. A redução do tamanho para 10 μm promoveu aumento na rigidez das argamassas sem alterações na absorção total. Quanto a absorvidade houve apenas alteração com redução no volume de poros pequenos em relação a TMC não apresentando diferenças entre os tamanhos de partículas. Quanto a estrutura de poros houve refinamento da estrutura de poros.
- Em relação às argamassas do tipo ACN o aumento da compactidade e da consistência promoveram aumento na rigidez das argamassas, aumento na massa específicas, sem alteração na absorção, o índice de vazios e absorvidade. Quanto a estrutura de poros o aumento da compactidade e da consistência promoveu refinamento da estrutura sem alteração na porosidade, no volume total de poros, no d_c e no d_l . O aumento da

compacidade e da consistência, mesmo não superando o desempenho das argamassas A20 com 1 μm , elevou o desempenho mecânico e das argamassas com 30 μm e 10 μm no teor de 20% sem diferenças entre os materiais, exceto C10 que ainda manteve a diferença entre TJ10 e TL10 observada nas ACN no mesmo teor. Tais resultados indicam que o uso desses materiais em concretos de alto desempenho apresentem desempenho satisfatório.

SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

A partir do estudo realizado, sugere-se para pesquisas futuras:

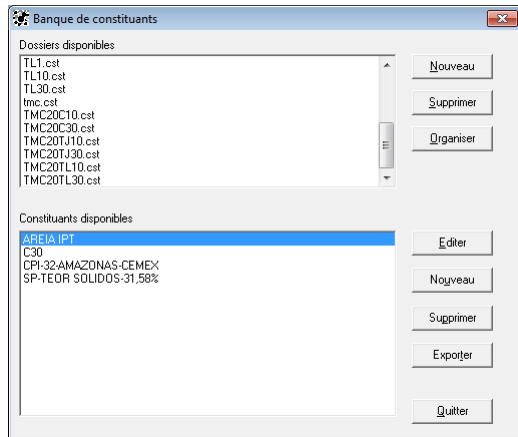
- Identificação dos elementos que amorfizaram devido a moagem utilizando técnicas como de ressonância magnética nuclear, infravermelho, MEV.
- Estudo da distribuição de poros de argamassas com os resíduos produzidos neste trabalho utilizando técnicas auxiliares como ressonância magnética nuclear e tomografia.
- Avaliar o uso de resíduo de argamassas nas mesmas condições do presente estudo como adição em argamassas.
- Estudar o uso de como adição mineral de mistura dos resíduos cerâmico e de argamassas em argamassas nas mesmas condições deste estudo.
- Sugere-se ainda um estudo da hidratação de pastas com substituição parcial do cimento por resíduos nas mesmas condições de produção de partículas e dosagem.
- Baseando-se nos conhecimentos adquiridos com as pesquisas sugeridas anteriormente, avaliar o uso desses resíduos como pozolanas em concretos de alto desempenho com 100% de agregados reciclados de RCD e com blendas de pozolanas como sílica, metacaulinita e cinza volante.
- Estudar a utilização desses resíduos em concretos com fibras sintéticas e naturais.



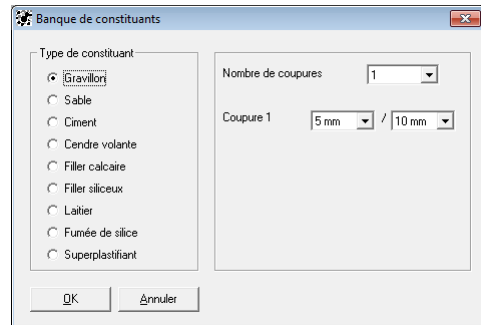
ANEXOS

ANEXO A – Procedimento de utilização do BetonLabPro 3[®]

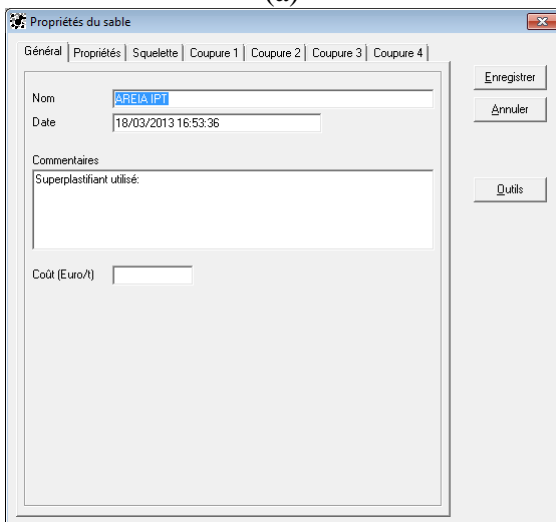
Neste anexo são apresentados os passos para criação dos bancos de dados dos constituintes, de calibração das argamassas e simulação das dosagens das argamassas tipo ACN e TMC. As simulações da ACN foram realizadas para obtenção da compactidade granular seca das misturas com adições, incluído a CTRL. A partir dos dados alimentados no programa foi obtida a dosagem da TMC com a qual foram confeccionadas as demais argamassas com 20% de substituição do cimento pelas adições de 30 μm e 10 μm . Na Figura A. 1 estão as sequências de telas para a criação do banco de dados dos constituintes.



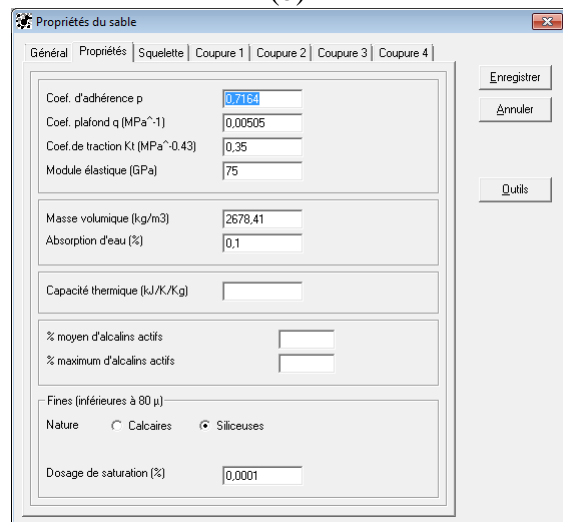
(a)



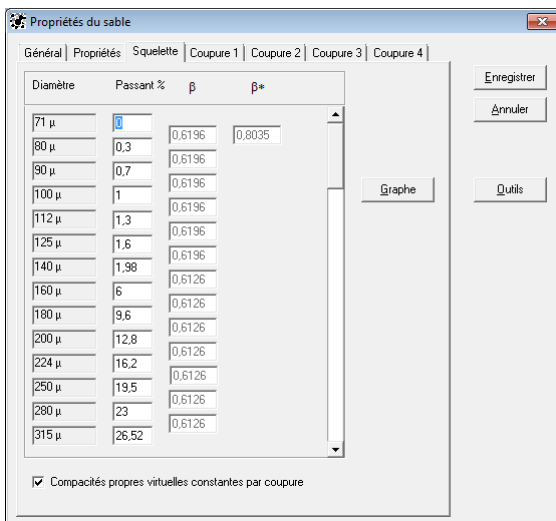
(b)



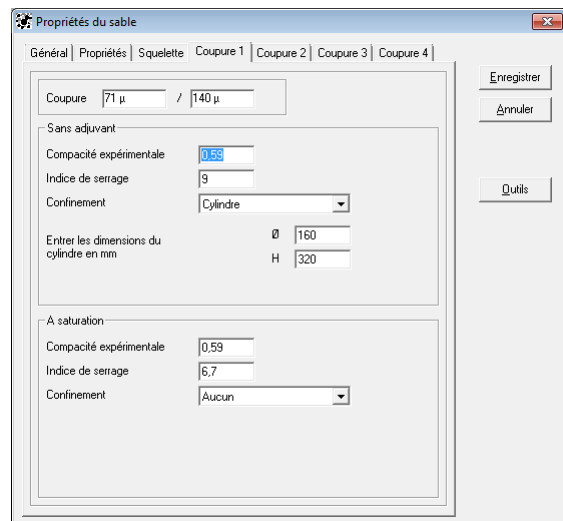
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura A. 1 Sequência de Telas do BetonlabPro 3[®] para o cadastro da areia

Na Figura A. 1 (a) a tela refere-se a criação do arquivo da misturas com os componentes. A Figura A. 1 (b) mostra a tela onde é definido o tipo de componente, no caso agregado, e a faixa de tamanho dos grãos. Em seguida são descritas informações gerais e o nome de cadastro do componente, no caso areia (Figura A. 1 (c)). As propriedades dos componentes e a distribuição granulométrica são inseridas nas telas apresentadas na Figura A. 1 (d) e (e). A Figura A. 1 (f) mostra a tela de inserção da compacidade da areia a qual foi dividida em 4 classes, para cada classe foi criada uma guia de compacidade. A Figura A. 2 apresenta a mesma sequência de telas para cadastro do cimento.

Propriétés du ciment

Général | Composition | Propriétés | Squelette | Coupure 1

Nom:

Date:

Commentaires:
Superplastifiant utilisé: GLENIUM51

Coût (Euro/t):

Enregistrer
Annuler
Outils

(a)

Propriétés du ciment

Général | Composition | Propriétés | Squelette | Coupure 1

Constituants:

% Clinker (K):

% Cendre volante (V):

% Filler calcaire (L):

% Pouzzolane naturelle (Z):

% Laitier (S):

% Fumée de silice (D):

% Divers:

Composition de Bogue:

% C3S:

% C2S:

% C3A:

% C4AF:

% Divers:

% moyen d'alcalins actifs:

% maximum d'alcalins actifs:

Enregistrer
Annuler
Outils

(b)

Propriétés du ciment

Général | Composition | Propriétés | Squelette | Coupure 1

Classe vraie à 1 jour:

Classe vraie à 2 jours:

Classe vraie à 3 jours:

Classe vraie à 7 jours:

Classe vraie à 28 jours:

Classe vraie à 90 jours:

Classe vraie à 360 jours:

Masse volumique (kg/m³):

Capacité thermique (kJ/K/Kg):

Dosage de saturation (%):

Retrait endogène:

K_c (MPa):

Enregistrer
Annuler
Outils

(c)

Propriétés du ciment

Général | Composition | Propriétés | Squelette | Coupure 1

Diamètre	Passant %	β	β^*
0,224 μ	<input type="text" value="0"/>	0,4473	0,5069
0,25 μ	0,04	0,4473	0,5069
0,28 μ	0,13	0,4473	0,5069
0,315 μ	0,27	0,4473	0,5069
0,355 μ	0,47	0,4473	0,5069
0,4 μ	0,71	0,4473	0,5069
0,45 μ	1,02	0,4473	0,5069
0,5 μ	1,37	0,4473	0,5069
0,56 μ	1,78	0,4473	0,5069
0,63 μ	2,23	0,4473	0,5069
0,71 μ	2,73	0,4473	0,5069
0,8 μ	3,27	0,4473	0,5069
0,9 μ	3,85	0,4473	0,5069
1 μ	4,46	0,4473	0,5069

Compacités propres virtuelles constantes par coupure

Graphique
Outils

Enregistrer
Annuler

(d)

Propriétés du ciment

Général | Composition | Propriétés | Squelette | Coupure 1

Coupure: /

Sans adjuvant:

Capacité expérimentale:

Indice de serrage:

Confinement:

A saturation:

Capacité expérimentale:

Indice de serrage:

Confinement:

Enregistrer
Annuler
Outils

(e)

Figura A. 2 Sequência de Telas do BetonlabPro 3[®] para o cadastro do cimento

Na Figura A. 3 estão as telas de cadastro do aditivo mineral, a sequência de cadastro foi a mesma para os 9 tipos de aditivos produzidos neste trabalho. A Figura A. 4 apresenta a tela de cadastro do superplastificante.

(a)

(b)

Diamètre	Passant %	β	β^*
0.315 μ	0	0.3421	0.3421
0.355 μ	0.01	0.3421	0.3421
0.4 μ	0.11	0.3421	0.3421
0.45 μ	0.2	0.3421	0.3421
0.5 μ	0.29	0.3421	0.3421
0.56 μ	0.55	0.3421	0.3421
0.63 μ	0.91	0.3421	0.3421
0.71 μ	1.4	0.3421	0.3421
0.8 μ	2.02	0.3421	0.3421
0.9 μ	2.79	0.3421	0.3421
1 μ	3.74	0.3421	0.3421
1.12 μ	4.3	0.3421	0.3421
1.25 μ	4.88	0.3421	0.3421
1.4 μ	6.21	0.3421	0.3421

(c)

(d)

Figura A. 3 Sequência de telas do BetonlabPro 3[®] para o cadastro dos aditivos minerais

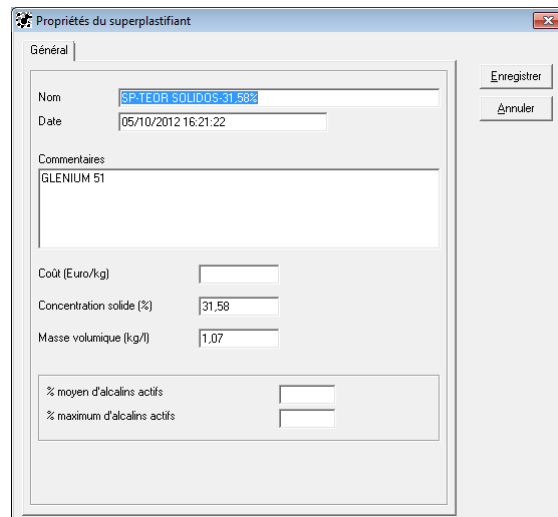


Figura A. 4 Tela do BetonlabPro 3[®] para o cadastro do superplastificante

Após cadastro dos constituintes, procede-se com as calibrações. Devido ao uso de adições, é necessário a calibração do parâmetro Kp , a qual deve ser realizada antes da calibração dos parâmetros p e q . Na Figura A. 5 (a) é feita a seleção dos componentes da argamassa de calibração. Em seguida surge uma janela onde é escolhida a idade a ser calibrada (Figura A. 5 (b)). Na tela apresentada na Figura A. 5 (c) são inseridos os dados de consumo do traço das duas argamassas de calibração com o aditivo e a resistência na idade escolhida. Tal procedimento é realizado para cada idade de cada aditivo mineral.

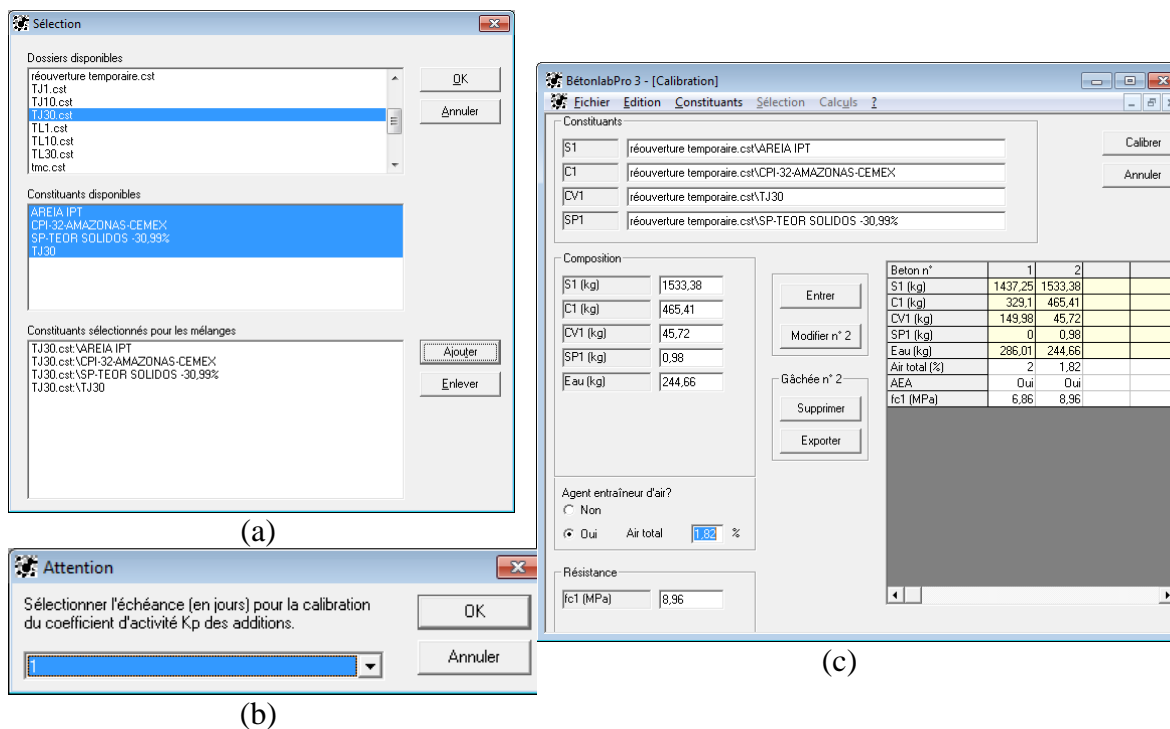
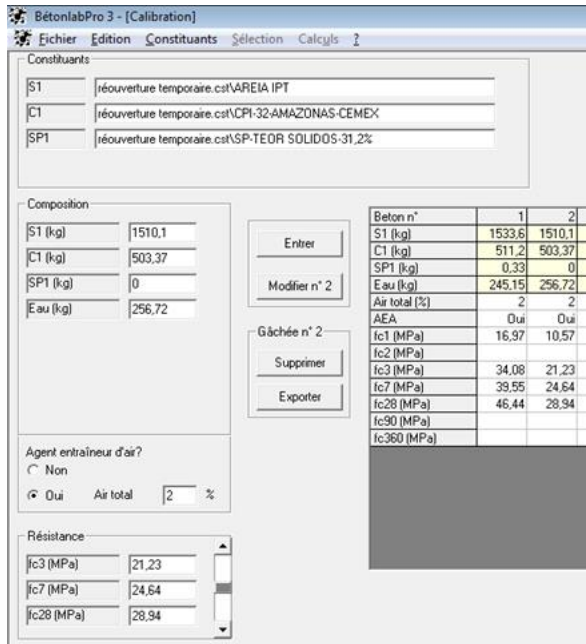
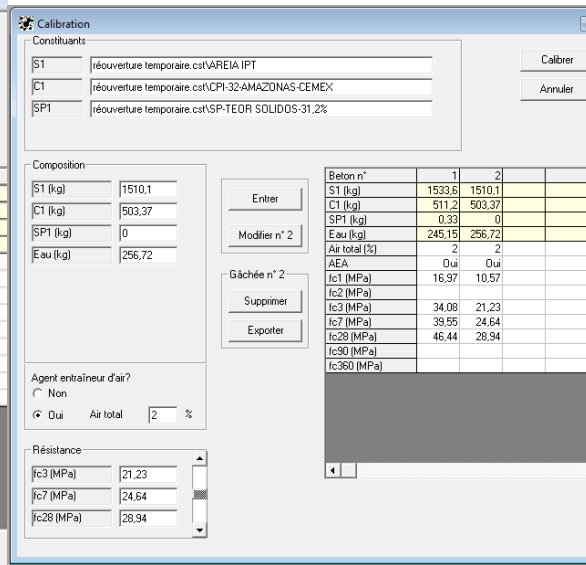


Figura A. 5 Sequência de telas do BétonlabPro 3[®] para calibração do K_p

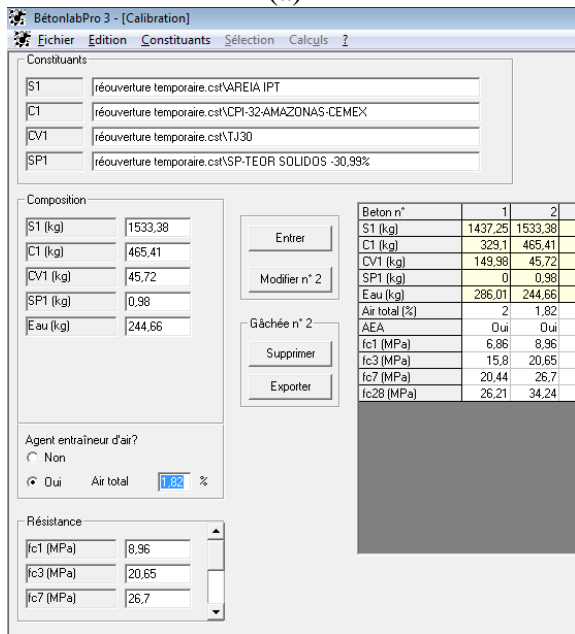
As telas apresentadas na Figura A. 6 são referentes a calibração dos parâmetros p e q da argamassa CTRL (Figura A. 6 (a) e (b)) e das argamassas com aditivo mineral (Figura A. 6 (c) e (d)). A calibração desses parâmetros foi realizada para cada tipo de aditivo mineral.



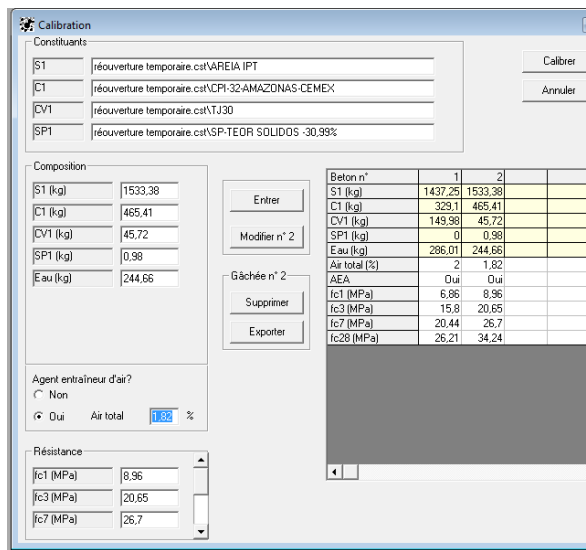
(a)



(b)



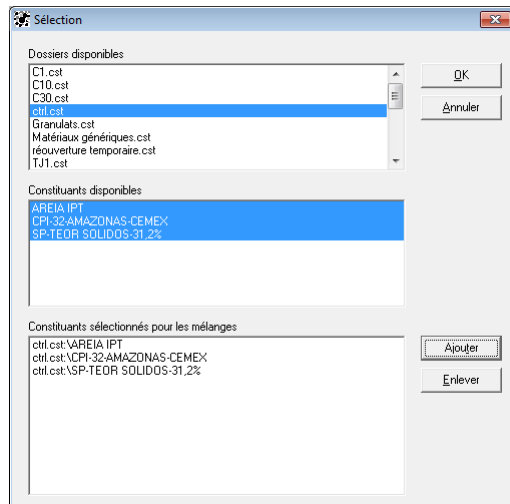
(c)



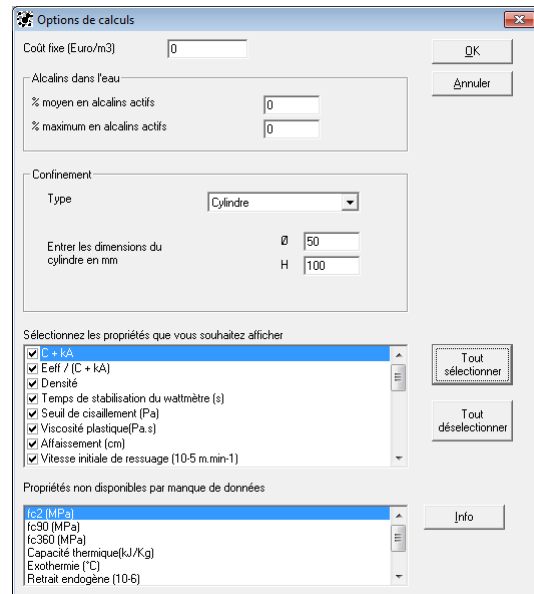
(d)

Figura A. 6 Sequência de telas do betonlabPro 3[®] de calibração do p e q (a) e (b) da argamassa CTRL, (c) e (d) das argamassas com aditivo mineral

Após cadastro dos constituintes e das calibrações um arquivo de simulação foi criado para a argamassa CTRL e outro contendo todos os aditivos minerais. A Figura A. 7 apresenta a seqüência de telas para a simulação da dosagem das argamassas ACN.



(a)



(b)

Composition	2	6	7	8	9	10	15	16	17	18	19	20	21	22
S1 (%)	100													
C1 (kg/m3)	424,6													
CV1 (kg/m3)	0													
CV2 (kg/m3)	0													
CV3 (kg/m3)	86,6													
SP1 (%)	0,07													
Eau eff (kg/m3)	245,4													
Gâchée n°	1532,9	1442,9	1532,3	1436,8	1532,2	1431	1532,1	1435,3	1531,6	1443,2	1532,4	1434,9	1532,4	1428,7
S1 (kg/m3)	511,2	511,2	483,5	483,5	419,8	419,8	466,1	466,1	421,1	421,1	467,3	467,3	424,6	424,6
CV1 (kg/m3)	0	0	45,7	45,7	91,5	91,5	0	0	0	0	0	0	0	0
CV2 (kg/m3)	0	0	0	0	0	0	45,1	45,1	90,2	90,2	0	0	0	0
CV3 (kg/m3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43,3	43,3	86,6	86,6
SP1 (kg/m3)	0,33	0,33	0,9	0,9	1,35	1,35	1,2	1,2	2,29	2,29	0,9	0,9	0,95	0,95
Eau (kg/m3)	245,7	245,6	245,3	245,2	246	245,3	245,1	246	245,4	245,3	245,2	245,3	245,2	245,2
S1 (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Taux de saturation (%)	0,3	0,3	0,38	0,38	0,47	0,47	0,38	0,38	0,47	0,47	0,37	0,37	0,46	0,46
Taux de superplastifiant (%)	0,02	0,02	0,06	0,06	0,1	0,1	0,08	0,08	0,17	0,17	0,06	0,06	0,07	0,07
Eau eff	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4	245,4
Air total (%)	2	5,3	1,8	5,4	1,6	5,4	1,6	5,4	1,6	5	1,7	5,4	1,5	5,4
AEA	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Rapport G/S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eeff / (C + kA)	0,48	0,48	0,527	0,527	0,585	0,585	0,536	0,536	0,583	0,583	0,524	0,524	0,578	0,578
Densité	2,291	2,201	2,291	2,195	2,291	2,19	2,291	2,194	2,291	2,202	2,291	2,193	2,291	2,197
Temps de stabilisation du wattmètre (s)	107	93	112	97	118	103	111	96	118	105	109	94	113	97
Seuil de cisaillement (Pa)	5752	3690	4968	3101	5207	3150	4047	2525	3163	2053	4444	2769	5297	3192
Viscosité plastique (Pa.s)	221	146	239	155	275	177	227	145	245	165	220	141	246	155
Affaissement (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	4,9	0	0	0	0	0
Vitesse initiale de ressuage (10-5 m.min-1)	0,6	0,6	0,65	0,65	0,7	0,71	0,64	0,64	0,68	0,67	0,64	0,65	0,68	0,68
fct (MPa)	15,3	12,5	13,7	11,1	12,5	10	12,8	10,4	11,2	9,2	11,9	9,7	10,1	8,1
fct90 (MPa)	28,9	22,9	26	21,9	24,9	20,5	24,9	20,9	23	19,5	24,1	20,1	22	18,1
fct360 (MPa)	34,5	30	35	30,1	34,7	29,6	34	29,2	33	28,7	34,1	29,2	33,1	28
fct28 (MPa)	40,9	36,5	43,4	38,3	44,6	39,1	42,8	37,8	43,7	39	44,3	39,1	46,4	40,6
R28 (MPa)	2,9	2,7	3	2,8	3,1	2,8	3	2,8	3	2,8	3	2,8	3,1	2,9
E28 (GPa)	31,6	27,3	32,4	27,8	32,8	27,9	32,2	27,6	32,5	28,2	32,7	28	33,3	28,4
Retrait total (10-6)	750	962	757	978	772	1003	758	984	773	975	755	978	767	1000
Fluage prose (10-6/MPa)	40	57	33	47	28	41	33	49	29	40	32	46	26	39
Fluage total (10-6/MPa)	77	111	64	94	65	83	66	97	58	82	63	93	53	80
Indice de ségrégation (confiné)	0,929	0,929	0,927	0,927	0,923	0,923	0,925	0,925	0,921	0,921	0,928	0,928	0,924	0,924
Indice de serrage du béton non confiné	7,175	6,64	7,287	6,716	7,499	6,888	7,212	6,639	7,33	6,789	7,169	6,595	7,33	6,717
Indice de serrage du béton confiné	7,398	6,824	7,51	6,899	7,725	7,071	7,435	6,82	7,593	6,973	7,389	6,775	7,552	6,895
Contribution des fines K1	2,213	2,191	2,318	2,294	2,495	2,465	2,226	2,237	2,364	2,237	2,239	2,216	2,384	2,357
Contribution des gros gravillons K'gg	1,445	1,334	1,442	1,323	1,441	1,315	1,439	1,319	1,435	1,324	1,436	1,316	1,432	1,304
Compacité du squelette non confiné Ø*	0,7759	0,7774	0,7744	0,7757	0,7713	0,7722	0,7758	0,7773	0,7743	0,7754	0,7767	0,7783	0,7746	0,7758
Compacité des granulats g*	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395	0,6395

(c)

Figura A. 7 Telas do Betonlabpro 3® para a simulação da dosagem e das propriedades calculada pelo MEC

Para cálculo do traço de maior compacidade, e feita a otimização a partir do traço da CTRL (Figura A. 8).

The screenshot shows the BétonlabPro 3 software interface. The left panel contains input fields for composition and environment. The right panel displays a table of calculated properties.

Composition Inputs:

- S1 (%): 70,3
- S2 (%): 0
- S3 (%): 0,26
- S4 (%): 29,44
- C1 (kg/m3): 511,2
- SP1 (%): 0
- Eau eff (kg/m3): 245,4

Environment and Other Inputs:

- Agent entraîneur d'air? Oui Air total: 1 %
- Environnement: X0
- Coût fixe: 0
- % moyen en alcalins actifs dans l'eau: 0
- % maximum en alcalins actifs dans l'eau: 0
- Confinement: Cylindre (mm) Ø: 50, H: 100

Calculated Properties Table:

Gâchée n°	2
S1 (kg/m3)	383,2
S2 (kg/m3)	383,1
S3 (kg/m3)	383,2
S4 (kg/m3)	383
C1 (kg/m3)	511,2
SP1 (kg/m3)	0,33
Eau (kg/m3)	246,7
S1 (%)	24,97
S2 (%)	25,07
S3 (%)	25,08
S4 (%)	24,88
Taux de saturation (%)	0,3
Taux de superplastifiant (%)	0,02
Eau eff	245,4
Air total (%)	2
AEA	Oui
Rapport G/S	0
Eeff/C	0,48
Environnement	X0
C + kA	511
Eeff / (C + kA)	0,48
Densité	2,291
Temps de stabilisation du wattmètre (s)	124
Seuil de cisaillement (Pa)	10931
Viscosité plastique (Pa.s)	366
Affaïsement (cm)	0
Vitesse initiale de ressuage (10-5 m.min-1)	0,6
fc1 (MPa)	15,3
fc2 (MPa)	22,6
fc3 (MPa)	26,9
fc7 (MPa)	34,5
fc28 (MPa)	40,9
fc90 (MPa)	46,3
fc360 (MPa)	52,8
ft28 (MPa)	2,9
EI28 (GPa)	32,3
Retrait total (10-6)	675
Fluage propre (10-6/MPa)	35
Fluage total (10-6/MPa)	67
Indice de ségrégation (confiné)	0,935
Indice de serrage du béton non confiné	7,924

Figura A. 8 Simulação do traço CTRL e calculo das propriedades de acordo com o MEC

A Figura A. 9 mostra a tela de otimização onde é escolhida a opção de máxima compacidade granular seca.

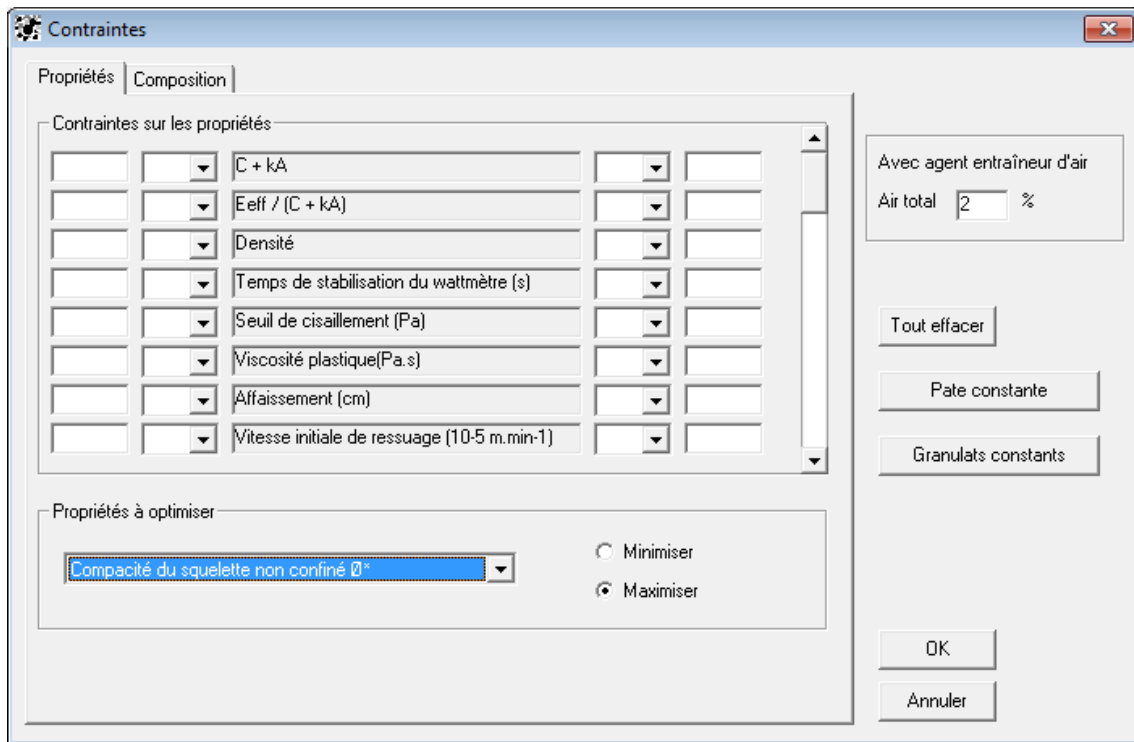


Figura A. 9 Tela de otimização para máxima compacidade granular seca da CTRL

Após cálculo o programa fornece a dosagem da argamassas CTRL com máxima compacidade (MC) (Figura A. 10). A partir do traço da MC é realizada nova otimização para máxima compacidade granular seca, fixando o consumo de cimento, a quantidade de água efetiva e a relação a/c, conforme demonstra a Figura A. 11.

BétonlabPro 3 - [TMC.bt]

Fichier Edition Constituants Sélection Modifications ?

Composition

S1 (%) 71,18

S2 (%) 0

S3 (%) 3,53

S4 (%) 25,3

C1 (kg/m3) 624,1

SP1 (%) 0,3

Eau eff (kg/m3) 248,5

Agent entraîneur d'air?

Non

Oui Air total 5,6 %

Environnement $\times 0$

Coût fixe 0

% moyen en alcalins actifs dans l'eau 0

% maximum en alcalins actifs dans l'eau 0

Confinement: Cylindre (mm)

\varnothing 50

H 100

Gâchée n° 2 3

S1 (kg/m3)	383,2	947,1
S2 (kg/m3)	383,1	0
S3 (kg/m3)	383,2	46,7
S4 (kg/m3)	383	337,7
C1 (kg/m3)	511,2	624,1
SP1 (kg/m3)	0,33	6
Eau (kg/m3)	246,7	245,7
S1 (%)	24,97	71,18
S2 (%)	25,07	0
S3 (%)	25,08	3,53
S4 (%)	24,88	25,3
Taux de saturation (%)	0,3	0,3
Taux de superplastifiant (%)	0,02	0,3
Eau eff	245,4	248,5
Air total (%)	2	5,6
AEA	Oui	Oui
Rapport G/S	0	0
Eeff/C	0,48	0,398
Environnement	$\times 0$	$\times 0$
C + kA	511	624
Eeff / (C + kA)	0,48	0,398
Densité	2,291	2,207
Temps de stabilisation du wattmètre (s)	124	48
Seuil de cisaillement (Pa)	10931	562
Viscosité plastique (Pa.s)	366	20
Affaissement (cm)	0	23,2
Vitesse initiale de ressuage (10-5 m.min-1)	0,6	0,35
fc1 (MPa)	15,3	20,7
fc2 (MPa)	22,6	29,3
fc3 (MPa)	26,9	34
fc7 (MPa)	34,5	41,7
fc28 (MPa)	40,9	47,8
fc90 (MPa)	46,3	53
fc360 (MPa)	52,8	59,1
ft28 (MPa)	2,9	3,2
Ei28 (GPa)	32,3	28,3
Retrait total [10-6]	675	1126
Fluage propre (10-6/MPa)	35	57
Fluage total [10-6/MPa]	67	112
Indice de ségrégation (confiné)	0,935	0,973
Indice de serrage du béton non confiné	7,924	5,42

Gâcher

Optimiser

Granularité

Remplissage

Figura A. 10 Cálculo do traço MC e da propriedades de acordo com o MEC

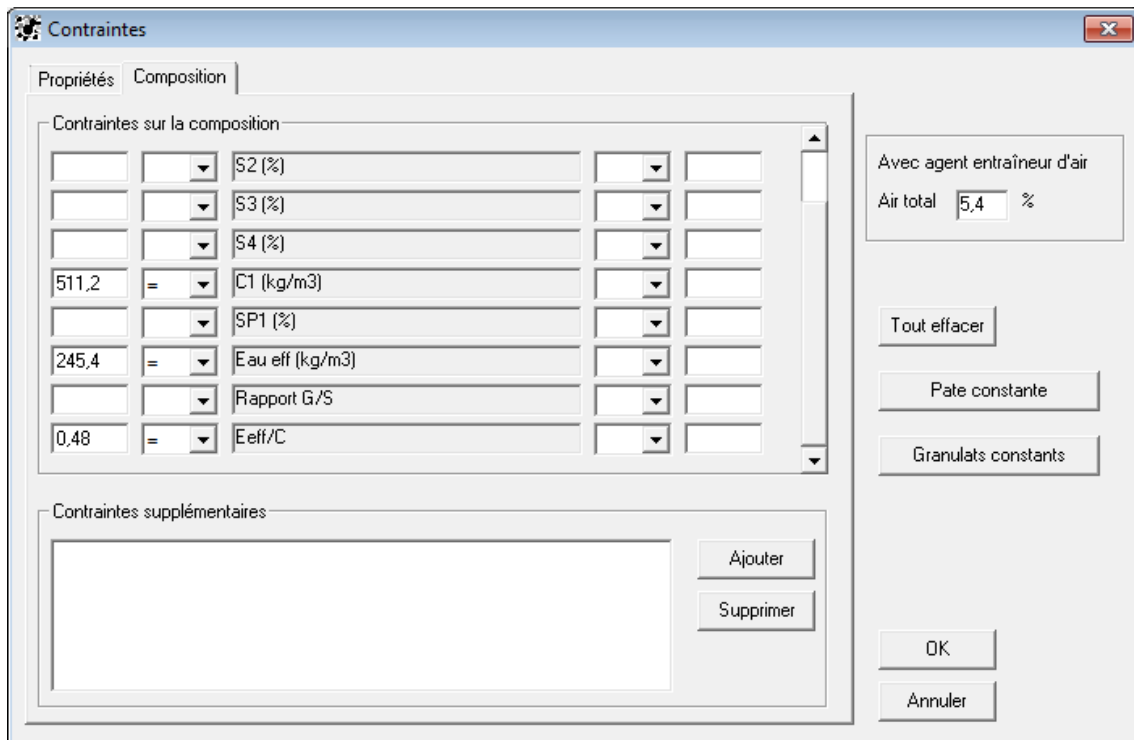


Figura A. 11 Tela de otimização para máxima compactidade fixando parâmetros de dosagem

Após cálculo o programa fornece o traço resultante da otimização e os valores das propriedades de resistência a compressão (nas idades inseridas na calibração), a tração, módulo de elasticidade, retração, fluência, índice de segregação e a compactidade.

BétonlabPro 3 - [TMC.bt]

Fichier Edition Constituants Sélection Modifications ?

Composition

S1 (%) 71,18

S2 (%) 0

S3 (%) 3,53

S4 (%) 25,3

C1 (kg/m3) 624,1

SP1 (%) 0,3

Eau eff (kg/m3) 248,5

Agent entraîneur d'air?

Non

Oui Air total 5,6 %

Environnement $\times 0$

Coût fixe 0

% moyen en alcalins actifs dans l'eau 0

% maximum en alcalins actifs dans l'eau 0

Confinement: Cylindre (mm)

\emptyset 50

H 100

Gâchée n° 2 3 7

S1 (kg/m3)	383,2	947,1	1011,6
S2 (kg/m3)	383,1	0	0
S3 (kg/m3)	383,2	46,7	3,7
S4 (kg/m3)	383	337,7	424,9
C1 (kg/m3)	511,2	624,1	511,2
SP1 (kg/m3)	0,33	6	4,94
Eau (kg/m3)	246,7	245,7	243,4
Taux de superplastifiant (%)	0,02	0,3	0,3
Eau eff	245,4	248,5	245,4
Air total (%)	2	5,6	5,5
AEA	Oui	Oui	Oui
Rapport G/S	0	0	0
Eeff/C	0,48	0,398	0,48
Environnement	X0	X0	X0
C + kA	511	624	511
Eeff / (C + kA)	0,48	0,398	0,48
Densité	2,291	2,207	2,2
Temps de stabilisation du wattmètre (s)	124	48	64
Seuil de cisaillement (Pa)	10931	562	722
Viscosité plastique (Pa.s)	366	20	31
Affaissement (cm)	0	23,2	21,2
Vitesse initiale de ressuage (10-5 m.min-1)	0,6	0,35	0,63
fc1 (MPa)	15,3	20,7	12,1
fc2 (MPa)	22,6	29,3	18,4
fc3 (MPa)	26,9	34	22,3
fc7 (MPa)	34,5	41,7	29,3
fc28 (MPa)	40,9	47,8	35,6
fc90 (MPa)	46,3	53	40,9
fc360 (MPa)	52,8	59,1	47,2
ft28 (MPa)	2,9	3,2	2,7
Ei28 (GPa)	32,3	28,3	26,6
Retrait total (10-6)	675	1126	1004
Fluage propre (10-6/MPa)	35	57	60
Fluage total (10-6/MPa)	67	112	119
Indice de ségrégation (confiné)	0,935	0,973	0,977
Indice de serrage du béton non confiné	7,924	5,42	5,752
Indice de serrage du béton confiné	8,199	5,588	5,982
Contribution des fines Kf	2,205	2,161	1,715
Contribution des gros gravillons K'gg	1,594	1,906	2,308
Compacité du squelette non confiné \emptyset^*	0,7632	0,8066	0,8014
Compacité des granulats g^*	0,6783	0,6978	0,7033

Gâcher

Optimiser

Granularité

Remplissage

Figura A. 12 Calculo do traço TMC após otimização e as propriedades de acordo com o MEC



APÊNDICES

APÊNDICE A – ANOVA das ACNs

Neste apêndice estão os dados obtidos do Matlab para a ANOVA das propriedades das argamassas tipo ACN. Foi utilizada uma simbologia para os fatores material, teor e tamanho de partícula. Mat é a abreviação de material, Dp significa tamanho de partícula e Teor. Para a identificação dos materiais foram usados os números 1, 2 e 3 para o TJ, TL e C respectivamente. Para os teores de 10% adotou-se o número 10 e para o teor de 20% o número 20. Enquanto aos tamanhos de partículas (Dp) utilizou-se 1 para 1µm, 10 para 10 µm e 30 para 30 µm. Foram realizadas duas tabelas ANOVA, a primeira com todos os dados da variável em questão. E a segunda a ANOVA foi feita por teor de substituição. Cada ANOVA é seguida de teste Tukey entre os materiais para os fatores material e tamanho de partícula.

1) ANOVA de Rc1 para todos os fatores

General Linear Model: Rc1 versus Mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	68,783	41,326	20,663	100,95	0,000
Teor	1	58,006	71,123	71,123	347,47	0,000
Dp	2	6,883	11,869	5,934	28,99	0,000
Mat*Teor	2	28,145	27,452	13,726	67,06	0,000
Mat*Dp	4	71,775	45,251	11,313	55,27	0,000
Teor*Dp	2	8,952	14,310	7,155	34,95	0,000
Mat*Teor*Dp	4	55,836	55,836	13,959	68,20	0,000
Error	46	9,416	9,416	0,205		
Total	63	307,796				

S = 0,452423 R-Sq = 96,94% R-Sq(adj) = 95,81%

Unusual Observations for Rc1

Obs	Rc1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	7,8992	8,8448	0,2262	-0,9456	-2,41 R
9	7,9910	8,9569	0,2262	-0,9658	-2,47 R
12	9,9356	8,9569	0,2262	0,9787	2,50 R
17	8,5235	9,3645	0,2612	-0,8410	-2,28 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Rc1 para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Rc 1d versus Material; Dp (Teor = 10%)

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 1d, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	83,453	78,471	39,235	131,14	0,000

Dp	2	0,382	0,075	0,038	0,13	0,882
Material*Dp	4	110,897	110,897	27,724	92,66	0,000
Error	26	7,779	7,779	0,299		
Total	34	202,511				

S = 0,546982 R-Sq = 96,16% R-Sq(adj) = 94,98%

Unusual Observations for Rc 1d

Obs	Rc 1d	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	7,9910	8,9569	0,2735	-0,9658	-2,04 R
12	9,9356	8,9569	0,2735	0,9787	2,07 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 1d

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	1,919	0,3868	4,961	0,0011
1	30	2,031	0,3868	5,251	0,0005
2	1	-1,206	0,3868	-3,118	0,0869
2	10	2,438	0,4178	5,837	0,0001
2	30	1,135	0,3868	2,934	0,1261
3	1	7,701	0,3868	19,910	0,0000
3	10	1,854	0,3868	4,793	0,0016
3	30	3,027	0,3868	7,827	0,0000

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,112	0,3868	0,290	1,0000
2	1	-3,125	0,3868	-8,079	0,0000
2	10	0,520	0,4178	1,244	0,9385
2	30	-0,784	0,3868	-2,027	0,5399
3	1	5,782	0,3868	14,949	0,0000
3	10	-0,065	0,3868	-0,168	1,0000
3	30	1,109	0,3868	2,866	0,1439

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-3,237	0,3868	-8,368	0,0000
2	10	0,408	0,4178	0,976	0,9850
2	30	-0,896	0,3868	-2,316	0,3686
3	1	5,670	0,3868	14,660	0,0000
3	10	-0,177	0,3868	-0,458	0,9999
3	30	0,997	0,3868	2,577	0,2437

Material = 2

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	3,644	0,4178	8,723	0,0000
2	30	2,341	0,3868	6,052	0,0001
3	1	8,907	0,3868	23,028	0,0000
3	10	3,060	0,3868	7,910	0,0000
3	30	4,233	0,3868	10,945	0,0000

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-1,303	0,4178	-3,120	0,0865
3	1	5,262	0,4178	12,597	0,0000

```

3      10      -0,585      0,4178      -1,400      0,8880
3      30       0,589      0,4178       1,410      0,8840
Material = 2
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
3      1      6,5659      0,3868      16,976      0,0000
3      10     0,7188      0,3868       1,858      0,6457
3      30     1,8925      0,3868       4,893      0,0013
Material = 3
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
3      10     -5,847      0,3868     -15,12      0,0000
3      30     -4,673      0,3868     -12,08      0,0000
Material = 3
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
3      30     1,174      0,3868       3,035      0,1031

```

**b)ANOVA de Rc1 para os fatores Material e Dp das ACN20
General Linear Model: Rc 1d versus Material; Dp (Teor=20%)**

```

Factor   Type   Levels Values
Material fixed      3  1; 2; 3
Dp       fixed      3  1; 10; 30
Analysis of Variance for Rc 1d, using Adjusted SS for Tests
Source    DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS    F    P
Material    2    3,6046    2,4014    1,2007    14,67 0,000
Dp          2    22,5136   23,0535   11,5267   140,86 0,000
Material*Dp  4    10,2398   10,2398   2,5600    31,28 0,000
Error      20    1,6366    1,6366    0,0818
Total      28   37,9946

```

S = 0,286063 R-Sq = 95,69% R-Sq(adj) = 93,97%

Unusual Observations for Rc 1d

```

Obs   Rc 1d   Fit   SE Fit   Residual   St Resid
7     6,22972  6,73800  0,14303  -0,50827   -2,05 R

```

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 1d

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

```

Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
1      10     2,5456      0,2336     10,899      0,0000
1      30     1,6734      0,2185       7,659      0,0000
2      1     1,2503      0,2185       5,723      0,0004
2      10     3,3431      0,2185     15,301      0,0000
2      30     1,2488      0,2336       5,347      0,0009
3      1     0,3896      0,2611       1,492      0,8465
3      10     2,4000      0,2336     10,275      0,0000
3      30     3,4781      0,2336     14,891      0,0000

```

Material = 1

```

Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
1      30     -0,872      0,2185     -3,992      0,0165
2      1     -1,295      0,2185     -5,929      0,0003
2      10     0,797      0,2185       3,650      0,0339
2      30     -1,297      0,2336     -5,552      0,0006
3      1     -2,156      0,2611     -8,256      0,0000

```

3	10	-0,146	0,2336	-0,624	0,9992
3	30	0,932	0,2336	3,992	0,0164

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-0,423	0,2023	-2,092	0,5047
2	10	1,670	0,2023	8,254	0,0000
2	30	-0,425	0,2185	-1,943	0,5947
3	1	-1,284	0,2477	-5,182	0,0012
3	10	0,727	0,2185	3,325	0,0658
3	30	1,805	0,2185	8,260	0,0000

Material = 2

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	2,0928	0,2023	10,346	0,0000
2	30	-0,0015	0,2185	-0,007	1,0000
3	1	-0,8607	0,2477	-3,474	0,0487
3	10	1,1497	0,2185	5,262	0,0010
3	30	2,2278	0,2185	10,197	0,0000

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-2,094	0,2185	-9,59	0,0000
3	1	-2,953	0,2477	-11,92	0,0000
3	10	-0,943	0,2185	-4,32	0,0081
3	30	0,135	0,2185	0,62	0,9993

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-0,8592	0,2611	-3,290	0,0705
3	10	1,1512	0,2336	4,929	0,0021
3	30	2,2293	0,2336	9,544	0,0000

Material = 3

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	2,010	0,2611	7,698	0,0000
3	30	3,088	0,2611	11,827	0,0000

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	1,078	0,2336	4,616	0,0042

2)ANOVA de Rc3 para os todos os fatores

General Linear Model: Rc3 versus Mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc3, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	56,231	63,018	31,509	33,65	0,000
Teor	1	84,257	88,939	88,939	94,99	0,000
Dp	2	253,398	249,159	124,580	133,06	0,000
Mat*Teor	2	8,863	12,803	6,402	6,84	0,002
Mat*Dp	4	97,397	90,169	22,542	24,08	0,000
Teor*Dp	2	7,393	9,692	4,846	5,18	0,009

Mat*Teor*Dp 4 56,675 56,675 14,169 15,13 0,000
 Error 50 46,814 46,814 0,936
 Total 67 611,028

S = 0,967618 R-Sq = 92,34% R-Sq(adj) = 89,73%

Unusual Observations for Rc3

Obs	Rc3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
29	17,9458	19,7011	0,4838	-1,7554	-2,09 R
44	14,7206	16,4338	0,4838	-1,7132	-2,04 R
68	22,9982	20,9424	0,4838	2,0558	2,45 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a)ANOVA de Rc3 para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Rc 3d versus Material; Dp (Teor = 10%)

Factor Type Levels Values

Material fixed 3 1; 2; 3

Dp fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 3d, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	41,303	59,222	29,611	39,54	0,000
Dp	2	136,670	146,545	73,273	97,84	0,000
Material*Dp	4	91,161	91,161	22,790	30,43	0,000
Error	25	18,722	18,722	0,749		
Total	33	287,856				

S = 0,865375 R-Sq = 93,50% R-Sq(adj) = 91,41%

Unusual Observations for Rc 3d

Obs	Rc 3d	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
17	17,9458	19,7011	0,4327	-1,7554	-2,34 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 3d

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-0,178	0,6119	-0,291	1,0000
1	30	-1,145	0,6119	-1,872	0,6374
2	1	3,620	0,6119	5,916	0,0001
2	10	-2,090	0,6119	-3,415	0,0470
2	30	-3,020	0,6609	-4,569	0,0031
3	1	6,575	0,6609	9,948	0,0000
3	10	-2,009	0,6119	-3,283	0,0626
3	30	2,559	0,6119	4,181	0,0080

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,967	0,6119	-1,580	0,8061
2	1	3,799	0,6119	6,208	0,0001
2	10	-1,911	0,6119	-3,124	0,0874
2	30	-2,841	0,6609	-4,299	0,0060
3	1	6,754	0,6609	10,218	0,0000
3	10	-1,831	0,6119	-2,992	0,1142
3	30	2,737	0,6119	4,473	0,0039

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	4,766	0,6119	7,788	0,0000
2	10	-0,944	0,6119	-1,543	0,8248
2	30	-1,874	0,6609	-2,836	0,1544
3	1	7,721	0,6609	11,681	0,0000

3	10	-0,863	0,6119	-1,411	0,8831
3	30	3,704	0,6119	6,053	0,0001
Material = 2					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	-5,710	0,6119	-9,33	0,0000
2	30	-6,640	0,6609	-10,05	0,0000
3	1	2,955	0,6609	4,47	0,0039
3	10	-5,629	0,6119	-9,20	0,0000
3	30	-1,062	0,6119	-1,74	0,7206
Material = 2					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	-0,9298	0,6609	-1,407	0,8848
3	1	8,6649	0,6609	13,110	0,0000
3	10	0,0808	0,6119	0,132	1,0000
3	30	4,6483	0,6119	7,596	0,0000
Material = 2					
Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	9,595	0,7066	13,579	0,0000
3	10	1,011	0,6609	1,529	0,8316
3	30	5,578	0,6609	8,440	0,0000
Material = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	-8,584	0,6609	-12,99	0,0000
3	30	-4,017	0,6609	-6,08	0,0001
Material = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	4,567	0,6119	7,464	0,0000

b)ANOVA de Rc3 para os fatores Material e Dp das ACN20
General Linear Model: Rc 3d versus Material; Dp (Teor = 20%)

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 3d, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	18,143	17,739	8,869	7,89	0,002
Dp	2	129,184	115,330	57,665	51,32	0,000
Material*Dp	4	60,039	60,039	15,010	13,36	0,000
Error	25	28,092	28,092	1,124		
Total	33	235,458				

S = 1,06005 R-Sq = 88,07% R-Sq(adj) = 84,25%

Unusual Observations for Rc 3d

Obs	Rc 3d	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
34	22,9982	20,9424	0,5300	2,0558	2,24 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Rc 3d
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 1 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value

1	10	-3,629	0,7496	-4,841	0,0016
1	30	-4,298	0,7496	-5,733	0,0002
2	1	3,108	0,7496	4,146	0,0087
2	10	-2,564	0,7496	-3,421	0,0464
2	30	-5,220	0,7496	-6,964	0,0000
3	1	-0,429	0,8096	-0,530	0,9998
3	10	-1,444	0,8096	-1,783	0,6919
3	30	-0,711	0,7496	-0,949	0,9873

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,669	0,7496	-0,892	0,9914
2	1	6,737	0,7496	8,988	0,0000
2	10	1,064	0,7496	1,420	0,8796
2	30	-1,591	0,7496	-2,123	0,4812
3	1	3,200	0,8096	3,952	0,0138
3	10	2,185	0,8096	2,699	0,1985
3	30	2,917	0,7496	3,892	0,0158

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	7,4056	0,7496	9,880	0,0000
2	10	1,7332	0,7496	2,312	0,3721
2	30	-0,9223	0,7496	-1,230	0,9416
3	1	3,8685	0,8096	4,778	0,0019
3	10	2,8538	0,8096	3,525	0,0368
3	30	3,5863	0,7496	4,785	0,0018

Material = 2

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-5,672	0,7496	-7,57	0,0000
2	30	-8,328	0,7496	-11,11	0,0000
3	1	-3,537	0,8096	-4,37	0,0051
3	10	-4,552	0,8096	-5,62	0,0002
3	30	-3,819	0,7496	-5,10	0,0009

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-2,656	0,7496	-3,543	0,0354
3	1	2,135	0,8096	2,637	0,2211
3	10	1,121	0,8096	1,384	0,8935
3	30	1,853	0,7496	2,472	0,2914

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	4,791	0,8096	5,917	0,0001
3	10	3,776	0,8096	4,664	0,0025
3	30	4,509	0,7496	6,015	0,0001

Material = 3

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-1,015	0,8655	-1,172	0,9552
3	30	-0,282	0,8096	-0,349	1,0000

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,7325	0,8096	0,9047	0,9906

1) ANOVA de Rc7 para todos os fatores

General Linear Model: Rc7 versus Mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc7, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	62,08	51,58	25,79	13,90	0,000
Teor	1	0,09	0,00	0,00	0,00	0,995
Dp	2	1210,45	1170,52	585,26	315,51	0,000
Mat*Teor	2	155,41	163,28	81,64	44,01	0,000
Mat*Dp	4	98,42	84,69	21,17	11,41	0,000
Teor*Dp	2	160,21	160,19	80,09	43,18	0,000
Mat*Teor*Dp	4	22,52	22,52	5,63	3,04	0,026
Error	47	87,18	87,18	1,85		
Total	64	1796,38				

S = 1,36197 R-Sq = 95,15% R-Sq(adj) = 93,39%

Unusual Observations for Rc7

Obs	Rc7	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
16	20,5757	23,1733	0,6810	-2,5976	-2,20 R
28	21,4730	24,1078	0,7863	-2,6347	-2,37 R
35	25,1334	27,7513	0,6810	-2,6179	-2,22 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Rc7 para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Rc7d versus Material; Dp (Teor = 10%)

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc7d, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	73,167	84,925	42,462	18,72	0,000
Dp	2	310,244	288,725	144,363	63,66	0,000
Material*Dp	4	52,613	52,613	13,153	5,80	0,002
Error	24	54,425	54,425	2,268		
Total	32	490,450				

S = 1,50589 R-Sq = 88,90% R-Sq(adj) = 85,20%

Unusual Observations for Rc7d

Obs	Rc7d	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	23,4711	26,7027	0,7529	-3,2316	-2,48 R
19	21,4730	24,1078	0,8694	-2,6347	-2,14 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7d

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-5,206	1,304	-3,992	0,0131
1	30	-4,075	1,065	-3,827	0,0193
2	1	0,133	1,065	0,125	1,0000
2	10	-5,922	1,065	-5,561	0,0003
2	30	-6,669	1,150	-5,799	0,0002
3	1	4,338	1,065	4,074	0,0108
3	10	-5,824	1,065	-5,469	0,0004
3	30	0,253	1,065	0,238	1,0000

Material = 1
 Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	1,131	1,304	0,867	0,9928
2	1	5,339	1,304	4,094	0,0104
2	10	-0,716	1,304	-0,549	0,9997
2	30	-1,464	1,375	-1,065	0,9741
3	1	9,544	1,304	7,318	0,0000
3	10	-0,618	1,304	-0,474	0,9999
3	30	5,459	1,304	4,186	0,0083

Material = 1
 Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	4,208	1,065	3,951	0,0144
2	10	-1,847	1,065	-1,735	0,7208
2	30	-2,595	1,150	-2,256	0,4043
3	1	8,413	1,065	7,900	0,0000
3	10	-1,749	1,065	-1,643	0,7728
3	30	4,328	1,065	4,064	0,0111

Material = 2
 Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-6,055	1,065	-5,686	0,0002
2	30	-6,803	1,150	-5,915	0,0001
3	1	4,205	1,065	3,949	0,0145
3	10	-5,957	1,065	-5,594	0,0003
3	30	0,120	1,065	0,113	1,0000

Material = 2
 Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,7477	1,150	-0,6501	0,9990
3	1	10,2597	1,065	9,6351	0,0000
3	10	0,0977	1,065	0,0918	1,0000
3	30	6,1747	1,065	5,7988	0,0002

Material = 2
 Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	11,0074	1,150	9,5705	0,0000
3	10	0,8455	1,150	0,7351	0,9976
3	30	6,9225	1,150	6,0188	0,0001

Material = 3
 Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-10,16	1,065	-9,543	0,0000
3	30	-4,08	1,065	-3,836	0,0188

Material = 3
 Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	6,077	1,065	5,707	0,0002

**b) ANOVA de Rc7 para os fatores Material e Dp das ACN20
 General Linear Model: Rc7d versus Material; Dp (Teor = 20%)**

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc7d, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	156,17	143,03	71,51	36,77	0,000
Dp	2	1071,11	1047,99	523,99	269,39	0,000
Material*Dp	4	57,86	57,86	14,46	7,44	0,000
Error	24	46,68	46,68	1,95		
Total	32	1331,83				

S = 1,39468 R-Sq = 96,49% R-Sq(adj) = 95,33%

Unusual Observations for Rc7d

Obs	Rc7d	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	20,5757	23,1733	0,6973	-2,5976	-2,15 R
15	25,1334	27,7513	0,6973	-2,6179	-2,17 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7d

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-11,43	1,139	-10,04	0,0000
1	30	-9,97	1,065	-9,36	0,0000
2	1	7,80	1,065	7,32	0,0000
2	10	-5,39	1,065	-5,06	0,0010
2	30	-8,64	1,065	-8,11	0,0000
3	1	1,87	1,065	1,76	0,7061
3	10	-9,31	1,139	-8,18	0,0000
3	30	-8,11	1,065	-7,62	0,0000

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	1,465	1,065	1,375	0,8964
2	1	19,231	1,065	18,054	0,0000
2	10	6,043	1,065	5,673	0,0002
2	30	2,790	1,065	2,619	0,2301
3	1	13,306	1,065	12,491	0,0000
3	10	2,120	1,139	1,862	0,6439
3	30	3,318	1,065	3,115	0,0906

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	17,7663	0,9862	18,0151	0,0000
2	10	4,5780	0,9862	4,6421	0,0028
2	30	1,3249	0,9862	1,3434	0,9076
3	1	11,8407	0,9862	12,0066	0,0000
3	10	0,6552	1,0652	0,6151	0,9993
3	30	1,8536	0,9862	1,8795	0,6329

Material = 2

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-13,19	0,9862	-13,37	0,0000
2	30	-16,44	0,9862	-16,67	0,0000
3	1	-5,93	0,9862	-6,01	0,0001
3	10	-17,11	1,0652	-16,06	0,0000
3	30	-15,91	0,9862	-16,14	0,0000

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

		Difference	SE of	Adjusted
--	--	------------	-------	----------

Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	-3,253	0,9862	-3,299	0,0620
3	1	7,263	0,9862	7,364	0,0000
3	10	-3,923	1,0652	-3,683	0,0267
3	30	-2,724	0,9862	-2,763	0,1787

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	10,5159	0,9862	10,6631	0,0000
3	10	-0,6697	1,0652	-0,6287	0,9992
3	30	0,5287	0,9862	0,5361	0,9998

Material = 3

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-11,19	1,0652	-10,50	0,0000
3	30	-9,99	0,9862	-10,13	0,0000

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	1,198	1,065	1,125	0,9643

2) ANOVA de Rc28 para toos os fatores

General Linear Model: Rc28 versus Mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc28, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	5,46	3,89	1,94	0,60	0,555
Teor	1	1,59	57,69	57,69	17,70	0,000
Dp	2	1465,89	1520,29	760,15	233,19	0,000
Mat*Teor	2	47,87	50,71	25,36	7,78	0,001
Mat*Dp	4	381,40	351,87	87,97	26,99	0,000
Teor*Dp	2	119,30	118,59	59,30	18,19	0,000
Mat*Teor*Dp	4	32,82	32,82	8,20	2,52	0,054
Error	45	146,69	146,69	3,26		
Total	62	2201,03				

S = 1,80548 R-Sq = 93,34% R-Sq(adj) = 90,82%

Unusual Observations for Rc28

Obs	Rc28	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
17	30,5275	34,2401	0,9027	-3,7126	-2,37 R
20	37,5038	34,2401	0,9027	3,2638	2,09 R
31	37,1578	32,8847	0,8074	4,2731	2,65 R
60	35,6335	39,2211	0,9027	-3,5877	-2,29 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Rc28 para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Rc28 versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc28, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	43,17	31,79	15,89	4,88	0,016
Dp	2	552,92	521,91	260,95	80,19	0,000
Mat*Dp	4	267,69	267,69	66,92	20,56	0,000
Error	25	81,36	81,36	3,25		
Total	33	945,13				

S = 1,80396 R-Sq = 91,39% R-Sq(adj) = 88,64%

Obs	Rc28	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	30,5275	34,2401	0,9020	-3,7126	-2,38 R
11	37,5038	34,2401	0,9020	3,2638	2,09 R
31	35,6335	39,2211	0,9020	-3,5877	-2,30 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc28

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-3,207	1,378	-2,328	0,3637
1	30	-6,739	1,276	-5,283	0,0005
2	1	1,258	1,378	0,913	0,9900
2	10	-4,159	1,276	-3,261	0,0656
2	30	-8,484	1,276	-6,651	0,0000
3	1	6,948	1,276	5,447	0,0004
3	10	-9,886	1,276	-7,750	0,0000
3	30	-1,758	1,276	-1,378	0,8956

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-3,532	1,378	-2,563	0,2509
2	1	4,466	1,473	3,032	0,1053
2	10	-0,952	1,378	-0,691	0,9985
2	30	-5,277	1,378	-3,830	0,0183
3	1	10,155	1,378	7,370	0,0000
3	10	-6,678	1,378	-4,847	0,0016
3	30	1,449	1,378	1,052	0,9761

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	7,998	1,378	5,805	0,0002
2	10	2,580	1,276	2,023	0,5430
2	30	-1,745	1,276	-1,368	0,8994
3	1	13,687	1,276	10,730	0,0000
3	10	-3,146	1,276	-2,467	0,2940
3	30	4,981	1,276	3,905	0,0154

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-5,42	1,378	-3,932	0,0144
2	30	-9,74	1,378	-7,071	0,0000
3	1	5,69	1,378	4,129	0,0090
3	10	-11,14	1,378	-8,088	0,0000
3	30	-3,02	1,378	-2,189	0,4415

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-4,325	1,276	-3,390	0,0496
3	1	11,107	1,276	8,707	0,0000
3	10	-5,727	1,276	-4,489	0,0038
3	30	2,401	1,276	1,882	0,6310

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	15,432	1,276	12,098	0,0000
3	10	-1,402	1,276	-1,099	0,9690
3	30	6,726	1,276	5,273	0,0006
Mat = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-16,83	1,276	-13,20	0,0000
3	30	-8,71	1,276	-6,82	0,0000
Mat = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	8,128	1,276	6,372	0,0001

b) ANOVA de Rc28 para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: Rc28 versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc28, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	13,97	24,72	12,36	3,78	0,040
Dp	2	1032,63	1023,22	511,61	156,62	0,000
Mat*Dp	4	142,65	142,65	35,66	10,92	0,000
Error	20	65,33	65,33	3,27		
Total	28	1254,58				

S = 1,80738 R-Sq = 94,79% R-Sq(adj) = 92,71%

Obs	Rc28	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	37,1578	32,8847	0,8083	4,2731	2,64 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc28

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-12,13	1,650	-7,35	0,0000
1	30	-13,34	1,565	-8,52	0,0000
2	1	1,83	1,807	1,01	0,9798
2	10	-7,11	1,565	-4,54	0,0050
2	30	-15,36	1,512	-10,16	0,0000
3	1	2,34	1,807	1,29	0,9221
3	10	-16,38	1,650	-9,93	0,0000
3	30	-13,44	1,565	-8,59	0,0000

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-1,209	1,380	-0,876	0,9919
2	1	13,960	1,650	8,461	0,0000
2	10	5,019	1,380	3,636	0,0350
2	30	-3,238	1,320	-2,453	0,3100
3	1	14,463	1,650	8,766	0,0000
3	10	-4,251	1,476	-2,881	0,1527
3	30	-1,317	1,380	-0,954	0,9861

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted
--	------------	-------	----------

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	1	15,169	1,565	9,691	0,0000
2	10	6,228	1,278	4,873	0,0024
2	30	-2,028	1,212	-1,673	0,7552
3	1	15,672	1,565	10,013	0,0000
3	10	-3,042	1,380	-2,203	0,4396
3	30	-0,108	1,278	-0,084	1,0000

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value	Adjusted
2	10	-8,94	1,565	-5,71	0,0004	
2	30	-17,20	1,512	-11,37	0,0000	
3	1	0,50	1,807	0,28	1,0000	
3	10	-18,21	1,650	-11,04	0,0000	
3	30	-15,28	1,565	-9,76	0,0000	

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value	Adjusted
2	30	-8,256	1,212	-6,810	0,0001	
3	1	9,444	1,565	6,034	0,0002	
3	10	-9,270	1,380	-6,715	0,0001	
3	30	-6,336	1,278	-4,958	0,0020	

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value	Adjusted
3	1	17,700	1,512	11,7053	0,0000	
3	10	-1,013	1,320	-0,7678	0,9966	
3	30	1,920	1,212	1,5840	0,8024	

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value	Adjusted
3	10	-18,71	1,650	-11,34	0,0000	
3	30	-15,78	1,565	-10,08	0,0000	

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value	Adjusted
3	30	2,934	1,380	2,125	0,4847	

3) ANOVA de E para todos os fatores

General Linear Model: E versus Mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	13,945	11,099	5,550	2,61	0,083
Teor	1	0,024	0,052	0,052	0,02	0,876
Dp	2	123,688	124,661	62,331	29,36	0,000
Mat*Teor	2	5,100	5,430	2,715	1,28	0,287
Mat*Dp	4	22,896	23,618	5,905	2,78	0,036
Teor*Dp	2	17,270	17,872	8,936	4,21	0,020
Mat*Teor*Dp	4	3,478	3,478	0,869	0,41	0,801
Error	51	108,285	108,285	2,123		
Total	68	294,685				

S = 1,45713 R-Sq = 63,25% R-Sq(adj) = 51,01%

Unusual Observations for E

Obs	E	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	28,1653	31,1251	0,7286	-2,9598	-2,35 R
25	37,0375	31,1251	0,7286	5,9124	4,69 R
40	25,7559	28,3320	0,7286	-2,5761	-2,04 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) **ANOVA de E para os fatores Material e Dp das ACN10**
General Linear Model: E versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	7,730	5,474	2,737	0,95	0,399
Dp	2	33,632	33,428	16,714	5,83	0,008
Mat*Dp	4	21,246	21,246	5,312	1,85	0,150
Error	25	71,695	71,695	2,868		
Total	33	134,304				

S = 1,69346 R-Sq = 46,62% R-Sq(adj) = 29,53%

Unusual Observations for E

Obs	E	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	28,1653	31,1251	0,8467	-2,9598	-2,02 R
14	37,0375	31,1251	0,8467	5,9124	4,03 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-0,684	1,383	-0,495	0,9999
1	30	-2,758	1,293	-2,133	0,4753
2	1	1,075	1,293	0,831	0,9946
2	10	0,501	1,293	0,387	1,0000
2	30	-2,535	1,293	-1,960	0,5822
3	1	0,828	1,293	0,640	0,9991
3	10	-1,401	1,293	-1,083	0,9716
3	30	-0,068	1,293	-0,053	1,0000

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-2,074	1,293	-1,604	0,7942
2	1	1,759	1,293	1,360	0,9022
2	10	1,185	1,293	0,916	0,9898
2	30	-1,851	1,293	-1,431	0,8752
3	1	1,513	1,293	1,169	0,9558
3	10	-0,716	1,293	-0,554	0,9997
3	30	0,616	1,293	0,476	0,9999

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	3,8333	1,197	3,2012	0,0744
2	10	3,2588	1,197	2,7214	0,1905
2	30	0,2232	1,197	0,1864	1,0000
3	1	3,5866	1,197	2,9952	0,1134
3	10	1,3578	1,197	1,1339	0,9629
3	30	2,6898	1,197	2,2463	0,4087

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,574	1,197	-0,480	0,9999
2	30	-3,610	1,197	-3,015	0,1090
3	1	-0,247	1,197	-0,206	1,0000
3	10	-2,476	1,197	-2,067	0,5152
3	30	-1,143	1,197	-0,955	0,9868

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-3,036	1,197	-2,535	0,2631
3	1	0,328	1,197	0,274	1,0000
3	10	-1,901	1,197	-1,588	0,8025
3	30	-0,569	1,197	-0,475	0,9999

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	3,363	1,197	2,8088	0,1623
3	10	1,135	1,197	0,9475	0,9874
3	30	2,467	1,197	2,0599	0,5198

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-2,229	1,197	-1,861	0,6440
3	30	-0,897	1,197	-0,749	0,9973

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	1,332	1,197	1,112	0,9667

b) ANOVA de E para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: E versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	8,492	10,498	5,249	3,73	0,038
Dp	2	108,756	109,106	54,553	38,76	0,000
Mat*Dp	4	6,419	6,419	1,605	1,14	0,360
Error	26	36,590	36,590	1,407		
Total	34	160,257				

S = 1,18630 R-Sq = 77,17% R-Sq(adj) = 70,14%

Unusual Observations for E

Obs	E	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	29,8263	32,0069	0,6849	-2,1806	-2,25 R
18	25,7559	28,3320	0,5932	-2,5761	-2,51 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-3,829	0,9061	-4,226	0,0068
1	30	-4,639	0,9061	-5,120	0,0007
2	1	-0,864	0,8388	-1,030	0,9791

2	10	-3,675	0,9061	-4,056	0,0102
2	30	-4,791	0,9061	-5,287	0,0005
3	1	0,835	0,9686	0,862	0,9932
3	10	-3,666	0,9686	-3,785	0,0196
3	30	-2,527	0,9061	-2,789	0,1668
Mat = 1					
Dp = 10 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	-0,8098	0,8388	-0,965	0,9860
2	1	2,9651	0,7658	3,872	0,0159
2	10	0,1541	0,8388	0,184	1,0000
2	30	-0,9615	0,8388	-1,146	0,9608
3	1	4,6638	0,9061	5,147	0,0007
3	10	0,1626	0,9061	0,179	1,0000
3	30	1,3024	0,8388	1,553	0,8204
Mat = 1					
Dp = 30 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	1	3,7750	0,7658	4,9297	0,0012
2	10	0,9640	0,8388	1,1492	0,9602
2	30	-0,1516	0,8388	-0,1808	1,0000
3	1	5,4736	0,9061	6,0411	0,0001
3	10	0,9724	0,9061	1,0733	0,9732
3	30	2,1123	0,8388	2,5181	0,2689
Mat = 2					
Dp = 1 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	-2,811	0,7658	-3,671	0,0256
2	30	-3,927	0,7658	-5,128	0,0007
3	1	1,699	0,8388	2,025	0,5410
3	10	-2,803	0,8388	-3,341	0,0539
3	30	-1,663	0,7658	-2,171	0,4513
Mat = 2					
Dp = 10 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	-1,116	0,8388	-1,330	0,9129
3	1	4,510	0,9061	4,977	0,0010
3	10	0,008	0,9061	0,009	1,0000
3	30	1,148	0,8388	1,369	0,8994
Mat = 2					
Dp = 30 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	5,625	0,9061	6,208	0,0001
3	10	1,124	0,9061	1,241	0,9393
3	30	2,264	0,8388	2,699	0,1967
Mat = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	-4,501	0,9686	-4,647	0,0024
3	30	-3,361	0,9061	-3,710	0,0234
Mat = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	1,140	0,9061	1,258	0,9346

4) ANOVA de Deformação de pico para todos os fatores

General Linear Model: Def pico versus Mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Def pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	316756	159263	79631	2,99	0,062
Teor	1	54480	25873	25873	0,97	0,331
Dp	2	309647	310399	155199	5,82	0,006
Mat*Teor	2	43842	56607	28304	1,06	0,356
Mat*Dp	4	271356	236825	59206	2,22	0,085
Teor*Dp	2	35389	41261	20630	0,77	0,468
Mat*Teor*Dp	4	260809	260809	65202	2,45	0,063
Error	38	1013237	1013237	26664		
Total	55	2305517				

S = 163,292 R-Sq = 56,05% R-Sq(adj) = 36,39%

Unusual Observations for Def pico

Obs	Def pico	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
30	2181,62	2428,79	115,46	-247,17	-2,14 R
31	2675,96	2428,79	115,46	247,17	2,14 R
53	2103,74	2456,32	81,65	-352,58	-2,49 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Def. pico para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Def pico versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Def pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	292194	208644	104322	3,88	0,038
Dp	2	265497	267569	133785	4,98	0,018
Mat*Dp	4	409297	409297	102324	3,81	0,019
Error	20	537443	537443	26872		
Total	28	1504432				

S = 163,927 R-Sq = 64,28% R-Sq(adj) = 49,99%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def pico

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	149,79	125,2	1,1964	0,9481
1	30	183,16	133,8	1,3685	0,8969
2	1	119,18	133,8	0,8905	0,9910
2	10	-75,35	133,8	-0,5629	0,9996
2	30	55,63	149,6	0,3717	1,0000
3	1	402,77	125,2	3,2170	0,0814
3	10	-94,98	133,8	-0,7097	0,9980
3	30	418,15	125,2	3,3398	0,0639

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	33,4	125,2	0,267	1,0000
2	1	-30,6	125,2	-0,244	1,0000
2	10	-225,1	125,2	-1,798	0,6829
2	30	-94,2	142,0	-0,663	0,9988

3	1	253,0	115,9	2,182	0,4515
3	10	-244,8	125,2	-1,955	0,5876
3	30	268,4	115,9	2,315	0,3785

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-64,0	133,8	-0,478	0,9999
2	10	-258,5	133,8	-1,931	0,6021
2	30	-127,5	149,6	-0,852	0,9933
3	1	219,6	125,2	1,754	0,7089
3	10	-278,1	133,8	-2,078	0,5129
3	30	235,0	125,2	1,877	0,6354

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-194,5	133,8	-1,453	0,8635
2	30	-63,6	149,6	-0,425	1,0000
3	1	283,6	125,2	2,265	0,4053
3	10	-214,2	133,8	-1,600	0,7941
3	30	299,0	125,2	2,388	0,3413

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	130,97	149,6	0,8752	0,9920
3	1	478,12	125,2	3,8188	0,0238
3	10	-19,64	133,8	-0,1467	1,0000
3	30	493,49	125,2	3,9416	0,0183

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	347,1	142,0	2,445	0,3136
3	10	-150,6	149,6	-1,006	0,9808
3	30	362,5	142,0	2,554	0,2654

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-497,8	125,2	-3,976	0,0170
3	30	15,4	115,9	0,133	1,0000

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	513,1	125,2	4,098	0,0131

b) ANOVA de Def. pico para os fatores Material e Dp das ACN20
General Linear Model: Def pico versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Def pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	52532	17484	8742	0,33	0,723
Dp	2	77846	75953	37976	1,44	0,264
Mat*Dp	4	118470	118470	29617	1,12	0,378
Error	18	475794	475794	26433		
Total	26	724642				

S = 162,582 R-Sq = 34,34% R-Sq(adj) = 5,16%

Unusual Observations for Def pico

Obs	Def pico	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	2181,62	2428,79	114,96	-247,17	-2,15 R
2	2675,96	2428,79	114,96	247,17	2,15 R
24	2103,74	2456,32	81,29	-352,58	-2,50 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def pico

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-202,1	148,4	-1,362	0,8980
1	30	-162,0	148,4	-1,092	0,9682
2	1	-58,2	162,6	-0,358	1,0000
2	10	-246,2	140,8	-1,749	0,7118
2	30	-206,8	140,8	-1,469	0,8556
3	1	-181,5	162,6	-1,117	0,9639
3	10	-179,0	148,4	-1,206	0,9448
3	30	27,5	140,8	0,196	1,0000

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	40,09	132,7	0,3020	1,0000
2	1	143,94	148,4	0,9699	0,9842
2	10	-44,08	124,2	-0,3550	1,0000
2	30	-4,69	124,2	-0,0377	1,0000
3	1	20,60	148,4	0,1388	1,0000
3	10	23,12	132,7	0,1741	1,0000
3	30	229,66	124,2	1,8495	0,6525

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	103,86	148,4	0,6998	0,9982
2	10	-84,17	124,2	-0,6778	0,9985
2	30	-44,77	124,2	-0,3606	1,0000
3	1	-19,49	148,4	-0,1313	1,0000
3	10	-16,97	132,7	-0,1278	1,0000
3	30	189,57	124,2	1,5267	0,8294

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-188,0	140,8	-1,335	0,9072
2	30	-148,6	140,8	-1,056	0,9738
3	1	-123,3	162,6	-0,759	0,9968
3	10	-120,8	148,4	-0,814	0,9948
3	30	85,7	140,8	0,609	0,9993

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	39,39	115,0	0,3427	1,0000
3	1	64,68	140,8	0,4594	0,9999
3	10	67,20	124,2	0,5411	0,9997
3	30	273,74	115,0	2,3811	0,3493

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	25,28	140,8	0,1796	1,0000
3	10	27,80	124,2	0,2239	1,0000
3	30	234,34	115,0	2,0384	0,5387

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	2,518	148,4	0,01697	1,0000
3	30	209,061	140,8	1,48480	0,8486

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	206,5	124,2	1,663	0,7597

5) ANOVA de Rtc d para todos os fatores

General Linear Model: Rtc d versus Mat; Dp; Teor

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30
Teor	fixed	2	10; 20

Analysis of Variance for Rtc d, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,19505	0,43531	0,21766	2,99	0,056
Dp	2	6,40732	6,75944	3,37972	46,41	0,000
Teor	1	1,65414	1,52790	1,52790	20,98	0,000
Mat*Dp	4	4,08834	4,27777	1,06944	14,69	0,000
Mat*Teor	2	1,38145	1,35166	0,67583	9,28	0,000
Dp*Teor	2	0,45087	0,46246	0,23123	3,18	0,047
Mat*Dp*Teor	4	0,20088	0,20088	0,05022	0,69	0,601
Error	76	5,53427	5,53427	0,07282		
Total	93	19,91232				

S = 0,269851 R-Sq = 72,21% R-Sq(adj) = 65,99%

Unusual Observations for Rtc d

Obs	Rtc d	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	3,41279	3,89141	0,13493	-0,47862	-2,05 R
38	4,31641	3,81869	0,11017	0,49773	2,02 R
88	3,56877	3,07993	0,13493	0,48885	2,09 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Rtc d para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Rtc d versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rtc d, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,23935	0,32116	0,16058	2,23	0,122
Dp	2	1,99047	1,92317	0,96158	13,33	0,000
Mat*Dp	4	2,44220	2,44220	0,61055	8,47	0,000
Error	38	2,74054	2,74054	0,07212		
Total	46	7,41257				

S = 0,268551 R-Sq = 63,03% R-Sq(adj) = 55,24%

Unusual Observations for Rtc d

Obs	Rtc d	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	3,41279	3,89141	0,13428	-0,47862	-2,06 R
22	4,31641	3,81869	0,10964	0,49773	2,03 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rtc d

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	0,0998	0,1733	0,576	0,9996
1	30	-0,0427	0,1550	-0,275	1,0000
2	1	0,0271	0,1550	0,174	1,0000
2	10	-0,1309	0,1733	-0,755	0,9975
2	30	-0,4604	0,1733	-2,656	0,1983
3	1	0,5926	0,1550	3,822	0,0126
3	10	-0,5536	0,1626	-3,404	0,0375
3	30	-0,1698	0,1550	-1,095	0,9715

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,1424	0,1733	-0,822	0,9955
2	1	-0,0727	0,1733	-0,420	1,0000
2	10	-0,2307	0,1899	-1,215	0,9482
2	30	-0,5601	0,1899	-2,950	0,1086
3	1	0,4928	0,1733	2,843	0,1363
3	10	-0,6533	0,1801	-3,627	0,0212
3	30	-0,2696	0,1733	-1,555	0,8221

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	0,0697	0,1550	0,450	0,9999
2	10	-0,0882	0,1733	-0,509	0,9999
2	30	-0,4177	0,1733	-2,410	0,3082
3	1	0,6353	0,1550	4,097	0,0059
3	10	-0,5109	0,1626	-3,142	0,0705
3	30	-0,1271	0,1550	-0,820	0,9955

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,1579	0,1733	-0,911	0,9910
2	30	-0,4874	0,1733	-2,812	0,1454
3	1	0,5656	0,1550	3,648	0,0201
3	10	-0,5806	0,1626	-3,570	0,0246
3	30	-0,1968	0,1550	-1,270	0,9340

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,3295	0,1899	-1,735	0,7218
3	1	0,7235	0,1733	4,174	0,0048
3	10	-0,4227	0,1801	-2,346	0,3417
3	30	-0,0389	0,1733	-0,224	1,0000

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	1,05298	0,1733	6,0744	0,0000
3	10	-0,09318	0,1801	-0,5173	0,9998
3	30	0,29057	0,1733	1,6762	0,7566

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
-----	----	---------------------	------------------	---------	------------------

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	-1,146	0,1626	-7,048	0,0000
3	30	-0,762	0,1550	-4,917	0,0006

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	0,3838	0,1626	2,360	0,3343

b) ANOVA de RtcD para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: RtcD versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor Type Levels Values

Mat fixed 3 1; 2; 3

Dp fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for RtcD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,8496	1,4565	0,7282	9,91	0,000
Dp	2	5,2149	5,2356	2,6178	35,61	0,000
Mat*Dp	4	2,0835	2,0835	0,5209	7,08	0,000
Error	38	2,7937	2,7937	0,0735		
Total	46	10,9418				

S = 0,271144 R-Sq = 74,47% R-Sq(adj) = 69,09%

Unusual Observations for RtcD

Obs	RtcD	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
41	3,56877	3,07993	0,13557	0,48885	2,08 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable RtcD

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	10	-0,327	0,1750	-1,866	0,6397
1	30	-0,379	0,1565	-2,422	0,3020
2	1	0,465	0,1642	2,835	0,1386
2	10	-0,068	0,1750	-0,391	1,0000
2	30	-0,440	0,1565	-2,809	0,1463
3	1	0,233	0,1565	1,487	0,8545
3	10	-1,135	0,1750	-6,485	0,0000
3	30	-0,462	0,1565	-2,953	0,1077

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	-0,0525	0,1750	-0,300	1,0000
2	1	0,7921	0,1819	4,355	0,0028
2	10	0,2582	0,1917	1,347	0,9101
2	30	-0,1130	0,1750	-0,646	0,9992
3	1	0,5594	0,1750	3,196	0,0621
3	10	-0,8084	0,1917	-4,216	0,0042
3	30	-0,1357	0,1750	-0,775	0,9969

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	1	0,8445	0,1642	5,144	0,0003
2	10	0,3107	0,1750	1,775	0,6972
2	30	-0,0606	0,1565	-0,387	1,0000
3	1	0,6119	0,1565	3,909	0,0100
3	10	-0,7559	0,1750	-4,319	0,0032
3	30	-0,0832	0,1565	-0,532	0,9998

```

Mat = 2
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2   10   -0,534    0,1819   -2,935   0,1121
2   30   -0,905    0,1642   -5,513   0,0001
3    1   -0,233    0,1642   -1,417   0,8842
3   10   -1,600    0,1819   -8,799   0,0000
3   30   -0,928    0,1642   -5,651   0,0001
Mat = 2
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2   30   -0,371    0,1750   -2,121   0,4748
3    1    0,301    0,1750    1,721   0,7304
3   10   -1,067    0,1917   -5,563   0,0001
3   30   -0,394    0,1750   -2,251   0,3958
Mat = 2
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
3    1    0,6724    0,1565    4,296   0,0034
3   10   -0,6953    0,1750   -3,973   0,0084
3   30   -0,0227    0,1565   -0,145   1,0000
Mat = 3
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
3   10   -1,368    0,1750   -7,815   0,0000
3   30   -0,695    0,1565   -4,440   0,0022
Mat = 3
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
3   30    0,6727    0,1750    3,843   0,0119

```

6) ANOVA de A (%) para todos os fatores

General Linear Model: A(%) versus Mat; dp; Teor

```

Factor Type Levels Values
Mat fixed 3 1; 2; 3
dp fixed 3 1; 10; 30
Teor fixed 2 10; 20

```

```

Analysis of Variance for A(%), using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Mat 2 8,6159 7,1032 3,5516 44,08 0,000
dp 2 83,7484 85,4381 42,7191 530,18 0,000
Teor 1 10,0080 9,4209 9,4209 116,92 0,000
Mat*dp 4 15,5822 14,3040 3,5760 44,38 0,000
Mat*Teor 2 2,5592 2,8222 1,4111 17,51 0,000
dp*Teor 2 17,8375 17,8365 8,9183 110,68 0,000
Mat*dp*Teor 4 8,6725 8,6725 2,1681 26,91 0,000
Error 138 11,1193 11,1193 0,0806
Total 155 158,1431

```

S = 0,283857 R-Sq = 92,97% R-Sq(adj) = 92,10%

Unusual Observations for A(%)

```

Obs A(%) Fit SE Fit Residual St Resid
27 5,21915 4,31646 0,09462 0,90269 3,37 R
37 5,02096 5,57356 0,09462 -0,55260 -2,06 R
46 5,25854 5,90129 0,09462 -0,64275 -2,40 R
73 4,96597 5,73932 0,09462 -0,77334 -2,89 R
81 6,32445 5,73932 0,09462 0,58513 2,19 R
106 4,60475 4,05971 0,09462 0,54504 2,04 R

```


133 5,78470 5,23999 0,09462 0,54472 2,04 R
 140 7,07528 6,47967 0,10729 0,59561 2,27 R
 R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de A(%) para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: A(%) versus Mat; dp (Teor=10%)

Factor Type Levels Values
 Mat fixed 3 1; 2; 3
 dp fixed 3 1; 10; 30
 Analysis of Variance for A(%) , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	9,7574	9,7574	4,8787	54,56	0,000
dp	2	13,5000	13,5000	6,7500	75,48	0,000
Mat*dp	4	8,5253	8,5253	2,1313	23,83	0,000
Error	72	6,4387	6,4387	0,0894		
Total	80	38,2214				

S = 0,299042 R-Sq = 83,15% R-Sq(adj) = 81,28%

Unusual Observations for A(%)

Obs	A(%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
27	5,21915	4,31646	0,09968	0,90269	3,20 R
46	5,25854	5,90129	0,09968	-0,64275	-2,28 R
73	4,96597	5,73932	0,09968	-0,77334	-2,74 R
81	6,32445	5,73932	0,09968	0,58513	2,08 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable A(%)

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*dp

Mat = 1

dp = 1 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	0,781	0,1410	5,540	0,0000
1	30	0,704	0,1410	4,997	0,0002
2	1	0,202	0,1410	1,435	0,8804
2	10	-0,038	0,1410	-0,269	1,0000
2	30	0,971	0,1410	6,890	0,0000
3	1	-1,295	0,1410	-9,187	0,0000
3	10	0,290	0,1410	2,056	0,5111
3	30	0,128	0,1410	0,907	0,9919

Mat = 1

dp = 10 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,077	0,1410	-0,54	0,9998
2	1	-0,579	0,1410	-4,10	0,0032
2	10	-0,819	0,1410	-5,81	0,0000
2	30	0,190	0,1410	1,35	0,9122
3	1	-2,076	0,1410	-14,73	0,0000
3	10	-0,491	0,1410	-3,48	0,0225
3	30	-0,653	0,1410	-4,63	0,0005

Mat = 1

dp = 30 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-0,502	0,1410	-3,56	0,0179
2	10	-0,742	0,1410	-5,27	0,0001
2	30	0,267	0,1410	1,89	0,6208
3	1	-1,999	0,1410	-14,18	0,0000
3	10	-0,415	0,1410	-2,94	0,0960
3	30	-0,577	0,1410	-4,09	0,0034

Mat = 2

dp = 1 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,240	0,1410	-1,70	0,7421
2	30	0,769	0,1410	5,45	0,0000
3	1	-1,497	0,1410	-10,62	0,0000
3	10	0,088	0,1410	0,62	0,9994
3	30	-0,074	0,1410	-0,53	0,9998

Mat = 2

dp = 10 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	1,009	0,1410	7,159	0,0000
3	1	-1,257	0,1410	-8,918	0,0000
3	10	0,328	0,1410	2,325	0,3416
3	30	0,166	0,1410	1,176	0,9591

Mat = 2

dp = 30 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-2,266	0,1410	-16,08	0,0000
3	10	-0,681	0,1410	-4,83	0,0003
3	30	-0,843	0,1410	-5,98	0,0000

Mat = 3

dp = 1 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	1,585	0,1410	11,24	0,0000
3	30	1,423	0,1410	10,09	0,0000

Mat = 3

dp = 10 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	-0,1620	0,1410	-1,149	0,9642

b) ANOVA de A(%) para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: A(%) versus Mat; dp (Teor=20%)

Factor Type Levels Values

Mat fixed 3 1; 2; 3

dp fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for A(%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	1,050	0,585	0,292	4,12	0,021
dp	2	89,057	85,403	42,701	602,11	0,000
Mat*dp	4	14,516	14,516	3,629	51,17	0,000
Error	66	4,681	4,681	0,071		
Total	74	109,304				

S = 0,266306 R-Sq = 95,72% R-Sq(adj) = 95,20%

Unusual Observations for A(%)

Obs	A(%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
25	4,60475	4,05971	0,08877	0,54504	2,17 R
51	5,76156	5,23999	0,08877	0,52158	2,08 R
52	5,78470	5,23999	0,08877	0,54472	2,17 R
59	7,07528	6,47967	0,10065	0,59561	2,42 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable A(%)

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*dp

Mat = 1

dp = 1 subtracted from:

Mat	dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	3,1398	0,1255	25,011	0,0000

1	30	3,1523	0,1342	23,489	0,0000
2	1	0,8740	0,1342	6,513	0,0000
2	10	1,6935	0,1255	13,490	0,0000
2	30	3,3580	0,1255	26,749	0,0000
3	1	0,7324	0,1255	5,834	0,0000
3	10	1,9126	0,1255	15,236	0,0000
3	30	2,9953	0,1342	22,319	0,0000

Mat = 1

dp = 10	subtracted from:				
	Difference		SE of		Adjusted
Mat	dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	0,012	0,1342	0,09	1,0000
2	1	-2,266	0,1342	-16,88	0,0000
2	10	-1,446	0,1255	-11,52	0,0000
2	30	0,218	0,1255	1,74	0,7214
3	1	-2,407	0,1255	-19,18	0,0000
3	10	-1,227	0,1255	-9,78	0,0000
3	30	-0,144	0,1342	-1,08	0,9756

Mat = 1

dp = 30	subtracted from:				
	Difference		SE of		Adjusted
Mat	dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	1	-2,278	0,1423	-16,01	0,0000
2	10	-1,459	0,1342	-10,87	0,0000
2	30	0,206	0,1342	1,53	0,8361
3	1	-2,420	0,1342	-18,03	0,0000
3	10	-1,240	0,1342	-9,24	0,0000
3	30	-0,157	0,1423	-1,10	0,9718

Mat = 2

dp = 1	subtracted from:				
	Difference		SE of		Adjusted
Mat	dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	0,8195	0,1342	6,106	0,0000
2	30	2,4840	0,1342	18,509	0,0000
3	1	-0,1417	0,1342	-1,056	0,9784
3	10	1,0386	0,1342	7,739	0,0000
3	30	2,1213	0,1423	14,903	0,0000

Mat = 2

dp = 10	subtracted from:				
	Difference		SE of		Adjusted
Mat	dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	1,6644	0,1255	13,258	0,0000
3	1	-0,9612	0,1255	-7,656	0,0000
3	10	0,2191	0,1255	1,745	0,7166
3	30	1,3018	0,1342	9,700	0,0000

Mat = 2

dp = 30	subtracted from:				
	Difference		SE of		Adjusted
Mat	dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	-2,626	0,1255	-20,91	0,0000
3	10	-1,445	0,1255	-11,51	0,0000
3	30	-0,363	0,1342	-2,70	0,1673

Mat = 3

dp = 1	subtracted from:				
	Difference		SE of		Adjusted
Mat	dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	1,180	0,1255	9,402	0,0000
3	30	2,263	0,1342	16,862	0,0000

Mat = 3

dp = 10	subtracted from:				
	Difference		SE of		Adjusted

Mat	dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	1,083	0,1342	8,068	0,0000

7) ANOVA de IV(%) para todos os fatores

General Linear Model: IV(%) versus Mat; Dp; Teor

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30
Teor	fixed	2	10; 20

Mat	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30
Teor	fixed	2	10; 20

Mat	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30
Teor	fixed	2	10; 20

Mat	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30
Teor	fixed	2	10; 20

Analysis of Variance for IV(%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	24,230	22,745	11,373	36,82	0,000
Dp	2	302,181	304,349	152,175	492,67	0,000
Teor	1	42,017	42,081	42,081	136,24	0,000
Mat*Dp	4	59,643	54,866	13,717	44,41	0,000
Mat*Teor	2	11,954	11,709	5,854	18,95	0,000
Dp*Teor	2	60,670	61,141	30,571	98,97	0,000
Mat*Dp*Teor	4	35,462	35,462	8,866	28,70	0,000
Error	140	43,243	43,243	0,309		
Total	157	579,401				

S = 0,555770 R-Sq = 92,54% R-Sq(adj) = 91,63%

Unusual Observations for IV(%)

Obs	IV(%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
27	11,0478	9,1137	0,1853	1,9341	3,69 R
46	10,7908	11,9421	0,1853	-1,1513	-2,20 R
73	10,8130	12,3388	0,1853	-1,5259	-2,91 R
81	13,4203	12,3388	0,1853	1,0814	2,06 R
106	9,8954	8,7559	0,1853	1,1395	2,17 R
133	11,9570	10,8803	0,1853	1,0766	2,05 R
150	11,4764	12,9495	0,1853	-1,4731	-2,81 R
151	11,7300	12,9495	0,1853	-1,2195	-2,33 R
158	14,1925	12,9495	0,1853	1,2430	2,37 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de IV(%) para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: IV(%) versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for IV(%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	34,044	34,044	17,022	56,31	0,000
Dp	2	48,496	48,496	24,248	80,21	0,000
Mat*Dp	4	32,487	32,487	8,122	26,87	0,000
Error	72	21,766	21,766	0,302		
Total	80	136,794				

S = 0,549829 R-Sq = 84,09% R-Sq(adj) = 82,32%

Unusual Observations for IV(%)

Obs	IV(%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
27	11,0478	9,1137	0,1833	1,9341	3,73 R
46	10,7908	11,9421	0,1833	-1,1513	-2,22 R
73	10,8130	12,3388	0,1833	-1,5259	-2,94 R
81	13,4203	12,3388	0,1833	1,0814	2,09 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable IV(%)

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	SE of	T-Value	Adjusted	P-Value
1	10	1,316	0,2592	5,08	0,0001		

1	30	1,026	0,2592	3,96	0,0052
2	1	0,366	0,2592	1,41	0,8902
2	10	-0,145	0,2592	-0,56	0,9997
2	30	1,719	0,2592	6,63	0,0000
3	1	-2,675	0,2592	-10,32	0,0000
3	10	0,154	0,2592	0,59	0,9996
3	30	0,550	0,2592	2,12	0,4658

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	-0,290	0,2592	-1,12	0,9694
2	1	-0,950	0,2592	-3,67	0,0131
2	10	-1,461	0,2592	-5,64	0,0000
2	30	0,403	0,2592	1,56	0,8250
3	1	-3,991	0,2592	-15,40	0,0000
3	10	-1,162	0,2592	-4,48	0,0009
3	30	-0,765	0,2592	-2,95	0,0933

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	1	-0,660	0,2592	-2,55	0,2277
2	10	-1,171	0,2592	-4,52	0,0008
2	30	0,693	0,2592	2,67	0,1755
3	1	-3,700	0,2592	-14,28	0,0000
3	10	-0,872	0,2592	-3,36	0,0317
3	30	-0,475	0,2592	-1,83	0,6600

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	-0,511	0,2592	-1,97	0,5684
2	30	1,354	0,2592	5,22	0,0001
3	1	-3,040	0,2592	-11,73	0,0000
3	10	-0,212	0,2592	-0,82	0,9960
3	30	0,185	0,2592	0,71	0,9985

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	1,864	0,2592	7,193	0,0000
3	1	-2,529	0,2592	-9,759	0,0000
3	10	0,299	0,2592	1,153	0,9635
3	30	0,696	0,2592	2,684	0,1722

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	-4,394	0,2592	-16,95	0,0000
3	10	-1,565	0,2592	-6,04	0,0000
3	30	-1,169	0,2592	-4,51	0,0008

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	2,828	0,2592	10,91	0,0000
3	30	3,225	0,2592	12,44	0,0000

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted

Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	0,3968	0,2592	1,531	0,8372

b) ANOVA de IV(%) para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: IV(%) versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor Type Levels Values

Mat fixed 3 1; 2; 3

Dp fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for IV(%) , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	1,581	0,933	0,466	1,48	0,236
Dp	2	318,749	305,546	152,773	483,71	0,000
Mat*Dp	4	58,335	58,335	14,584	46,18	0,000
Error	68	21,477	21,477	0,316		
Total	76	400,141				

S = 0,561991 R-Sq = 94,63% R-Sq(adj) = 94,00%

Unusual Observations for IV(%)

Obs	IV(%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
25	9,8954	8,7559	0,1873	1,1395	2,15 R
52	11,9570	10,8803	0,1873	1,0766	2,03 R
69	11,4764	12,9495	0,1873	-1,4731	-2,78 R
70	11,7300	12,9495	0,1873	-1,2195	-2,30 R
77	14,1925	12,9495	0,1873	1,2430	2,35 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable IV(%)

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	6,032	0,2649	22,769	0,0000	
1	30	5,899	0,2832	20,830	0,0000	
2	1	1,899	0,2832	6,705	0,0000	
2	10	3,284	0,2649	12,397	0,0000	
2	30	6,514	0,2649	24,588	0,0000	
3	1	1,610	0,2649	6,079	0,0000	
3	10	3,735	0,2649	14,098	0,0000	
3	30	5,804	0,2649	21,908	0,0000	

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,133	0,2832	-0,47	0,9999	
2	1	-4,133	0,2832	-14,59	0,0000	
2	10	-2,748	0,2649	-10,37	0,0000	
2	30	0,482	0,2649	1,82	0,6699	
3	1	-4,422	0,2649	-16,69	0,0000	
3	10	-2,297	0,2649	-8,67	0,0000	
3	30	-0,228	0,2649	-0,86	0,9942	

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-4,000	0,3004	-13,32	0,0000	
2	10	-2,615	0,2832	-9,23	0,0000	
2	30	0,615	0,2832	2,17	0,4364	
3	1	-4,289	0,2832	-15,14	0,0000	
3	10	-2,164	0,2832	-7,64	0,0000	
3	30	-0,095	0,2832	-0,34	1,0000	

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	1,3853	0,2832	4,891	0,0002
2	30	4,6150	0,2832	16,295	0,0000
3	1	-0,2886	0,2832	-1,019	0,9827
3	10	1,8358	0,2832	6,482	0,0000
3	30	3,9050	0,2832	13,788	0,0000

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	3,230	0,2649	12,191	0,0000
3	1	-1,674	0,2649	-6,318	0,0000
3	10	0,451	0,2649	1,701	0,7440
3	30	2,520	0,2649	9,511	0,0000

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-4,904	0,2649	-18,51	0,0000
3	10	-2,779	0,2649	-10,49	0,0000
3	30	-0,710	0,2649	-2,68	0,1747

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	2,124	0,2649	8,019	0,0000
3	30	4,194	0,2649	15,829	0,0000

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	2,069	0,2649	7,810	0,0000

8) ANOVA de Mesp para todos os fatores

General Linear Model: Mesp versus Mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,019081	0,020616	0,010308	25,28	0,000
Teor	1	0,005202	0,005372	0,005372	13,18	0,000
Dp	2	0,050032	0,045895	0,022948	56,28	0,000
Mat*Teor	2	0,016812	0,017567	0,008783	21,54	0,000
Mat*Dp	4	0,136337	0,134466	0,033616	82,45	0,000
Teor*Dp	2	0,000225	0,000172	0,000086	0,21	0,810
Mat*Teor*Dp	4	0,022808	0,022808	0,005702	13,99	0,000
Error	140	0,057080	0,057080	0,000408		
Total	157	0,307578				

S = 0,0201920 R-Sq = 81,44% R-Sq(adj) = 79,19%

Unusual Observations for Mesp

Obs	Mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
37	2,26916	2,34731	0,00673	-0,07815	-4,10 R
113	2,37969	2,32334	0,00673	0,05635	2,96 R
114	2,25870	2,29915	0,00673	-0,04045	-2,12 R
123	2,41490	2,45429	0,00673	-0,03939	-2,07 R
130	2,50913	2,45429	0,00673	0,05484	2,88 R
131	2,51011	2,45429	0,00673	0,05582	2,93 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Mesp para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Mesp versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,004194	0,004194	0,002097	4,60	0,013
Dp	2	0,025747	0,025747	0,012874	28,26	0,000
Mat*Dp	4	0,114011	0,114011	0,028503	62,57	0,000
Error	72	0,032799	0,032799	0,000456		
Total	80	0,176751				

S = 0,0213435 R-Sq = 81,44% R-Sq(adj) = 79,38%

Unusual Observations for Mesp

Obs	Mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
63	2,37969	2,32334	0,00711	0,05635	2,80 R
64	2,25870	2,29915	0,00711	-0,04045	-2,01 R
80	2,50913	2,45429	0,00711	0,05484	2,73 R
81	2,51011	2,45429	0,00711	0,05582	2,77 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Mesp

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-0,02194	0,01006	-2,181	0,4289
1	30	-0,05410	0,01006	-5,377	0,0001
2	1	-0,00153	0,01006	-0,152	1,0000
2	10	-0,01668	0,01006	-1,658	0,7692
2	30	-0,00874	0,01006	-0,868	0,9939
3	1	-0,05843	0,01006	-5,807	0,0000
3	10	-0,08261	0,01006	-8,210	0,0000
3	30	0,07252	0,01006	7,208	0,0000

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,03215	0,01006	-3,196	0,0503
2	1	0,02042	0,01006	2,029	0,5289
2	10	0,00526	0,01006	0,523	0,9998
2	30	0,01321	0,01006	1,313	0,9244
3	1	-0,03648	0,01006	-3,626	0,0148
3	10	-0,06066	0,01006	-6,029	0,0000
3	30	0,09447	0,01006	9,389	0,0000

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	0,05257	0,01006	5,225	0,0001
2	10	0,03741	0,01006	3,719	0,0112
2	30	0,04536	0,01006	4,508	0,0008
3	1	-0,00433	0,01006	-0,430	1,0000
3	10	-0,02851	0,01006	-2,834	0,1236
3	30	0,12662	0,01006	12,585	0,0000

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,01515	0,01006	-1,506	0,8490

2	30	-0,00721	0,01006	-0,717	0,9984
3	1	-0,05690	0,01006	-5,655	0,0000
3	10	-0,08108	0,01006	-8,059	0,0000
3	30	0,07405	0,01006	7,360	0,0000

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,00794	0,01006	0,790	0,9968
3	1	-0,04174	0,01006	-4,149	0,0028
3	10	-0,06593	0,01006	-6,552	0,0000
3	30	0,08921	0,01006	8,866	0,0000

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-0,04969	0,01006	-4,939	0,0002
3	10	-0,07387	0,01006	-7,342	0,0000
3	30	0,08126	0,01006	8,077	0,0000

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-0,02418	0,01006	-2,403	0,2981
3	30	0,13095	0,01006	13,015	0,0000

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,1551	0,01006	15,42	0,0000

b) ANOVA de Mesp para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: Mesp versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,032733	0,033402	0,016701	46,77	0,000
Dp	2	0,023793	0,020410	0,010205	28,58	0,000
Mat*Dp	4	0,045065	0,045065	0,011266	31,55	0,000
Error	68	0,024281	0,024281	0,000357		
Total	76	0,125873				

S = 0,0188964 R-Sq = 80,71% R-Sq(adj) = 78,44%

Unusual Observations for Mesp

Obs	Mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
10	2,26916	2,34731	0,00630	-0,07815	-4,39 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Mesp

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	0,033862	0,008908	3,8014	0,0089
1	30	0,002509	0,009523	0,2635	1,0000
2	1	0,053529	0,009523	5,6211	0,0000
2	10	0,005950	0,008908	0,6679	0,9990
2	30	0,053174	0,008908	5,9694	0,0000
3	1	0,050967	0,008908	5,7215	0,0000
3	10	0,017534	0,008908	1,9684	0,5701

```

3 30 0,120554 0,008908 13,5334 0,0000
Mat = 1
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
1 30 -0,03135 0,009523 -3,292 0,0394
2 1 0,01967 0,009523 2,065 0,5050
2 10 -0,02791 0,008908 -3,133 0,0601
2 30 0,01931 0,008908 2,168 0,4378
3 1 0,01710 0,008908 1,920 0,6026
3 10 -0,01633 0,008908 -1,833 0,6606
3 30 0,08669 0,008908 9,732 0,0000
Mat = 1
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2 1 0,051020 0,010101 5,0512 0,0001
2 10 0,003441 0,009523 0,3613 1,0000
2 30 0,050665 0,009523 5,3204 0,0001
3 1 0,048457 0,009523 5,0885 0,0001
3 10 0,015025 0,009523 1,5778 0,8133
3 30 0,118045 0,009523 12,3959 0,0000
Mat = 2
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2 10 -0,04758 0,009523 -4,996 0,0002
2 30 -0,00035 0,009523 -0,037 1,0000
3 1 -0,00256 0,009523 -0,269 1,0000
3 10 -0,03599 0,009523 -3,780 0,0095
3 30 0,06702 0,009523 7,038 0,0000
Mat = 2
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2 30 0,04722 0,008908 5,301 0,0001
3 1 0,04502 0,008908 5,054 0,0001
3 10 0,01158 0,008908 1,301 0,9278
3 30 0,11460 0,008908 12,866 0,0000
Mat = 2
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
3 1 -0,00221 0,008908 -0,248 1,0000
3 10 -0,03564 0,008908 -4,001 0,0047
3 30 0,06738 0,008908 7,564 0,0000
Mat = 3
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
3 10 -0,03343 0,008908 -3,753 0,0103
3 30 0,06959 0,008908 7,812 0,0000
Mat = 3
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
3 30 0,1030 0,008908 11,57 0,0000

```

9) ANOVA de Est 1 para todos os fatores

General Linear Model: Est 1 versus Mat; Teor; Dp

```

Factor Type Levels Values
Mat fixed 3 1; 2; 3

```

Teor fixed 2 10; 20
 Dp fixed 3 1; 10; 30
 Analysis of Variance for Est 1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,0012858	0,0014653	0,0007327	13,03	0,000
Teor	1	0,0045503	0,0034931	0,0034931	62,11	0,000
Dp	2	0,0022420	0,0035338	0,0017669	31,42	0,000
Mat*Teor	2	0,0057968	0,0053418	0,0026709	47,49	0,000
Mat*Dp	4	0,0069769	0,0061975	0,0015494	27,55	0,000
Teor*Dp	2	0,0046509	0,0045183	0,0022591	40,17	0,000
Mat*Teor*Dp	4	0,0053130	0,0053130	0,0013282	23,62	0,000
Error	23	0,0012935	0,0012935	0,0000562		
Total	40	0,0321093				

S = 0,00749940 R-Sq = 95,97% R-Sq(adj) = 92,99%

Unusual Observations for Est 1

Obs	Est 1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
14	0,081000	0,096000	0,004330	-0,015000	-2,45 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Est 1 para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Est 1 versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Est 1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,0038189	0,0035424	0,0017712	26,15	0,000
Dp	2	0,0026970	0,0039040	0,0019520	28,82	0,000
Mat*Dp	4	0,0110758	0,0110758	0,0027690	40,88	0,000
Error	14	0,0009484	0,0009484	0,0000677		
Total	22	0,0185401				

S = 0,00823047 R-Sq = 94,88% R-Sq(adj) = 91,96%

Unusual Observations for Est 1

Obs	Est 1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
14	0,081000	0,096000	0,004752	-0,015000	-2,23 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est 1

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-0,04245	0,007513	-5,650	0,0014
1	30	0,00643	0,006720	0,957	0,9843
2	1	0,03710	0,006720	5,521	0,0018
2	10	-0,00240	0,007513	-0,319	1,0000
2	30	0,00080	0,006720	0,119	1,0000
3	1	-0,06125	0,007513	-8,152	0,0000
3	10	-0,01763	0,006720	-2,624	0,2583
3	30	0,02775	0,007513	3,693	0,0446

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,04888	0,007513	6,506	0,0004
2	1	0,07955	0,007513	10,588	0,0000
2	10	0,04005	0,008230	4,866	0,0055
2	30	0,04325	0,007513	5,756	0,0012
3	1	-0,01880	0,008230	-2,284	0,4096
3	10	0,02482	0,007513	3,303	0,0876
3	30	0,07020	0,008230	8,529	0,0000

Mat = 1
 Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	0,03067	0,006720	4,563	0,0095
2	10	-0,00883	0,007513	-1,176	0,9494
2	30	-0,00563	0,006720	-0,838	0,9932
3	1	-0,06768	0,007513	-9,008	0,0000
3	10	-0,02407	0,006720	-3,581	0,0542
3	30	0,02132	0,007513	2,837	0,1873

Mat = 2
 Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,03950	0,007513	-5,26	0,0028
2	30	-0,03630	0,006720	-5,40	0,0022
3	1	-0,09835	0,007513	-13,09	0,0000
3	10	-0,05473	0,006720	-8,14	0,0000
3	30	-0,00935	0,007513	-1,24	0,9321

Mat = 2
 Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,00320	0,007513	0,426	0,9999
3	1	-0,05885	0,008230	-7,150	0,0001
3	10	-0,01523	0,007513	-2,028	0,5503
3	30	0,03015	0,008230	3,663	0,0470

Mat = 2
 Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-0,06205	0,007513	-8,259	0,0000
3	10	-0,01843	0,006720	-2,743	0,2164
3	30	0,02695	0,007513	3,587	0,0537

Mat = 3
 Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	0,04362	0,007513	5,805	0,0011
3	30	0,08900	0,008230	10,813	0,0000

Mat = 3
 Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,04538	0,007513	6,040	0,0008

b) ANOVA de Est 1 para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: Est 1 versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor Type Levels Values
 Mat fixed 3 1; 2; 3
 Dp fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Est 1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,0033760	0,0033760	0,0016880	44,01	0,000
Dp	2	0,0041076	0,0041076	0,0020538	53,55	0,000
Mat*Dp	4	0,0012128	0,0012128	0,0003032	7,91	0,005
Error	9	0,0003452	0,0003452	0,0000384		
Total	17	0,0090415				

S = 0,00619296 R-Sq = 96,18% R-Sq(adj) = 92,79%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est 1

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

```

Mat = 1
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
1   10   0,032250   0,006193   5,208    0,0097
1   30   0,027550   0,006193   4,449    0,0258
2    1   0,006800   0,006193   1,098    0,9603
2   10   0,024950   0,006193   4,029    0,0453
2   30   0,034950   0,006193   5,644    0,0056
3    1   0,023600   0,006193   3,811    0,0609
3   10   0,080550   0,006193  13,007    0,0000
3   30   0,046050   0,006193   7,436    0,0008
Mat = 1
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
1   30  -0,00470   0,006193  -0,759    0,9956
2    1  -0,02545   0,006193  -4,110    0,0406
2   10  -0,00730   0,006193  -1,179    0,9428
2   30   0,00270   0,006193   0,436    0,9999
3    1  -0,00865   0,006193  -1,397    0,8743
3   10   0,04830   0,006193   7,799    0,0005
3   30   0,01380   0,006193   2,228    0,4594
Mat = 1
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2    1  -0,02075   0,006193  -3,351    0,1137
2   10  -0,00260   0,006193  -0,420    0,9999
2   30   0,00740   0,006193   1,195    0,9388
3    1  -0,00395   0,006193  -0,638    0,9986
3   10   0,05300   0,006193   8,558    0,0003
3   30   0,01850   0,006193   2,987    0,1843
Mat = 2
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2   10   0,01815   0,006193   2,931    0,1984
2   30   0,02815   0,006193   4,545    0,0227
3    1   0,01680   0,006193   2,713    0,2618
3   10   0,07375   0,006193  11,909    0,0000
3   30   0,03925   0,006193   6,338    0,0025
Mat = 2
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2   30   0,010000   0,006193   1,6147   0,7783
3    1  -0,001350   0,006193  -0,2180   1,0000
3   10   0,055600   0,006193   8,9779   0,0002
3   30   0,021100   0,006193   3,4071   0,1054
Mat = 2
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
3    1  -0,01135   0,006193  -1,833    0,6657
3   10   0,04560   0,006193   7,363    0,0008
3   30   0,01110   0,006193   1,792    0,6872
Mat = 3
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Mat Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value

```

3 10 0,05695 0,006193 9,196 0,0002
 3 30 0,02245 0,006193 3,625 0,0784

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	-0,03450	0,006193	-5,571	0,0062

10) ANOVA de Pt para todos os fatores

General Linear Model: Pt versus mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
mat	2	0,050099	0,046759	0,023379	17,79	0,000
Teor	1	0,063052	0,035602	0,035602	27,10	0,000
Dp	2	0,023211	0,032371	0,016186	12,32	0,000
mat*Teor	2	0,067969	0,076152	0,038076	28,98	0,000
mat*Dp	4	0,058430	0,061701	0,015425	11,74	0,000
Teor*Dp	2	0,019781	0,017306	0,008653	6,59	0,004
mat*Teor*Dp	4	0,027434	0,027434	0,006859	5,22	0,003
Error	30	0,039415	0,039415	0,001314		
Total	47	0,349392				

S = 0,0362469 R-Sq = 88,72% R-Sq(adj) = 82,33%

Unusual Observations for Pt

Obs	Pt	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	0,307629	0,380500	0,020927	-0,072871	-2,46 R
6	0,471068	0,380500	0,020927	0,090568	3,06 R
21	0,275068	0,358556	0,020927	-0,083488	-2,82 R
23	0,419625	0,358556	0,020927	0,061069	2,06 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Pt para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Pt versus mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
mat	2	0,029040	0,032485	0,016242	7,36	0,007
Dp	2	0,006962	0,007992	0,003996	1,81	0,200
mat*Dp	4	0,065412	0,065412	0,016353	7,41	0,002
Error	14	0,030909	0,030909	0,002208		
Total	22	0,132322				

S = 0,0469870 R-Sq = 76,64% R-Sq(adj) = 63,29%

Unusual Observations for Pt

Obs	Pt	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	0,471068	0,380500	0,027128	0,090568	2,36 R
21	0,275068	0,358556	0,027128	-0,083488	-2,18 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of mat*Dp

mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-0,0981	0,04289	-2,288	0,4076
1	30	-0,0753	0,04289	-1,756	0,7071
2	1	0,0584	0,03836	1,523	0,8279

2	10	-0,0159	0,04289	-0,371	1,0000
2	30	0,0370	0,03836	0,964	0,9837
3	1	-0,1690	0,04289	-3,939	0,0288
3	10	-0,0171	0,03836	-0,445	0,9999
3	30	0,0365	0,03836	0,951	0,9849
mat = 1					
Dp = 10 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	0,02283	0,04699	0,486	0,9999
2	1	0,15658	0,04289	3,651	0,0480
2	10	0,08224	0,04699	1,750	0,7102
2	30	0,13512	0,04289	3,150	0,1132
3	1	-0,07083	0,04699	-1,507	0,8351
3	10	0,08108	0,04289	1,890	0,6300
3	30	0,13464	0,04289	3,139	0,1153
mat = 1					
Dp = 30 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	1	0,13375	0,04289	3,118	0,1193
2	10	0,05941	0,04699	1,264	0,9264
2	30	0,11229	0,04289	2,618	0,2606
3	1	-0,09366	0,04699	-1,993	0,5701
3	10	0,05825	0,04289	1,358	0,8961
3	30	0,11181	0,04289	2,607	0,2648
mat = 2					
Dp = 1 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	-0,0743	0,04289	-1,733	0,7197
2	30	-0,0215	0,03836	-0,560	0,9996
3	1	-0,2274	0,04289	-5,302	0,0026
3	10	-0,0755	0,03836	-1,968	0,5846
3	30	-0,0219	0,03836	-0,572	0,9995
mat = 2					
Dp = 10 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	0,0529	0,04289	1,233	0,9352
3	1	-0,1531	0,04699	-3,258	0,0946
3	10	-0,0012	0,04289	-0,027	1,0000
3	30	0,0524	0,04289	1,222	0,9382
mat = 2					
Dp = 30 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	-0,2059	0,04289	-4,801	0,0062
3	10	-0,0540	0,03836	-1,409	0,8771
3	30	-0,0005	0,03836	-0,012	1,0000
mat = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	0,1519	0,04289	3,541	0,0581
3	30	0,2055	0,04289	4,790	0,0063
mat = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
Difference SE of Adjusted					
mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	0,05356	0,03836	1,396	0,8819

b) ANOVA de Pt para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: Pt versus mat; Dp (Teor=20%)

Factor	Type	Levels	Values
mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
mat	2	0,074196	0,088048	0,044024	82,81	0,000
Dp	2	0,042343	0,044174	0,022087	41,54	0,000
mat*Dp	4	0,021111	0,021111	0,005278	9,93	0,000
Error	16	0,008506	0,008506	0,000532		
Total	24	0,146156				

S = 0,0230574 R-Sq = 94,18% R-Sq(adj) = 91,27%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of mat*Dp

mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	0,11153	0,01883	5,924	0,0006
1	30	0,08855	0,01883	4,704	0,0056
2	1	0,07197	0,01883	3,823	0,0304
2	10	0,06583	0,01883	3,497	0,0560
2	30	0,13882	0,01883	7,374	0,0001
3	1	0,12177	0,01883	6,468	0,0002
3	10	0,27825	0,02105	13,219	0,0000
3	30	0,23336	0,02105	11,087	0,0000

mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,02297	0,01883	-1,220	0,9401
2	1	-0,03956	0,01883	-2,101	0,5045
2	10	-0,04569	0,01883	-2,427	0,3330
2	30	0,02730	0,01883	1,450	0,8621
3	1	0,01025	0,01883	0,544	0,9997
3	10	0,16672	0,02105	7,921	0,0000
3	30	0,12184	0,02105	5,788	0,0007

mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-0,01659	0,01883	-0,881	0,9910
2	10	-0,02272	0,01883	-1,207	0,9434
2	30	0,05027	0,01883	2,670	0,2326
3	1	0,03322	0,01883	1,765	0,7024
3	10	0,18969	0,02105	9,012	0,0000
3	30	0,14481	0,02105	6,880	0,0001

mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,006134	0,01883	-0,3258	1,0000
2	30	0,066857	0,01883	3,5513	0,0506
3	1	0,049808	0,01883	2,6457	0,2416
3	10	0,206279	0,02105	9,8002	0,0000
3	30	0,161398	0,02105	7,6679	0,0000

mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
--	----	---------------------	------------------	---------	------------------

mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	0,07299	0,01883	3,877	0,0274
3	1	0,05594	0,01883	2,972	0,1426
3	10	0,21241	0,02105	10,092	0,0000
3	30	0,16753	0,02105	7,959	0,0000

mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	-0,01705	0,01883	-0,9056	0,9893
3	10	0,13942	0,02105	6,6239	0,0002
3	30	0,09454	0,02105	4,4916	0,0084

mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	0,1565	0,02105	7,434	0,0001
3	30	0,1116	0,02105	5,302	0,0018

mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	-0,04488	0,02306	-1,947	0,5954

11) ANOVA de Est 2 para todos os fatores

General Linear Model: Est 2 versus Mat; Dp; Teor

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30
Teor	fixed	2	10; 20

Analysis of Variance for Est 2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,0005063	0,0006300	0,0003150	69,20	0,000
Dp	2	0,0002573	0,0004765	0,0002383	52,34	0,000
Teor	1	0,0012308	0,0013837	0,0013837	303,99	0,000
Mat*Dp	4	0,0022741	0,0023671	0,0005918	130,01	0,000
Mat*Teor	2	0,0007515	0,0008791	0,0004395	96,56	0,000
Dp*Teor	2	0,0001979	0,0001885	0,0000943	20,71	0,000
Mat*Dp*Teor	4	0,0009242	0,0009242	0,0002310	50,76	0,000
Error	29	0,0001320	0,0001320	0,0000046		
Total	46	0,0062742				

S = 0,00213352 R-Sq = 97,90% R-Sq(adj) = 96,66%

Unusual Observations for Est 2

Obs	Est 2	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
10	0,016600	0,012967	0,001232	0,003633	2,09 R
43	0,011300	0,016000	0,001232	-0,004700	-2,70 R
45	0,019600	0,016000	0,001232	0,003600	2,07 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Est 2 para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: Est 2 versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Est 2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,0004880	0,0006657	0,0003329	96,01	0,000
Dp	2	0,0003327	0,0005565	0,0002782	80,26	0,000
Mat*Dp	4	0,0028797	0,0028797	0,0007199	207,66	0,000
Error	14	0,0000485	0,0000485	0,0000035		
Total	22	0,0037489				

S = 0,00186196 R-Sq = 98,71% R-Sq(adj) = 97,97%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est 2

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-0,01162	0,001700	-6,834	0,0002
1	30	-0,00915	0,001862	-4,914	0,0051
2	1	0,02960	0,001862	15,897	0,0000
2	10	-0,00508	0,001700	-2,991	0,1469
2	30	-0,00452	0,001700	-2,657	0,2460
3	1	-0,01482	0,001700	-8,717	0,0000
3	10	-0,00315	0,001700	-1,853	0,6515
3	30	0,01765	0,001862	9,479	0,0000

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,002467	0,001700	1,451	0,8598
2	1	0,041217	0,001700	24,249	0,0000
2	10	0,006533	0,001520	4,297	0,0152
2	30	0,007100	0,001520	4,670	0,0078
3	1	-0,003200	0,001520	-2,105	0,5062
3	10	0,008467	0,001520	5,569	0,0016
3	30	0,029267	0,001700	17,218	0,0000

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	0,038750	0,001862	20,811	0,0000
2	10	0,004067	0,001700	2,393	0,3564
2	30	0,004633	0,001700	2,726	0,2221
3	1	-0,005667	0,001700	-3,334	0,0831
3	10	0,006000	0,001700	3,530	0,0593
3	30	0,026800	0,001862	14,393	0,0000

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,03468	0,001700	-20,41	0,0000
2	30	-0,03412	0,001700	-20,07	0,0000
3	1	-0,04442	0,001700	-26,13	0,0000
3	10	-0,03275	0,001700	-19,27	0,0000
3	30	-0,01195	0,001862	-6,42	0,0004

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,000567	0,001520	0,373	1,0000
3	1	-0,009733	0,001520	-6,402	0,0004
3	10	0,001933	0,001520	1,272	0,9243
3	30	0,022733	0,001700	13,375	0,0000

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-0,01030	0,001520	-6,775	0,0002
3	10	0,00137	0,001520	0,899	0,9893
3	30	0,02217	0,001700	13,041	0,0000

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	0,01167	0,001520	7,674	0,0001
3	30	0,03247	0,001700	19,101	0,0000

Mat = 3
Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,02080	0,001700	12,24	0,0000

**b) ANOVA de Est 2 para os fatores Material e Dp das ACN20
General Linear Model: Est 2 versus Mat; Dp (Teor=20%)**

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Est 2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	0,0006729	0,0007800	0,0003900	70,09	0,000
Dp	2	0,0000854	0,0001197	0,0000598	10,75	0,001
Mat*Dp	4	0,0004430	0,0004430	0,0001107	19,90	0,000
Error	15	0,0000835	0,0000835	0,0000056		
Total	23	0,0012847				

S = 0,00235893 R-Sq = 93,50% R-Sq(adj) = 90,04%

Unusual Observations for Est 2

Obs	Est 2	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	0,011300	0,016000	0,001362	-0,004700	-2,44 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Est 2
All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1
Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-0,000717	0,002153	-0,333	1,0000
1	30	-0,002200	0,001926	-1,142	0,9573
2	1	-0,000933	0,001926	-0,485	0,9999
2	10	-0,002833	0,001926	-1,471	0,8523
2	30	-0,004633	0,001926	-2,406	0,3465
3	1	0,006183	0,002153	2,871	0,1728
3	10	0,003033	0,001926	1,575	0,8039
3	30	0,022783	0,002153	10,580	0,0000

Mat = 1
Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,001483	0,002153	-0,689	0,9982
2	1	-0,000217	0,002153	-0,101	1,0000
2	10	-0,002117	0,002153	-0,983	0,9820
2	30	-0,003917	0,002153	-1,819	0,6711
3	1	0,006900	0,002359	2,925	0,1584
3	10	0,003750	0,002153	1,741	0,7154
3	30	0,023500	0,002359	9,962	0,0000

Mat = 1
Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	0,001267	0,001926	0,658	0,9987
2	10	-0,000633	0,001926	-0,329	1,0000
2	30	-0,002433	0,001926	-1,263	0,9276
3	1	0,008383	0,002153	3,893	0,0287

3	10	0,005233	0,001926	2,717	0,2204
3	30	0,024983	0,002153	11,602	0,0000
Mat = 2					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	-0,001900	0,001926	-0,986	0,9816
2	30	-0,003700	0,001926	-1,921	0,6113
3	1	0,007117	0,002153	3,305	0,0832
3	10	0,003967	0,001926	2,059	0,5303
3	30	0,023717	0,002153	11,014	0,0000
Mat = 2					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	-0,001800	0,001926	-0,9346	0,9867
3	1	0,009017	0,002153	4,1872	0,0167
3	10	0,005867	0,001926	3,0459	0,1297
3	30	0,025617	0,002153	11,8959	0,0000
Mat = 2					
Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	0,010817	0,002153	5,023	0,0035
3	10	0,007667	0,001926	3,980	0,0245
3	30	0,027417	0,002153	12,732	0,0000
Mat = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	-0,003150	0,002153	-1,463	0,8558
3	30	0,016600	0,002359	7,037	0,0001
Mat = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	0,01975	0,002153	9,172	0,0000

12) ANOVA de k para todos os fatores

General Linear Model: k versus Mat; Teor; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Teor	fixed	2	10; 20
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for k, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	13,4174	23,3550	11,6775	189,37	0,000
Teor	1	62,9315	57,6927	57,6927	935,56	0,000
Dp	2	21,4851	13,4329	6,7164	108,92	0,000
Mat*Teor	2	3,0119	6,1415	3,0707	49,80	0,000
Mat*Dp	4	11,7604	12,2714	3,0678	49,75	0,000
Teor*Dp	2	38,1071	39,3252	19,6626	318,85	0,000
Mat*Teor*Dp	4	7,7886	7,7886	1,9471	31,58	0,000
Error	45	2,7750	2,7750	0,0617		
Total	62	161,2770				

S = 0,248327 R-Sq = 98,28% R-Sq(adj) = 97,63%

Unusual Observations for k

Obs	k	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
17	4,86723	5,31444	0,14337	-0,44720	-2,21 R
31	3,96281	4,52697	0,10138	-0,56416	-2,49 R
53	5,02476	5,48286	0,12416	-0,45810	-2,13 R
54	5,15795	5,63651	0,12416	-0,47857	-2,23 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de k para os fatores Material e Dp das ACN10

General Linear Model: k versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for k, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	13,9439	14,8550	7,4275	106,48	0,000
Dp	2	1,9481	3,3124	1,6562	23,74	0,000
Mat*Dp	4	4,1666	4,1666	1,0416	14,93	0,000
Error	21	1,4649	1,4649	0,0698		
Total	29	21,5236				

S = 0,264117 R-Sq = 93,19% R-Sq(adj) = 90,60%

Unusual Observations for k

Obs	k	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
10	3,96281	4,52697	0,10783	-0,56416	-2,34 R
24	5,15795	5,63651	0,13206	-0,47857	-2,09 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable k

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	0,1805	0,2017	0,895	0,9909
1	30	-0,3651	0,2287	-1,596	0,7965
2	1	0,3154	0,1868	1,689	0,7466
2	10	0,2236	0,1705	1,311	0,9168
2	30	0,1939	0,2017	0,961	0,9857
3	1	3,0859	0,2287	13,491	0,0000
3	10	1,3331	0,1868	7,138	0,0000
3	30	0,8756	0,2287	3,828	0,0221

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,5457	0,2411	-2,263	0,4047
2	1	0,1348	0,2017	0,668	0,9987
2	10	0,0431	0,1868	0,231	1,0000
2	30	0,0133	0,2157	0,062	1,0000
3	1	2,9053	0,2411	12,050	0,0000
3	10	1,1526	0,2017	5,714	0,0003
3	30	0,6951	0,2411	2,883	0,1495

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	0,6805	0,2287	2,975	0,1262
2	10	0,5887	0,2157	2,730	0,1961
2	30	0,5590	0,2411	2,319	0,3748
3	1	3,4510	0,2641	13,066	0,0000
3	10	1,6983	0,2287	7,425	0,0000
3	30	1,2408	0,2641	4,698	0,0032

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,0918	0,1705	-0,5384	0,9997
2	30	-0,1215	0,2017	-0,6023	0,9994

3	1	2,7705	0,2287	12,1123	0,0000
3	10	1,0178	0,1868	5,4496	0,0006
3	30	0,5603	0,2287	2,4494	0,3095

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,02972	0,1868	-0,1591	1,0000
3	1	2,86226	0,2157	13,2726	0,0000
3	10	1,10954	0,1705	6,5081	0,0001
3	30	0,65204	0,2157	3,0236	0,1152

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	2,8920	0,2411	11,995	0,0000
3	10	1,1393	0,2017	5,648	0,0004
3	30	0,6818	0,2411	2,828	0,1652

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-1,753	0,2287	-7,663	0,0000
3	30	-2,210	0,2641	-8,368	0,0000

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	-0,4575	0,2287	-2,000	0,5593

b) ANOVA de k para os fatores Material e Dp das ACN20
General Linear Model: k versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor Type Levels Values

Mat fixed 3 1; 2; 3

Dp fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for k, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	9,847	12,831	6,416	117,53	0,000
Dp	2	55,794	54,693	27,346	500,98	0,000
Mat*Dp	4	16,832	16,832	4,208	77,09	0,000
Error	24	1,310	1,310	0,055		
Total	32	83,783				

S = 0,233637 R-Sq = 98,44% R-Sq(adj) = 97,92%

Unusual Observations for k

Obs	k	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	4,86723	5,31444	0,13489	-0,44720	-2,34 R
10	5,71684	5,31444	0,13489	0,40240	2,11 R
30	5,02476	5,48286	0,11682	-0,45810	-2,26 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable k

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	4,2587	0,1784	23,866	0,0000
1	30	2,1273	0,1784	11,921	0,0000
2	1	-0,6592	0,1784	-3,694	0,0260
2	10	1,5177	0,1652	9,186	0,0000
2	30	2,3119	0,1652	13,994	0,0000
3	1	0,8755	0,1652	5,300	0,0006

3	10	2,2649	0,1652	13,710	0,0000
3	30	4,4271	0,1652	26,797	0,0000
Mat = 1					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	-2,131	0,1908	-11,17	0,0000
2	1	-4,918	0,1908	-25,78	0,0000
2	10	-2,741	0,1784	-15,36	0,0000
2	30	-1,947	0,1784	-10,91	0,0000
3	1	-3,383	0,1784	-18,96	0,0000
3	10	-1,994	0,1784	-11,17	0,0000
3	30	0,168	0,1784	0,94	0,9876
Mat = 1					
Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	1	-2,786	0,1908	-14,61	0,0000
2	10	-0,610	0,1784	-3,42	0,0482
2	30	0,185	0,1784	1,03	0,9781
3	1	-1,252	0,1784	-7,01	0,0000
3	10	0,138	0,1784	0,77	0,9967
3	30	2,300	0,1784	12,89	0,0000
Mat = 2					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	2,177	0,1784	12,199	0,0000
2	30	2,971	0,1784	16,650	0,0000
3	1	1,535	0,1784	8,601	0,0000
3	10	2,924	0,1784	16,387	0,0000
3	30	5,086	0,1784	28,504	0,0000
Mat = 2					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	0,7942	0,1652	4,808	0,0019
3	1	-0,6421	0,1652	-3,887	0,0168
3	10	0,7472	0,1652	4,523	0,0037
3	30	2,9094	0,1652	17,611	0,0000
Mat = 2					
Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	-1,436	0,1652	-8,694	0,0000
3	10	-0,047	0,1652	-0,285	1,0000
3	30	2,115	0,1652	12,803	0,0000
Mat = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	1,389	0,1652	8,410	0,0000
3	30	3,552	0,1652	21,498	0,0000
Mat = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Mat	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	2,162	0,1652	13,09	0,0000

13) ANOVA de Q para todos os fatores

General Linear Model: Q versus Mat; Dp; Teor

Factor Type Levels Values

Mat fixed 3 1; 2; 3
 Dp fixed 3 1; 10; 30
 Teor fixed 2 10; 20

Analysis of Variance for Q, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	70215507	70215507	35107754	29,95	0,000
Dp	2	310577372	310577372	155288686	132,45	0,000
Teor	1	1338496614	1338496614	1338496614	1141,67	0,000
Mat*Dp	4	275442869	275442869	68860717	58,73	0,000
Mat*Teor	2	53546671	53546671	26773336	22,84	0,000
Dp*Teor	2	15451486	15451486	7725743	6,59	0,004
Mat*Dp*Teor	4	15126851	15126851	3781713	3,23	0,023
Error	36	42206565	42206565	1172405		
Total	53	2121063935				

S = 1082,78 R-Sq = 98,01% R-Sq(adj) = 97,07%

Unusual Observations for Q

Obs	Q	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
28	14201,6	16023,5	625,1	-1821,8	-2,06 R
30	15894,8	17678,4	625,1	-1783,6	-2,02 R
47	13733,7	15770,2	625,1	-2036,5	-2,30 R
52	20164,4	22087,7	625,1	-1923,3	-2,18 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a) ANOVA de Q para os fatores Material e Dp das ACN10
General Linear Model: Q versus Mat; Dp (Teor=10%)

Factor	Type	Levels	Values
Mat	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Q, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	22199146	22199146	11099573	6,10	0,009
Dp	2	113732700	113732700	56866350	31,26	0,000
Mat*Dp	4	147677840	147677840	36919460	20,29	0,000
Error	18	32748638	32748638	1819369		
Total	26	316358325				

S = 1348,84 R-Sq = 89,65% R-Sq(adj) = 85,05%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Q

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-677	1101	-0,614	0,9993
1	30	2079	1101	1,888	0,6293
2	1	1931	1101	1,753	0,7092
2	10	3892	1101	3,534	0,0471
2	30	2238	1101	2,032	0,5427
3	1	-4361	1101	-3,960	0,0201
3	10	1014	1101	0,921	0,9886
3	30	8302	1101	7,538	0,0000

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	2756	1101	2,502	0,2928
2	1	2607	1101	2,368	0,3560
2	10	4569	1101	4,149	0,0137
2	30	2914	1101	2,646	0,2344
3	1	-3685	1101	-3,346	0,0679
3	10	1691	1101	1,535	0,8253
3	30	8978	1101	8,152	0,0000

Mat = 1
 Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-148	1101	-0,135	1,0000
2	10	1813	1101	1,646	0,7688
2	30	158	1101	0,144	1,0000
3	1	-6440	1101	-5,848	0,0004
3	10	-1065	1101	-0,967	0,9845
3	30	6222	1101	5,650	0,0006

Mat = 2
 Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	1962	1101	1,781	0,6929
2	30	307	1101	0,278	1,0000
3	1	-6292	1101	-5,713	0,0006
3	10	-917	1101	-0,832	0,9940
3	30	6371	1101	5,785	0,0005

Mat = 2
 Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-1655	1101	-1,503	0,8405
3	1	-8254	1101	-7,494	0,0000
3	10	-2878	1101	-2,614	0,2468
3	30	4409	1101	4,004	0,0184

Mat = 2
 Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-6599	1101	-5,992	0,0003
3	10	-1223	1101	-1,111	0,9649
3	30	6064	1101	5,506	0,0008

Mat = 3
 Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	5375	1101	4,881	0,0030
3	30	12663	1101	11,498	0,0000

Mat = 3
 Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	7288	1101	6,617	0,0001

b) ANOVA de Q para os fatores Material e Dp das ACN20

General Linear Model: Q versus Mat; Dp (Teor=20%)

Factor Type Levels Values
 Mat fixed 3 1; 2; 3
 Dp fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Q, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mat	2	101563033	101563033	50781517	96,65	0,000
Dp	2	212296157	212296157	106148078	202,02	0,000
Mat*Dp	4	142891879	142891879	35722970	67,99	0,000
Error	18	9457927	9457927	525440		
Total	26	466208996				

S = 724,873 R-Sq = 97,97% R-Sq(adj) = 97,07%

Unusual Observations for Q

Obs	Q	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
25	13733,7	15770,3	418,5	-2036,5	-3,44 R

27 16997,2 15770,3 418,5 1227,0 2,07 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Q

All Pairwise Comparisons among Levels of Mat*Dp

Mat = 1

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-3192	591,9	-5,394	0,0011
1	30	524	591,9	0,885	0,9911
2	1	-2298	591,9	-3,883	0,0235
2	10	-922	591,9	-1,558	0,8140
2	30	2509	591,9	4,240	0,0113
3	1	-2632	591,9	-4,447	0,0074
3	10	2034	591,9	3,436	0,0571
3	30	11135	591,9	18,813	0,0000

Mat = 1

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	3716,0	591,9	6,2786	0,0002
2	1	894,3	591,9	1,5110	0,8367
2	10	2269,9	591,9	3,8353	0,0259
2	30	5701,7	591,9	9,6336	0,0000
3	1	560,0	591,9	0,9462	0,9864
3	10	5225,8	591,9	8,8295	0,0000
3	30	14327,1	591,9	24,2070	0,0000

Mat = 1

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-2822	591,9	-4,768	0,0038
2	10	-1446	591,9	-2,443	0,3195
2	30	1986	591,9	3,355	0,0667
3	1	-3156	591,9	-5,332	0,0012
3	10	1510	591,9	2,551	0,2720
3	30	10611	591,9	17,928	0,0000

Mat = 2

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	1375,6	591,9	2,3243	0,3779
2	30	4807,4	591,9	8,1226	0,0000
3	1	-334,2	591,9	-0,5647	0,9996
3	10	4331,6	591,9	7,3186	0,0000
3	30	13432,8	591,9	22,6961	0,0000

Mat = 2

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	3432	591,9	5,798	0,0005
3	1	-1710	591,9	-2,889	0,1564
3	10	2956	591,9	4,994	0,0024
3	30	12057	591,9	20,372	0,0000

Mat = 2

Dp = 30 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-5142	591,9	-8,687	0,0000
3	10	-476	591,9	-0,804	0,9952

3 30 8625 591,9 14,573 0,0000

Mat = 3

Dp = 1 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	4666	591,9	7,883	0,0000
3	30	13767	591,9	23,261	0,0000

Mat = 3

Dp = 10 subtracted from:

Mat	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	9101	591,9	15,38	0,0000

14) ANOVA dos parâmetros de porosimetria para todos os fatores

General Linear Model: $\phi > 10\mu\text{m}$; G; ... versus Material; Dp

Factor Type Levels Values

Material fixed 2 1; 3

Dp fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for $\phi > 10\mu\text{m}$, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	1	1,20	1,20	1,20	0,11	0,747
Dp	2	3,08	3,08	1,54	0,15	0,866
Material*Dp	2	29,91	29,91	14,95	1,42	0,312
Error	6	62,97	62,97	10,50		
Total	11	97,16				

S = 3,23960 R-Sq = 35,19% R-Sq(adj) = 0,00%

Unusual Observations for $\phi > 10\mu\text{m}$

Obs	$\phi > 10\mu\text{m}$	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	12,7168	7,9682	2,2907	4,7486	2,07 R
12	3,2196	7,9682	2,2907	-4,7486	-2,07 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for G, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	1	0,42	0,42	0,42	0,02	0,901
Dp	2	2170,17	2170,17	1085,09	43,19	0,000
Material*Dp	2	762,96	762,96	381,48	15,18	0,004
Error	6	150,76	150,76	25,13		
Total	11	3084,31				

S = 5,01258 R-Sq = 95,11% R-Sq(adj) = 91,04%

Analysis of Variance for M, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	1	1,91	1,91	1,91	0,18	0,688
Dp	2	1026,37	1026,37	513,19	47,64	0,000
Material*Dp	2	438,62	438,62	219,31	20,36	0,002
Error	6	64,63	64,63	10,77		
Total	11	1531,53				

S = 3,28200 R-Sq = 95,78% R-Sq(adj) = 92,26%

Analysis of Variance for P, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	1	3,341	3,341	3,341	1,41	0,280
Dp	2	312,137	312,137	156,068	65,75	0,000
Material*Dp	2	13,354	13,354	6,677	2,81	0,137
Error	6	14,241	14,241	2,374		
Total	11	343,073				

S = 1,54063 R-Sq = 95,85% R-Sq(adj) = 92,39%

Analysis of Variance for Porosid. (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	1	5,4156	5,4156	5,4156	16,29	0,007
Dp	2	10,6480	10,6480	5,3240	16,02	0,004
Material*Dp	2	0,8003	0,8003	0,4001	1,20	0,363
Error	6	1,9942	1,9942	0,3324		
Total	11	18,8581				

S = 0,576515 R-Sq = 89,43% R-Sq(adj) = 80,61%

Analysis of Variance for V total, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	1	0,0001740	0,0001740	0,0001740	15,41	0,008
Dp	2	0,0003234	0,0003234	0,0001617	14,32	0,005
Material*Dp	2	0,0000285	0,0000285	0,0000143	1,26	0,349
Error	6	0,0000678	0,0000678	0,0000113		
Total	11	0,0005937				

S = 0,00336063 R-Sq = 88,59% R-Sq(adj) = 79,08%

Unusual Observations for V total

Obs	V total	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	0,067681	0,072627	0,002376	-0,004947	-2,08 R
12	0,077574	0,072627	0,002376	0,004947	2,08 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for dc, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	1	0,0000863	0,0000863	0,0000863	1,38	0,284
Dp	2	0,0038152	0,0038152	0,0019076	30,57	0,001
Material*Dp	2	0,0005664	0,0005664	0,0002832	4,54	0,063
Error	6	0,0003744	0,0003744	0,0000624		
Total	11	0,0048422				

S = 0,00789941 R-Sq = 92,27% R-Sq(adj) = 85,82%

Analysis of Variance for dl, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	1	0,0000004	0,0000004	0,0000004	0,00	0,949
Dp	2	0,0113084	0,0113084	0,0056542	64,02	0,000
Material*Dp	2	0,0008048	0,0008048	0,0004024	4,56	0,063
Error	6	0,0005299	0,0005299	0,0000883		
Total	11	0,0126435				

S = 0,00939813 R-Sq = 95,81% R-Sq(adj) = 92,32%

Unusual Observations for dl

Obs	dl	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	0,150348	0,135963	0,006645	0,014384	2,16 R
12	0,121579	0,135963	0,006645	-0,014384	-2,16 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable $\phi > 10\mu\text{m}$

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	-2,635	3,240	-0,8134	0,9545
1	30	1,499	3,240	0,4626	0,9960
3	1	-2,601	3,240	-0,8028	0,9567
3	10	1,189	3,240	0,3670	0,9986
3	30	-1,619	3,240	-0,4997	0,9943

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	4,13356	3,240	1,27595	0,7887
3	1	0,03420	3,240	0,01056	1,0000
3	10	3,82384	3,240	1,18034	0,8321
3	30	1,01601	3,240	0,31362	0,9994

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-4,099	3,240	-1,265	0,7936
3	10	-0,310	3,240	-0,096	1,0000

3	30	-3,118	3,240	-0,962	0,9147
Material = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	3,7896	3,240	1,1698	0,8367
3	30	0,9818	3,240	0,3031	0,9995
Material = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	-2,808	3,240	-0,8667	0,9419
Tukey Simultaneous Tests					
Response Variable G					
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp					
Material = 1					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	10	32,89	5,013	6,562	0,0046
1	30	37,19	5,013	7,418	0,0024
3	1	15,71	5,013	3,134	0,1261
3	10	11,28	5,013	2,250	0,3357
3	30	44,21	5,013	8,820	0,0009
Material = 1					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	4,29	5,013	0,856	0,9445
3	1	-17,18	5,013	-3,428	0,0909
3	10	-21,61	5,013	-4,312	0,0354
3	30	11,32	5,013	2,258	0,3328
Material = 1					
Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	-21,47	5,013	-4,284	0,0364
3	10	-25,91	5,013	-5,168	0,0153
3	30	7,03	5,013	1,402	0,7272
Material = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	-4,432	5,013	-0,8843	0,9374
3	30	28,501	5,013	5,6859	0,0096
Material = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	32,93	5,013	6,570	0,0046
Tukey Simultaneous Tests					
Response Variable M					
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp					
Material = 1					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	10	-20,91	3,282	-6,372	0,0054
1	30	-28,37	3,282	-8,645	0,0011
3	1	-14,92	3,282	-4,546	0,0279
3	10	-6,30	3,282	-1,920	0,4699

3	30	-30,46	3,282	-9,281	0,0007
Material = 1					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	-7,459	3,282	-2,273	0,3276
3	1	5,993	3,282	1,826	0,5136
3	10	14,613	3,282	4,453	0,0307
3	30	-9,546	3,282	-2,909	0,1624
Material = 1					
Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	13,452	3,282	4,0989	0,0441
3	10	22,073	3,282	6,7253	0,0041
3	30	-2,086	3,282	-0,6357	0,9834
Material = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	8,62	3,282	2,626	0,2226
3	30	-15,54	3,282	-4,735	0,0232
Material = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	-24,16	3,282	-7,361	0,0025
Tukey Simultaneous Tests					
Response Variable P					
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp					
Material = 1					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	10	-9,34	1,541	-6,065	0,0069
1	30	-10,31	1,541	-6,693	0,0042
3	1	1,81	1,541	1,175	0,8343
3	10	-6,17	1,541	-4,003	0,0488
3	30	-12,13	1,541	-7,876	0,0017
Material = 1					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	-0,967	1,541	-0,628	0,9843
3	1	11,155	1,541	7,240	0,0027
3	10	3,177	1,541	2,062	0,4079
3	30	-2,789	1,541	-1,810	0,5211
Material = 1					
Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	1	12,122	1,541	7,868	0,0018
3	10	4,144	1,541	2,690	0,2074
3	30	-1,822	1,541	-1,183	0,8311
Material = 3					
Dp = 1 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	-7,98	1,541	-5,178	0,0152
3	30	-13,94	1,541	-9,051	0,0008
Material = 3					

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	-5,967	1,541	-3,873	0,0560

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Porosid. (%)
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp
Material = 1

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	2,8259	0,5765	4,902	0,0197
1	30	1,6343	0,5765	2,835	0,1764
3	1	-0,9167	0,5765	-1,590	0,6312
3	10	0,7556	0,5765	1,311	0,7721
3	30	0,5905	0,5765	1,024	0,8940

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-1,192	0,5765	-2,067	0,4060
3	1	-3,743	0,5765	-6,492	0,0049
3	10	-2,070	0,5765	-3,591	0,0760
3	30	-2,235	0,5765	-3,878	0,0558

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-2,551	0,5765	-4,425	0,0315
3	10	-0,879	0,5765	-1,524	0,6650
3	30	-1,044	0,5765	-1,811	0,5210

Material = 3

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	1,672	0,5765	2,901	0,1638
3	30	1,507	0,5765	2,614	0,2257

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	-0,1652	0,5765	-0,2865	0,9996

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable V total
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp
Material = 1

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	0,016022	0,003361	4,768	0,0224
1	30	0,007977	0,003361	2,374	0,2939
3	1	-0,005152	0,003361	-1,533	0,6604
3	10	0,004058	0,003361	1,208	0,8201
3	30	0,002244	0,003361	0,668	0,9796

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,00805	0,003361	-2,394	0,2876
3	1	-0,02117	0,003361	-6,301	0,0057
3	10	-0,01196	0,003361	-3,560	0,0786

```

3          30      -0,01378      0,003361      -4,100      0,0441
Material = 1
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp      of Means      Difference      T-Value      P-Value
3          1      -0,01313      0,003361      -3,907      0,0540
3          10     -0,00392      0,003361      -1,166      0,8383
3          30     -0,00573      0,003361      -1,706      0,5724
Material = 3
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp      of Means      Difference      T-Value      P-Value
3          10     0,009210      0,003361      2,741      0,1960
3          30     0,007396      0,003361      2,201      0,3536
Material = 3
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp      of Means      Difference      T-Value      P-Value
3          30     -0,001814      0,003361     -0,5399      0,9919
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable dc
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp
Material = 1
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp      of Means      Difference      T-Value      P-Value
1          10     0,017947      0,007899      2,2720      0,3279
1          30     0,037838      0,007899      4,7900      0,0220
3          1      0,012974      0,007899      1,6424      0,6044
3          10     0,004021      0,007899      0,5090      0,9938
3          30     0,054879      0,007899      6,9473      0,0034
Material = 1
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp      of Means      Difference      T-Value      P-Value
1          30     0,01989      0,007899      2,518      0,2510
3          1     -0,00497      0,007899     -0,630      0,9841
3          10     -0,01393      0,007899     -1,763      0,5441
3          30     0,03693      0,007899      4,675      0,0246
Material = 1
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp      of Means      Difference      T-Value      P-Value
3          1     -0,02486      0,007899     -3,148      0,1242
3          10     -0,03382      0,007899     -4,281      0,0365
3          30     0,01704      0,007899      2,157      0,3700
Material = 3
Dp = 1 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp      of Means      Difference      T-Value      P-Value
3          10     -0,008953      0,007899     -1,133      0,8521
3          30     0,041906      0,007899      5,305      0,0135
Material = 3
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp      of Means      Difference      T-Value      P-Value
3          30     0,05086      0,007899      6,438      0,0051
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable dl
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp
Material = 1

```

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	10	0,057242	0,009398	6,0908	0,0068
1	30	0,071599	0,009398	7,6184	0,0021
3	1	0,007619	0,009398	0,8107	0,9551
3	10	0,034058	0,009398	3,6239	0,0733
3	30	0,086077	0,009398	9,1589	0,0008

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,01436	0,009398	1,528	0,6632
3	1	-0,04962	0,009398	-5,280	0,0138
3	10	-0,02318	0,009398	-2,467	0,2656
3	30	0,02883	0,009398	3,068	0,1358

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	1	-0,06398	0,009398	-6,808	0,0038
3	10	-0,03754	0,009398	-3,995	0,0492
3	30	0,01448	0,009398	1,541	0,6565

Material = 3

Dp = 1 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	0,02644	0,009398	2,813	0,1807
3	30	0,07846	0,009398	8,348	0,0013

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,05202	0,009398	5,535	0,0110

APÊNDICE B – ANOVA das TMCs

Neste apêndice estão os dados obtidos do Matlab para a ANOVA das propriedades das argamassas tipo TMC. Foi utilizada a mesma simbologia do Apêndice 1 para os fatores material, teor e tamanho de partícula. Mat é a abreviação de material, Dp significa tamanho de partícula e Teor. Foi realizada ANOVA apenas entre os fatores material e tamanho de partícula e teste Tukey entre os materiais para os fatores material e tamanho de partícula também.

ANOVA de Rc1 para os fatores Material e Dp

General Linear Model: Rc1 versus Material; Dp

```

Factor      Type      Levels  Values
Material    fixed         3    1; 2; 3
Dp          fixed         2    10; 30
Analysis of Variance for Rc1, using Adjusted SS for Tests
Source      DF      Seq SS  Adj SS  Adj MS      F      P
Material    2      1,2023  1,2209  0,6104      4,17  0,036
Dp          1      0,7563  0,3661  0,3661      2,50  0,135
Material*Dp 2      4,9923  4,9923  2,4961     17,03  0,000
Error       15      2,1983  2,1983  0,1466
Total       20      9,1492
S = 0,382825  R-Sq = 75,97%  R-Sq(adj) = 67,96%
Unusual Observations for Rc1
Obs      Rc1      Fit  SE Fit  Residual  St Resid
 13  10,1910  10,8351  0,2210  -0,6441  -2,06 R
R denotes an observation with a large standardized residual.
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Rc1
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp
Material = 1
Dp = 10  subtracted from:
          Difference          SE of          Adjusted
Material Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
1         30    -1,367    0,2707    -5,050    0,0016
2         10    -0,117    0,2924    -0,399    0,9984
2         30    -0,591    0,2707    -2,184    0,3002
3         10    -0,614    0,2924    -2,100    0,3379
3         30     0,427    0,2924     1,461    0,6921
Material = 1
Dp = 30  subtracted from:
          Difference          SE of          Adjusted
Material Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2         10     1,2504    0,2924     4,276    0,0071
2         30     0,7758    0,2707     2,866    0,0998
3         10     0,7530    0,2924     2,575    0,1637
3         30     1,7940    0,2924     6,136    0,0002
Material = 2
Dp = 10  subtracted from:
          Difference          SE of          Adjusted
Material Dp  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2         30    -0,4746    0,2924    -1,623    0,5971

```

3	10	-0,4974	0,3126	-1,591	0,6159
3	30	0,5437	0,3126	1,739	0,5289
Material = 2					
Dp = 30 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	-0,02281	0,2924	-0,07800	1,0000
3	30	1,01822	0,2924	3,48244	0,0323
Material = 3					
Dp = 10 subtracted from:					
		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	30	1,041	0,3126	3,330	0,0430

1) ANOVA de Rc3 para os fatores Material e Dp General Linear Model: Rc3 versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Rc3, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	30,025	39,806	19,903	81,44	0,000
Dp	1	80,365	70,149	70,149	287,02	0,000
Material*Dp	2	13,183	13,183	6,592	26,97	0,000
Error	12	2,933	2,933	0,244		
Total	17	126,506				

S = 0,494374 R-Sq = 97,68% R-Sq(adj) = 96,72%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc3

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	-5,288	0,3776	-14,00	0,0000
2	10	2,061	0,3776	5,46	0,0016
2	30	-3,301	0,3776	-8,74	0,0000
3	10	1,784	0,4281	4,17	0,0128
3	30	0,345	0,3776	0,91	0,9356

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	7,349	0,4037	18,206	0,0000
2	30	1,987	0,4037	4,922	0,0037
3	10	7,072	0,4513	15,670	0,0000
3	30	5,633	0,4037	13,954	0,0000

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	-5,362	0,4037	-13,28	0,0000
3	10	-0,277	0,4513	-0,61	0,9878
3	30	-1,716	0,4037	-4,25	0,0111

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	5,085	0,4513	11,268	0,0000
3	30	3,646	0,4037	9,033	0,0000

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	-1,439	0,4513	-3,188	0,0664

2) ANOVA de Rc7 para os fatores Material e Dp

General Linear Model: Rc7 versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Rc7, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	159,187	149,565	74,782	37,12	0,000
Dp	1	8,564	10,266	10,266	5,10	0,040
Material*Dp	2	36,278	36,278	18,139	9,00	0,003
Error	14	28,202	28,202	2,014		
Total	19	232,231				

S = 1,41931 R-Sq = 87,86% R-Sq(adj) = 83,52%

Unusual Observations for Rc7

Obs	Rc7	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
18	26,2013	28,7091	0,8194	-2,5078	-2,16 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-2,133	1,084	-1,968	0,4054
2	10	7,946	1,159	6,856	0,0001
2	30	3,558	1,159	3,070	0,0726
3	10	1,448	1,159	1,249	0,8062
3	30	3,630	1,084	3,349	0,0442

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	10,079	1,084	9,297	0,0000
2	30	5,691	1,084	5,250	0,0014
3	10	3,581	1,084	3,303	0,0480
3	30	5,763	1,004	5,742	0,0006

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-4,388	1,159	-3,786	0,0199
3	10	-6,498	1,159	-5,607	0,0007
3	30	-4,316	1,084	-3,981	0,0139

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-2,110	1,159	-1,821	0,4841
3	30	0,072	1,084	0,067	1,0000

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	2,182	1,084	2,013	0,3824

3) ANOVA de Rc28 para os fatores Material e Dp

General Linear Model: Rc28 versus Material; Dp

```

Factor      Type      Levels  Values
Material    fixed        3    1; 2; 3
Dp          fixed        2    10; 30
Analysis of Variance for Rc28, using Adjusted SS for Tests
Source      DF      Seq SS   Adj SS   Adj MS      F      P
Material    2      38,807   34,830   17,415      8,01   0,008
Dp          1      95,554   97,263   97,263     44,71   0,000
Material*Dp 2       4,029    4,029    2,014      0,93   0,428
Error       10     21,755   21,755    2,175
Total      15     160,144
S = 1,47496  R-Sq = 86,42%  R-Sq(adj) = 79,62%
Unusual Observations for Rc28
Obs      Rc28      Fit      SE Fit   Residual  St Resid
 9  45,9456  48,2458  1,0430   -2,3002   -2,21 R
10  50,5461  48,2458  1,0430    2,3002    2,21 R
R denotes an observation with a large standardized residual.
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Rc28
All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp
Material = 1
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
1      30      -5,698      1,346      -4,232      0,0159
2      10      -0,674      1,475      -0,457      0,9967
2      30      -6,635      1,346      -4,928      0,0058
3      10      -4,531      1,475      -3,072      0,0919
3      30      -8,203      1,277      -6,422      0,0008
Material = 1
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
2      10       5,024      1,346       3,731      0,0338
2      30      -0,938      1,204      -0,779      0,9652
3      10       1,167      1,346       0,867      0,9464
3      30      -2,506      1,127      -2,224      0,3061
Material = 2
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
2      30      -5,961      1,346      -4,427      0,0119
3      10      -3,857      1,475      -2,615      0,1797
3      30      -7,529      1,277      -5,894      0,0015
Material = 2
Dp = 30 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
3      10       2,105      1,346       1,563      0,6368
3      30      -1,568      1,127      -1,392      0,7313
Material = 3
Dp = 10 subtracted from:
      Difference      SE of      Adjusted
Material Dp of Means Difference T-Value P-Value
3      30      -3,673      1,277      -2,875      0,1231

```

4) ANOVA de E para os fatores Material e Dp
General Linear Model: E(GPa) versus Material; Dp

```

Factor      Type      Levels  Values
Material    fixed        3    1; 2; 3
Dp          fixed        2    10; 30
Analysis of Variance for E(GPa), using Adjusted SS for Tests
Source      DF      Seq SS   Adj SS   Adj MS      F      P

```

Material	2	4,3282	4,3282	2,1641	4,12	0,036
Dp	1	2,4354	3,7523	3,7523	7,14	0,017
Material*Dp	2	10,2355	10,2355	5,1178	9,74	0,002
Error	16	8,4028	8,4028	0,5252		
Total	21	25,4020				

S = 0,724689 R-Sq = 66,92% R-Sq(adj) = 56,58%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E(GPa)

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	2,6833	0,5917	4,535	0,0038
2	10	0,8450	0,5535	1,527	0,6535
2	30	1,4316	0,5535	2,586	0,1573
3	10	2,5168	0,5535	4,547	0,0037
3	30	1,7477	0,5535	3,158	0,0565

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-1,838	0,5535	-3,321	0,0414
2	30	-1,252	0,5535	-2,261	0,2648
3	10	-0,166	0,5535	-0,301	0,9996
3	30	-0,936	0,5535	-1,690	0,5564

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,5866	0,5124	1,145	0,8556
3	10	1,6718	0,5124	3,262	0,0463
3	30	0,9027	0,5124	1,762	0,5146

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	1,0852	0,5124	2,1178	0,3267
3	30	0,3161	0,5124	0,6170	0,9881

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	-0,7691	0,5124	-1,501	0,6686

5) ANOVA de Def. pico para os fatores Material e Dp

General Linear Model: Def. Pico versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Def. Pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	131900	75212	37606	1,02	0,397
Dp	1	9410	9055	9055	0,25	0,631
Material*Dp	2	322975	322975	161487	4,40	0,046
Error	9	330340	330340	36704		
Total	14	794624				

S = 191,584 R-Sq = 58,43% R-Sq(adj) = 35,33%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def. Pico

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-471,3	174,9	-2,695	0,1684
2	10	-390,4	191,6	-2,038	0,3922
2	30	-266,6	191,6	-1,392	0,7315
3	10	-244,8	191,6	-1,278	0,7898
3	30	-50,2	165,9	-0,303	0,9995

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	80,94	174,9	0,4628	0,9964
2	30	204,70	174,9	1,1705	0,8401
3	10	226,49	174,9	1,2950	0,7813
3	30	421,10	146,3	2,8778	0,1306

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	123,8	191,6	0,6460	0,9839
3	10	145,5	191,6	0,7597	0,9680
3	30	340,2	165,9	2,0502	0,3865

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	21,78	191,6	0,1137	1,0000
3	30	216,39	165,9	1,3042	0,7767

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	194,6	165,9	1,173	0,8390

6) ANOVA de Rtcd para os fatores Material e Dp
General Linear Model: Rtcd (MPa) versus Material; Dp

Factor Type Levels Values
Material fixed 3 1; 2; 3
Dp fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rtcd (MPa), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	0,6948	0,6374	0,3187	2,16	0,133
Dp	1	0,4304	0,4353	0,4353	2,95	0,096
Material*Dp	2	0,8884	0,8884	0,4442	3,01	0,065
Error	29	4,2747	4,2747	0,1474		
Total	34	6,2883				

S = 0,383929 R-Sq = 32,02% R-Sq(adj) = 20,30%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rtcd (MPa)

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,2708	0,2325	-1,165	0,8495
2	10	0,4039	0,2325	1,737	0,5197
2	30	-0,1788	0,2325	-0,769	0,9706
3	10	0,0937	0,2325	0,403	0,9985
3	30	0,2765	0,2325	1,189	0,8383

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,67467	0,2217	3,0437	0,0506
2	30	0,09201	0,2217	0,4151	0,9983
3	10	0,36450	0,2217	1,6444	0,5774
3	30	0,54731	0,2217	2,4691	0,1667

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,5827	0,2217	-2,629	0,1223
3	10	-0,3102	0,2217	-1,399	0,7271
3	30	-0,1274	0,2217	-0,575	0,9920

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	0,2725	0,2217	1,229	0,8190
3	30	0,4553	0,2217	2,054	0,3383

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,1828	0,2217	0,8247	0,9605

7) ANOVA de A(%) para os fatores Material e Dp General Linear Model: A(%) versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for A(%) , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	0,0265	0,0695	0,0347	0,29	0,753
Dp	1	3,5794	3,7095	3,7095	30,55	0,000
Material*Dp	2	1,7567	1,7567	0,8784	7,23	0,003
Error	27	3,2788	3,2788	0,1214		
Total	32	8,6415				

S = 0,348478 R-Sq = 62,06% R-Sq(adj) = 55,03%

Unusual Observations for A(%)

Obs	A(%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	4,41027	5,16446	0,15584	-0,75419	-2,42 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable A(%)

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,6708	0,2110	3,179	0,0386
2	10	-0,4014	0,2110	-1,902	0,4223
2	30	0,8755	0,2110	4,149	0,0037
3	10	0,1813	0,2249	0,806	0,9639
3	30	0,2915	0,1882	1,549	0,6371

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-1,072	0,2204	-4,865	0,0006
2	30	0,205	0,2204	0,929	0,9354
3	10	-0,489	0,2338	-2,094	0,3202
3	30	-0,379	0,1987	-1,909	0,4185

Material = 2
 Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	1,2770	0,2204	5,794	0,0001
3	10	0,5828	0,2338	2,493	0,1617
3	30	0,6930	0,1987	3,488	0,0188

Material = 2
 Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-0,6942	0,2338	-2,970	0,0615
3	30	-0,5840	0,1987	-2,940	0,0656

Material = 3
 Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,1102	0,2134	0,5163	0,9951

8) ANOVA de IV(%) para os fatores Material e Dp

General Linear Model: IV(%) versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for IV(%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	0,5788	0,2160	0,1080	0,17	0,843
Dp	1	21,9457	20,3304	20,3304	32,32	0,000
Material*Dp	2	8,0291	8,0291	4,0145	6,38	0,005
Error	33	20,7570	20,7570	0,6290		
Total	38	51,3105				

S = 0,793094 R-Sq = 59,55% R-Sq(adj) = 53,42%

Unusual Observations for IV(%)

Obs	IV(%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
25	9,4315	11,0052	0,3547	-1,5737	-2,22 R
34	14,4115	12,8257	0,2644	1,5859	2,12 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable IV(%)

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	1,2610	0,4579	2,754	0,0912
2	10	-0,8475	0,4802	-1,765	0,5012
2	30	1,9142	0,4180	4,580	0,0008
3	10	0,4742	0,5119	0,926	0,9368
3	30	0,9730	0,4180	2,328	0,2120

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-2,108	0,4802	-4,390	0,0014
2	30	0,653	0,4180	1,563	0,6276
3	10	-0,787	0,5119	-1,537	0,6439
3	30	-0,288	0,4180	-0,689	0,9820

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	2,762	0,4424	6,243	0,0000

3	10	1,322	0,5320	2,484	0,1581
3	30	1,820	0,4424	4,115	0,0031

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	-1,440	0,4766	-3,021	0,0503
3	30	-0,941	0,3739	-2,518	0,1482

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,4987	0,4766	1,046	0,8985

9) ANOVA de Mesp para os fatores Material e Dp

General Linear Model: Mesp versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	0,0249685	0,0200754	0,0100377	41,83	0,000
Dp	1	0,0004169	0,0003023	0,0003023	1,26	0,271
Material*Dp	2	0,0021882	0,0021882	0,0010941	4,56	0,019
Error	28	0,0067191	0,0067191	0,0002400		
Total	33	0,0342927				

S = 0,0154909 R-Sq = 80,41% R-Sq(adj) = 76,91%

Unusual Observations for Mesp

Obs	Mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
12	2,37659	2,41010	0,00632	-0,03351	-2,37 R
20	2,36123	2,39530	0,00693	-0,03407	-2,46 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Mesp

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,01758	0,009999	-1,758	0,5073
2	10	-0,02083	0,009380	-2,221	0,2602
2	30	-0,00604	0,008944	-0,675	0,9833
3	10	0,03074	0,009999	3,074	0,0481
3	30	0,05212	0,008164	6,384	0,0000

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,003252	0,010392	-0,3130	0,9996
2	30	0,011545	0,009999	1,1546	0,8540
3	10	0,048316	0,010954	4,4109	0,0018
3	30	0,069698	0,009309	7,4873	0,0000

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,01480	0,009380	1,578	0,6193
3	10	0,05157	0,010392	4,962	0,0004
3	30	0,07295	0,008640	8,443	0,0000

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
----------	----	---------------------	------------------	---------	------------------

Material	Dp	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	10	0,03677	0,009999	3,677	0,0115
3	30	0,05815	0,008164	7,123	0,0000

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,02138	0,009309		2,297	0,2287

10) ANOVA de Est 1 para os fatores Material e Dp General Linear Model: Est 1 versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Est 1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	0,0036394	0,0036394	0,0018197	2,93	0,129
Dp	1	0,0000711	0,0000711	0,0000711	0,11	0,747
Material*Dp	2	0,0015887	0,0015887	0,0007943	1,28	0,345
Error	6	0,0037267	0,0037267	0,0006211		
Total	11	0,0090258				

S = 0,0249221 R-Sq = 58,71% R-Sq(adj) = 24,30%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est 1

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,01815	0,02492		-0,7283	0,9707
2	10	-0,01700	0,02492		-0,6821	0,9777
2	30	-0,02055	0,02492		-0,8246	0,9520
3	10	0,00390	0,02492		0,1565	1,0000
3	30	0,04020	0,02492		1,6130	0,6194

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,001150	0,02492		0,04614	1,0000
2	30	-0,002400	0,02492		-0,09630	1,0000
3	10	0,022050	0,02492		0,88476	0,9372
3	30	0,058350	0,02492		2,34129	0,3044

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,003550	0,02492		-0,1424	1,0000
3	10	0,020900	0,02492		0,8386	0,9488
3	30	0,057200	0,02492		2,2952	0,3199

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	0,02445	0,02492		0,9811	0,9087
3	30	0,06075	0,02492		2,4376	0,2742

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	of Means	Difference	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,03630	0,02492		1,457	0,6995

11) ANOVA de Pt para os fatores Material e Dp

General Linear Model: Pt versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	0,049654	0,049654	0,024827	3,34	0,106
Dp	1	0,004854	0,004854	0,004854	0,65	0,450
Material*Dp	2	0,023077	0,023077	0,011538	1,55	0,286
Error	6	0,044591	0,044591	0,007432		
Total	11	0,122176				

S = 0,0862077 R-Sq = 63,50% R-Sq(adj) = 33,09%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,05383	0,08621	-0,6244	0,9846
2	10	-0,04643	0,08621	-0,5386	0,9920
2	30	-0,02920	0,08621	-0,3388	0,9991
3	10	0,02512	0,08621	0,2914	0,9995
3	30	0,18240	0,08621	2,1158	0,3863

Material = 1

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,007397	0,08621	0,08580	1,0000
2	30	0,024627	0,08621	0,28567	0,9996
3	10	0,078954	0,08621	0,91585	0,9287
3	30	0,236232	0,08621	2,74027	0,1961

Material = 2

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,01723	0,08621	0,1999	0,9999
3	10	0,07156	0,08621	0,8300	0,9508
3	30	0,22884	0,08621	2,6545	0,2158

Material = 2

Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	0,05433	0,08621	0,6302	0,9840
3	30	0,21160	0,08621	2,4546	0,2692

Material = 3

Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,1573	0,08621	1,824	0,5144

12) ANOVA de Est 2 para os fatores Material e Dp

General Linear Model: Est 2 versus Material; Dp

Factor	Type	Levels	Values
Material	fixed	3	1; 2; 3
Dp	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Est 2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	2	0,0002496	0,0002496	0,0001248	9,55	0,014
Dp	1	0,0000333	0,0000333	0,0000333	2,55	0,161
Material*Dp	2	0,0001053	0,0001053	0,0000526	4,03	0,078
Error	6	0,0000784	0,0000784	0,0000131		

Total 11 0,0004667
 S = 0,00361571 R-Sq = 83,19% R-Sq(adj) = 69,19%
 Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable Est 2
 All Pairwise Comparisons among Levels of Material*Dp

Material = 1
 Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,003350	0,003616	-0,9265	0,9256
2	10	-0,002250	0,003616	-0,6223	0,9849
2	30	0,000050	0,003616	0,0138	1,0000
3	10	0,002750	0,003616	0,7606	0,9651
3	30	0,013800	0,003616	3,8167	0,0595

Material = 1
 Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,001100	0,003616	0,3042	0,9994
2	30	0,003400	0,003616	0,9403	0,9215
3	10	0,006100	0,003616	1,6871	0,5818
3	30	0,017150	0,003616	4,7432	0,0230

Material = 2
 Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,002300	0,003616	0,6361	0,9834
3	10	0,005000	0,003616	1,3829	0,7367
3	30	0,016050	0,003616	4,4390	0,0311

Material = 2
 Dp = 30 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	10	0,002700	0,003616	0,7467	0,9676
3	30	0,013750	0,003616	3,8029	0,0604

Material = 3
 Dp = 10 subtracted from:

Material	Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
3	30	0,01105	0,003616	3,056	0,1376

13) ANOVA de parâmetro de porosimetria para os fatores Material e Dp General Linear Model: $\phi > 10\mu\text{m}$; G; ... versus Dp

Factor Type Levels Values
 Dp fixed 2 10; 30
 Analysis of Variance for $\phi > 10\mu\text{m}$, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Dp	1	0,449	0,449	0,449	0,12	0,759
Error	2	7,286	7,286	3,643		
Total	3	7,736				

S = 1,90869 R-Sq = 5,81% R-Sq(adj) = 0,00%
 Analysis of Variance for G, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Dp	1	254,50	254,50	254,50	61,55	0,016
Error	2	8,27	8,27	4,13		
Total	3	262,77				

S = 2,03346 R-Sq = 96,85% R-Sq(adj) = 95,28%
 Analysis of Variance for M, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Dp	1	121,13	121,13	121,13	102,04	0,010
Error	2	2,37	2,37	1,19		
Total	3	123,51				

S = 1,08952 R-Sq = 98,08% R-Sq(adj) = 97,12%

Analysis of Variance for P, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Dp	1	31,556	31,556	31,556	33,87	0,028
Error	2	1,864	1,864	0,932		
Total	3	33,420				

S = 0,965290 R-Sq = 94,42% R-Sq(adj) = 91,64%

Analysis of Variance for Porosid. (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Dp	1	2,2370	2,2370	2,2370	10,77	0,082
Error	2	0,4156	0,4156	0,2078		
Total	3	2,6526				

S = 0,455848 R-Sq = 84,33% R-Sq(adj) = 76,50%

Analysis of Variance for V total, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Dp	1	0,0000522	0,0000522	0,0000522	4,44	0,170
Error	2	0,0000235	0,0000235	0,0000118		
Total	3	0,0000758				

S = 0,00342998 R-Sq = 68,94% R-Sq(adj) = 53,41%

Analysis of Variance for dc, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Dp	1	0,0002505	0,0002505	0,0002505	15,60	0,059
Error	2	0,0000321	0,0000321	0,0000161		
Total	3	0,0002826				

S = 0,00400708 R-Sq = 88,64% R-Sq(adj) = 82,95%

Analysis of Variance for dl, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Dp	1	0,0013935	0,0013935	0,0013935	135092,94	0,000
Error	2	0,0000000	0,0000000	0,0000000		
Total	3	0,0013936				

S = 0,000101565 R-Sq = 100,00% R-Sq(adj) = 100,00%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable $\phi > 10\mu\text{m}$

All Pairwise Comparisons among Levels of Dp

Dp = 10 subtracted from:

Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,6703	1,909	0,3512	0,7590

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable G

All Pairwise Comparisons among Levels of Dp

Dp = 10 subtracted from:

Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	15,95	2,033	7,845	0,0159

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable M

All Pairwise Comparisons among Levels of Dp

Dp = 10 subtracted from:

Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-11,01	1,090	-10,10	0,0097

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable P

All Pairwise Comparisons among Levels of Dp

Dp = 10 subtracted from:

Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-5,617	0,9653	-5,819	0,0283

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Porosid. (%)

All Pairwise Comparisons among Levels of Dp
Dp = 10 subtracted from:

Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	1,496	0,4558	3,281	0,0817

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable V total

All Pairwise Comparisons among Levels of Dp
Dp = 10 subtracted from:

Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,007227	0,003430	2,107	0,1697

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable dc

All Pairwise Comparisons among Levels of Dp
Dp = 10 subtracted from:

Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,01583	0,004007	3,950	0,0585

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable dl

All Pairwise Comparisons among Levels of Dp
Dp = 10 subtracted from:

Dp	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,03733	0,000102	367,5	0,0000

APÊNDICE C – ANOVA ACN vs TMC

Neste apêndice estão dados de ANOVA do matlab, para análise comparativa entre as referências, entre as A20 e TMC20 e TMC20 e A20 de 1 μ m.

1) ANOVA das referências (CTRL vs TMC) para os fatores Material e Dp

General Linear Model: Rc1 versus Tipo

```
Factor Type Levels Values
Tipo fixed 2 1; 2
Analysis of Variance for Rc1, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tipo 1 7,283 7,283 7,283 3,63 0,105
Error 6 12,029 12,029 2,005
Total 7 19,311
S = 1,41590 R-Sq = 37,71% R-Sq(adj) = 27,33%
Unusual Observations for Rc1
Obs Rc1 Fit SE Fit Residual St Resid
1 13,1126 15,7004 0,7079 -2,5879 -2,11 R
R denotes an observation with a large standardized residual.
```

General Linear Model: Rc3 versus Tipo

```
Factor Type Levels Values
Tipo fixed 2 1; 2
Analysis of Variance for Rc3, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tipo 1 0,51 0,51 0,51 0,03 0,860
Error 7 105,85 105,85 15,12
Total 8 106,35
S = 3,88855 R-Sq = 0,48% R-Sq(adj) = 0,00%
```

General Linear Model: Rc7 versus Tipo

```
Factor Type Levels Values
Tipo fixed 2 1; 2
Analysis of Variance for Rc7, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tipo 1 17,80 17,80 17,80 1,74 0,228
Error 7 71,53 71,53 10,22
Total 8 89,33
S = 3,19660 R-Sq = 19,93% R-Sq(adj) = 8,49%
```

General Linear Model: Rc28 versus Tipo

```
Factor Type Levels Values
Tipo fixed 2 1; 2
Analysis of Variance for Rc28, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tipo 1 27,97 27,97 27,97 2,53 0,138
Error 12 132,60 132,60 11,05
Total 13 160,57
S = 3,32414 R-Sq = 17,42% R-Sq(adj) = 10,54%
Unusual Observations for Rc28
Obs Rc28 Fit SE Fit Residual St Resid
1 48,2617 40,6467 1,6621 7,6150 2,65 R
R denotes an observation with a large standardized residual.
```

General Linear Model: E versus Tipo

```
Factor Type Levels Values
Tipo fixed 2 1; 2
Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests
```


Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	6,946	6,946	6,946	4,36	0,059
Error	12	19,119	19,119	1,593		
Total	13	26,065				

S = 1,26224 R-Sq = 26,65% R-Sq(adj) = 20,54%

Unusual Observations for E

Obs	E	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	33,6797	31,1826	0,6311	2,4971	2,28 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: Def pico versus Tipo

Factor	Type	Levels	Values
Tipo	fixed	2	1; 2

Analysis of Variance for Def pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	272566	272566	272566	7,19	0,023
Error	10	379353	379353	37935		
Total	11	651919				

S = 194,770 R-Sq = 41,81% R-Sq(adj) = 35,99%

General Linear Model: Rtcid versus Tipo

Factor	Type	Levels	Values
Tipo	fixed	2	1; 2

Analysis of Variance for Rtcid, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	2,0771	2,0771	2,0771	25,56	0,000
Error	16	1,3003	1,3003	0,0813		
Total	17	3,3774				

S = 0,285078 R-Sq = 61,50% R-Sq(adj) = 59,09%

Unusual Observations for Rtcid

Obs	Rtcid	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
12	4,53923	3,91576	0,08229	0,62347	2,28 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: A(%) versus Tipo

Factor	Type	Levels	Values
Tipo	fixed	2	1; 2

Analysis of Variance for A(%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,07258	0,07258	0,07258	1,02	0,331
Error	13	0,92459	0,92459	0,07112		
Total	14	0,99717				

S = 0,266688 R-Sq = 7,28% R-Sq(adj) = 0,15%

Unusual Observations for A(%)

Obs	A(%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	4,52603	5,10898	0,08890	-0,58295	-2,32 R
13	5,81828	5,25097	0,10887	0,56731	2,33 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: IV (%) versus Tipo

Factor	Type	Levels	Values
Tipo	fixed	2	1; 2

Analysis of Variance for IV (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,9816	0,9816	0,9816	3,65	0,079
Error	13	3,5004	3,5004	0,2693		
Total	14	4,4820				

S = 0,518907 R-Sq = 21,90% R-Sq(adj) = 15,89%

Unusual Observations for IV (%)

Obs	IV (%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	9,7796	10,9359	0,1730	-1,1563	-2,36 R
13	12,5075	11,4581	0,2118	1,0494	2,22 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: Mesp versus Tipo

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Analysis of Variance for Mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,013557	0,013557	0,013557	50,05	0,000
Error	13	0,003521	0,003521	0,000271		
Total	14	0,017078				

S = 0,0164576 R-Sq = 79,38% R-Sq(adj) = 77,80%
 Unusual Observations for Mesp

Obs	Mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
15	2,50293	2,46522	0,00672	0,03771	2,51 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: Est1 versus Tipo

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Analysis of Variance for Est1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,0060208	0,0060208	0,0060208	389,22	0,000
Error	3	0,0000464	0,0000464	0,0000155		
Total	4	0,0060672				

S = 0,00393305 R-Sq = 99,24% R-Sq(adj) = 98,98%

General Linear Model: Pt versus Tipo

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,058262	0,058262	0,058262	117,18	0,002
Error	3	0,001492	0,001492	0,000497		
Total	4	0,059753				

S = 0,0222977 R-Sq = 97,50% R-Sq(adj) = 96,67%

General Linear Model: Est2 versus Tipo

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Analysis of Variance for Est2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,0011458	0,0011458	0,0011458	620,45	0,000
Error	3	0,0000055	0,0000055	0,0000018		
Total	4	0,0011513				

S = 0,00135892 R-Sq = 99,52% R-Sq(adj) = 99,36%

General Linear Model: $\phi > 10\mu\text{m}$ versus Tipo

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Analysis of Variance for $\phi > 10\mu\text{m}$, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,4955	0,4955	0,4955	0,60	0,496
Error	3	2,4943	2,4943	0,8314		
Total	4	2,9898				

S = 0,911824 R-Sq = 16,57% R-Sq(adj) = 0,00%

General Linear Model: G versus Tipo

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Analysis of Variance for G, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	295,98	295,98	295,98	49,28	0,006
Error	3	18,02	18,02	6,01		
Total	4	314,00				

S = 2,45066 R-Sq = 94,26% R-Sq(adj) = 92,35%

General Linear Model: M versus Tipo

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2

Analysis of Variance for M, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	165,44	165,44	165,44	25,19	0,015
Error	3	19,71	19,71	6,57		
Total	4	185,15				

S = 2,56300 R-Sq = 89,36% R-Sq(adj) = 85,81%

General Linear Model: P versus Tipo

Factor Type Levels Values

Tipo fixed 2 1; 2

Analysis of Variance for P, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	13,232	13,232	13,232	29,59	0,012
Error	3	1,342	1,342	0,447		
Total	4	14,574				

S = 0,668761 R-Sq = 90,79% R-Sq(adj) = 87,72%

General Linear Model: Porosidade (%) versus Tipo

Factor Type Levels Values

Tipo fixed 2 1; 2

Analysis of Variance for Porosidade (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	20,532	20,532	20,532	57,77	0,005
Error	3	1,066	1,066	0,355		
Total	4	21,598				

S = 0,596166 R-Sq = 95,06% R-Sq(adj) = 93,42%

General Linear Model: V total versus Tipo

Factor Type Levels Values

Tipo fixed 2 1; 2

Analysis of Variance for V total, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,0006038	0,0006038	0,0006038	244,05	0,001
Error	3	0,0000074	0,0000074	0,0000025		
Total	4	0,0006112				

S = 0,00157294 R-Sq = 98,79% R-Sq(adj) = 98,38%

General Linear Model: dc versus Tipo

Factor Type Levels Values

Tipo fixed 2 1; 2

Analysis of Variance for dc, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,0000699	0,0000699	0,0000699	1,79	0,273
Error	3	0,0001169	0,0001169	0,0000390		
Total	4	0,0001868				

S = 0,00624364 R-Sq = 37,40% R-Sq(adj) = 16,53%

General Linear Model: dl versus Tipo

Factor Type Levels Values

Tipo fixed 2 1; 2

Analysis of Variance for dl, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,0002446	0,0002446	0,0002446	1,75	0,278
Error	3	0,0004195	0,0004195	0,0001398		
Total	4	0,0006641				

S = 0,0118255 R-Sq = 36,83% R-Sq(adj) = 15,77%

2) ANOVA das propriedades das A20TJ e TMC20TJ para o fator Dp

General Linear Model: Rc 1D versus TIPO; Tamanho (MAT = 1)

Factor Type Levels Values

TIPO fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc 1D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
TIPO	1	37,195	35,348	35,348	253,98	0,000
Tamanho	1	4,815	4,628	4,628	33,25	0,000

TIPO*Tamanho 1 0,226 0,226 0,226 1,62 0,229
 Error 11 1,531 1,531 0,139
 Total 14 43,767

S = 0,373063 R-Sq = 96,50% R-Sq(adj) = 95,55%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 1D

All Pairwise Comparisons among Levels of TIPO*Tamanho

TIPO = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,8722	0,2849	-3,061	0,0459
2	10	3,3415	0,2849	11,727	0,0000
2	30	1,9746	0,2849	6,930	0,0001

TIPO = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	4,214	0,2638	15,97	0,0000
2	30	2,847	0,2638	10,79	0,0000

TIPO = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-1,367	0,2638	-5,182	0,0015

General Linear Model: Rc 3D versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values

tipo fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc 3D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	35,139	26,723	26,723	57,75	0,000
Tamanho	1	29,135	32,754	32,754	70,78	0,000
tipo*Tamanho	1	19,694	19,694	19,694	42,56	0,000
Error	11	5,090	5,090	0,463		
Total	14	89,058				

S = 0,680266 R-Sq = 94,28% R-Sq(adj) = 92,73%

Unusual Observations for Rc 3D

Obs	Rc 3D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	19,3484	18,0250	0,3401	1,3234	2,25 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 3D

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,6689	0,4810	-1,391	0,5299
2	10	4,9997	0,4810	10,394	0,0000
2	30	-0,2881	0,5196	-0,555	0,9434

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	5,6686	0,4810	11,7846	0,0000
2	30	0,3808	0,5196	0,7329	0,8819

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
------	---------	---------------------	------------------	---------	------------------

2 30 -5,288 0,5196 -10,18 0,0000

General Linear Model: Rc7D versus Tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc7D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	42,805	48,321	48,321	28,35	0,000
Tamanho	1	0,383	0,383	0,383	0,22	0,646
Tipo*Tamanho	1	11,095	11,095	11,095	6,51	0,029
Error	10	17,044	17,044	1,704		
Total	13	71,327				

S = 1,30553 R-Sq = 76,10% R-Sq(adj) = 68,94%

Unusual Observations for Rc7D

Obs	Rc7D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	20,5757	23,1733	0,6528	-2,5976	-2,30 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	1,465	0,9971	1,469	0,4890
2	10	5,553	1,0660	5,209	0,0019
2	30	3,420	0,9971	3,430	0,0277

Tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	4,088	0,9971	4,100	0,0097
2	30	1,955	0,9231	2,118	0,2121

Tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-2,133	0,9971	-2,139	0,2058

General Linear Model: Rc 28D versus Tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc 28D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	295,77	314,47	314,47	170,59	0,000
Tamanho	1	27,24	33,68	33,68	18,27	0,003
Tipo*Tamanho	1	14,22	14,22	14,22	7,71	0,024
Error	8	14,75	14,75	1,84		
Total	11	351,98				

S = 1,35772 R-Sq = 95,81% R-Sq(adj) = 94,24%

Unusual Observations for Rc 28D

Obs	Rc 28D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	32,2221	34,9128	0,6789	-2,6907	-2,29 R
7	37,4410	34,9128	0,6789	2,5282	2,15 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 28D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30				

Tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	-1,209	1,037	-1,166	0,6625
2	10	12,798	1,239	10,325	0,0000
2	30	7,100	1,109	6,405	0,0009

Tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	14,007	1,176	11,913	0,0000
2	30	8,309	1,037	8,013	0,0002

Tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-5,698	1,239	-4,597	0,0076

General Linear Model: E versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values

tipo fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	56,727	56,727	56,727	87,01	0,000
Tamanho	1	1,653	3,008	3,008	4,61	0,057
tipo*Tamanho	1	10,459	10,459	10,459	16,04	0,002
Error	10	6,519	6,519	0,652		
Total	13	75,357				

S = 0,807425 R-Sq = 91,35% R-Sq(adj) = 88,75%

Unusual Observations for E

Obs	E	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	28,7742	27,3680	0,4037	1,4062	2,01 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,8099	0,5709	-1,418	0,5166
2	10	2,3210	0,6167	3,764	0,0164
2	30	5,0043	0,6167	8,115	0,0001

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	3,131	0,6167	5,077	0,0023
2	30	5,814	0,6167	9,428	0,0000

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	2,683	0,6593	4,070	0,0101

General Linear Model: Def. Pico versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values

tipo fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Def. Pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	35509	11961	11961	1,62	0,244
Tamanho	1	94623	123974	123974	16,74	0,005
tipo*Tamanho	1	174357	174357	174357	23,55	0,002

Error 7 51834 51834 7405
 Total 10 356322
 S = 86,0516 R-Sq = 85,45% R-Sq(adj) = 79,22%
 Unusual Observations for Def. Pico

Obs	Def. Pico	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
3	2381,01	2226,66	49,68	154,35	2,20 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def. Pico

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	40,1	70,26	0,571	0,9378
2	10	188,7	78,55	2,403	0,1639
2	30	-282,6	70,26	-4,022	0,0204

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	148,6	78,55	1,892	0,3116
2	30	-322,7	70,26	-4,593	0,0104

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-471,3	78,55	-6,000	0,0023

General Linear Model: Rtcd versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values

tipo fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rtcd, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,2593	0,2691	0,2691	1,58	0,226
Tamanho	1	0,1458	0,1334	0,1334	0,78	0,389
tipo*Tamanho	1	0,0608	0,0608	0,0608	0,36	0,558
Error	17	2,9041	2,9041	0,1708		
Total	20	3,3701				

S = 0,413314 R-Sq = 13,83% R-Sq(adj) = 0,00%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rtcd

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,05250	0,2668	-0,1968	0,9972
2	10	0,33873	0,2773	1,2217	0,6221
2	30	0,06791	0,2668	0,2546	0,9940

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,3912	0,2503	1,5632	0,4243
2	30	0,1204	0,2386	0,5046	0,9569

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,2708	0,2503	-1,082	0,7047

General Linear Model: A versus tipo; Tamanho

```

Factor   Type   Levels Values
tipo     fixed   2 1; 2
Tamanho  fixed   2 10; 30
Analysis of Variance for A, using Adjusted SS for Tests
Source      DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS     F     P
tipo        1   2,3612   2,1098   2,1098    28,30  0,000
Tamanho     1   0,5295   0,7522   0,7522    10,09  0,004
tipo*Tamanho 1   0,6982   0,6982   0,6982     9,36  0,006
Error       23   1,7149   1,7149   0,0746
Total       26   5,3039
S = 0,273060  R-Sq = 67,67%  R-Sq(adj) = 63,45%
Unusual Observations for A
Obs      A      Fit   SE Fit  Residual  St Resid
 16  7,07528  6,47967  0,10321  0,59561    2,36 R
R denotes an observation with a large standardized residual.
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable A
All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho
tipo = 1
Tamanho = 10  subtracted from:
              Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho  of Means  Difference  T-Value  P-Value
1      30      0,0125    0,1376    0,091    0,9997
2      10     -0,9013    0,1439   -6,263    0,0000
2      30     -0,2305    0,1523   -1,514    0,4460
tipo = 1
Tamanho = 30  subtracted from:
              Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2      10     -0,9138    0,1519   -6,015    0,0000
2      30     -0,2430    0,1599   -1,520    0,4425
tipo = 2
Tamanho = 10  subtracted from:
              Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho  of Means  Difference  T-Value  P-Value
2      30      0,6708    0,1653    4,057    0,0026

```

General Linear Model: IV versus tipo; Tamanho

```

Factor   Type   Levels Values
tipo     fixed   2 1; 2
Tamanho  fixed   2 10; 30
Analysis of Variance for IV, using Adjusted SS for Tests
Source      DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS     F     P
tipo        1   2,7767   2,6865   2,6865     9,49  0,005
Tamanho     1   1,5318   2,1670   2,1670     7,66  0,011
tipo*Tamanho 1   3,3077   3,3077   3,3077    11,69  0,002
Error       24   6,7924   6,7924   0,2830
Total       27  14,4086
S = 0,531993  R-Sq = 52,86%  R-Sq(adj) = 46,97%
Unusual Observations for IV
Obs      IV      Fit   SE Fit  Residual  St Resid
 16  14,0403  13,0448  0,2011  0,9955    2,02 R
 17  14,2885  13,1137  0,2172  1,1749    2,42 R
R denotes an observation with a large standardized residual.
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable IV
All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho
tipo = 1
Tamanho = 10  subtracted from:
              Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho  of Means  Difference  T-Value  P-Value

```


1	30	-0,133	0,2681	-0,495	0,9593
2	10	-1,325	0,2804	-4,725	0,0005
2	30	-0,064	0,2804	-0,228	0,9957

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-1,192	0,2960	-4,028	0,0026
2	30	0,069	0,2960	0,233	0,9954

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	1,261	0,3071	4,105	0,0021

General Linear Model: mesp versus tipo; Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
tipo	fixed	2	1; 2
Tamanho	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,035091	0,034193	0,034193	69,14	0,000
Tamanho	1	0,004330	0,003570	0,003570	7,22	0,013
tipo*Tamanho	1	0,000283	0,000283	0,000283	0,57	0,458
Error	22	0,010881	0,010881	0,000495		
Total	25	0,050584				

S = 0,0222390 R-Sq = 78,49% R-Sq(adj) = 75,56%

Unusual Observations for mesp

Obs	mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	2,26916	2,34731	0,00741	-0,07815	-3,73 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable mesp

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,03135	0,01121	-2,798	0,0479
2	10	0,06883	0,01172	5,872	0,0000
2	30	0,05125	0,01336	3,835	0,0046

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,10018	0,01237	8,097	0,0000
2	30	0,08260	0,01394	5,926	0,0000

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,01758	0,01436	-1,225	0,6183

General Linear Model: Est1 versus tipo; Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
tipo	fixed	2	1; 2
Tamanho	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Est1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,0000002	0,0000002	0,0000002	0,00	0,987
Tamanho	1	0,0002611	0,0002611	0,0002611	0,50	0,517
tipo*Tamanho	1	0,0000905	0,0000905	0,0000905	0,17	0,698
Error	4	0,0020768	0,0020768	0,0005192		

Total 7 0,0024284
 S = 0,0227858 R-Sq = 14,48% R-Sq(adj) = 0,00%
 Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable Est1
 All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1
 Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,00470	0,02279	-0,2063	0,9964
2	10	0,00700	0,02279	0,3072	0,9885
2	30	-0,01115	0,02279	-0,4893	0,9575

tipo = 1
 Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,011700	0,02279	0,5135	0,9516
2	30	-0,006450	0,02279	-0,2831	0,9909

tipo = 2
 Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,01815	0,02279	-0,7965	0,8533

General Linear Model: Pt versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,000027	0,000027	0,000027	0,01	0,938
Tamanho	1	0,003118	0,003539	0,003539	0,88	0,384
tipo*Tamanho	1	0,000571	0,000571	0,000571	0,14	0,719
Error	6	0,024083	0,024083	0,004014		
Total	9	0,027799				

S = 0,0633553 R-Sq = 13,37% R-Sq(adj) = 0,00%

Unusual Observations for Pt

Obs	Pt	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	0,275710	0,185988	0,044799	0,089722	2,00 R
10	0,096267	0,185988	0,044799	-0,089722	-2,00 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1
 Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,02297	0,05173	-0,4441	0,9684
2	10	0,01210	0,05784	0,2092	0,9964
2	30	-0,04173	0,05784	-0,7216	0,8851

tipo = 1
 Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,03507	0,05784	0,6064	0,9264
2	30	-0,01876	0,05784	-0,3244	0,9871

tipo = 2
 Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,05383	0,06336	-0,8497	0,8297

General Linear Model: Est2 versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30
 Analysis of Variance for Est2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,0000223	0,0000199	0,0000199	2,48	0,176
Tamanho	1	0,0000120	0,0000127	0,0000127	1,59	0,263
tipo*Tamanho	1	0,0000019	0,0000019	0,0000019	0,24	0,647
Error	5	0,0000400	0,0000400	0,0000080		
Total	8	0,0000762				

S = 0,00282972 R-Sq = 47,43% R-Sq(adj) = 15,89%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est2

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,001483	0,002583	-0,5742	0,9357
2	10	0,003950	0,002830	1,3959	0,5516
2	30	0,000600	0,002830	0,2120	0,9962

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,005433	0,002583	2,1034	0,2688
2	30	0,002083	0,002583	0,8065	0,8492

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,003350	0,002830	-1,184	0,6610

a) ANOVA dos parâmetros de porosimetria das A20TJ e TMC20TJ para o fator Dp

General Linear Model: $\phi > 10\mu\text{m}$; G; ... versus Tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30
 Analysis of Variance for $\phi > 10\mu\text{m}$, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	2,81	2,81	2,81	0,19	0,684
Tamanho	1	11,54	11,54	11,54	0,79	0,424
Tipo*Tamanho	1	6,00	6,00	6,00	0,41	0,557
Error	4	58,44	58,44	14,61		
Total	7	78,78				

S = 3,82214 R-Sq = 25,83% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for G, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	2228,34	2228,34	2228,34	96,00	0,001
Tamanho	1	204,95	204,95	204,95	8,83	0,041
Tipo*Tamanho	1	67,98	67,98	67,98	2,93	0,162
Error	4	92,85	92,85	23,21		
Total	7	2594,13				

S = 4,81797 R-Sq = 96,42% R-Sq(adj) = 93,74%

Analysis of Variance for M, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	828,04	828,04	828,04	352,36	0,000
Tamanho	1	170,49	170,49	170,49	72,55	0,001
Tipo*Tamanho	1	6,29	6,29	6,29	2,68	0,177
Error	4	9,40	9,40	2,35		
Total	7	1014,22				

S = 1,53297 R-Sq = 99,07% R-Sq(adj) = 98,38%

Analysis of Variance for P, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	404,25	404,25	404,25	411,14	0,000
Tamanho	1	21,68	21,68	21,68	22,05	0,009
Tipo*Tamanho	1	10,81	10,81	10,81	11,00	0,029
Error	4	3,93	3,93	0,98		
Total	7	440,67				

S = 0,991587 R-Sq = 99,11% R-Sq(adj) = 98,44%

Analysis of Variance for Porosidade (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	5,5992	5,5992	5,5992	13,89	0,020
Tamanho	1	0,0462	0,0462	0,0462	0,11	0,752
Tipo*Tamanho	1	3,6108	3,6108	3,6108	8,96	0,040
Error	4	1,6124	1,6124	0,4031		
Total	7	10,8686				

S = 0,634897 R-Sq = 85,16% R-Sq(adj) = 74,04%

Analysis of Variance for V total, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,0001519	0,0001519	0,0001519	8,34	0,045
Tamanho	1	0,0000003	0,0000003	0,0000003	0,02	0,899
Tipo*Tamanho	1	0,0001166	0,0001166	0,0001166	6,41	0,065
Error	4	0,0000728	0,0000728	0,0000182		
Total	7	0,0003416				

S = 0,00426651 R-Sq = 78,69% R-Sq(adj) = 62,70%

Analysis of Variance for dc, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,0020211	0,0020211	0,0020211	54,21	0,002
Tamanho	1	0,0006379	0,0006379	0,0006379	17,11	0,014
Tipo*Tamanho	1	0,0000083	0,0000083	0,0000083	0,22	0,662
Error	4	0,0001491	0,0001491	0,0000373		
Total	7	0,0028164				

S = 0,00610590 R-Sq = 94,70% R-Sq(adj) = 90,73%

Analysis of Variance for dl, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	0,0092305	0,0092305	0,0092305	89,22	0,001
Tamanho	1	0,0013357	0,0013357	0,0013357	12,91	0,023
Tipo*Tamanho	1	0,0002639	0,0002639	0,0002639	2,55	0,185
Error	4	0,0004139	0,0004139	0,0001035		
Total	7	0,0112440				

S = 0,0101717 R-Sq = 96,32% R-Sq(adj) = 93,56%

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable $\phi > 10\mu\text{m}$
All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1
Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	4,1336	3,822	1,0815	0,7179
2	10	0,5462	3,822	0,1429	0,9988
2	30	1,2166	3,822	0,3183	0,9873

Tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-3,587	3,822	-0,9386	0,7885
2	30	-2,917	3,822	-0,7632	0,8673

Tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
------	---------	---------------------	------------------	---------	------------------

2 30 0,6703 3,822 0,1754 0,9978

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable G

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	4,29	4,818	0,891	0,8110
2	10	-39,21	4,818	-8,138	0,0043
2	30	-23,26	4,818	-4,827	0,0284

Tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-43,50	4,818	-9,029	0,0029
2	30	-27,55	4,818	-5,718	0,0158

Tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	15,95	4,818	3,311	0,0942

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable M

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-7,459	1,533	-4,866	0,0277
2	10	22,121	1,533	14,430	0,0005
2	30	11,115	1,533	7,251	0,0066

Tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	29,58	1,533	19,30	0,0002
2	30	18,57	1,533	12,12	0,0009

Tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-11,01	1,533	-7,180	0,0069

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable P

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,9670	0,9916	-0,9752	0,7707
2	10	16,5423	0,9916	16,6826	0,0003
2	30	10,9248	0,9916	11,0175	0,0014

Tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	17,51	0,9916	17,66	0,0002
2	30	11,89	0,9916	11,99	0,0010

Tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-5,617	0,9916	-5,665	0,0163

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Porosidade (%)
All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1
Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-1,192	0,6349	-1,877	0,3622
2	10	-3,017	0,6349	-4,752	0,0300
2	30	-1,521	0,6349	-2,396	0,2196

Tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-1,825	0,6349	-2,875	0,1396
2	30	-0,330	0,6349	-0,519	0,9501

Tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	1,496	0,6349	2,356	0,2283

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable V total
All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1
Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,00805	0,004267	-1,886	0,3592
2	10	-0,01635	0,004267	-3,832	0,0606
2	30	-0,00912	0,004267	-2,138	0,2817

Tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,008305	0,004267	-1,947	0,3389
2	30	-0,001078	0,004267	-0,253	0,9935

Tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,007227	0,004267	1,694	0,4304

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable dc
All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1
Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,01989	0,006106	3,258	0,0987
2	10	-0,02976	0,006106	-4,873	0,0275
2	30	-0,01393	0,006106	-2,281	0,2453

Tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,04965	0,006106	-8,131	0,0043
2	30	-0,03382	0,006106	-5,539	0,0176

Tipo = 2
 Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,01583	0,006106	2,592	0,1821

Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable dl
 All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho
 Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,01436	0,01017	1,411	0,5542
2	10	-0,07942	0,01017	-7,808	0,0050
2	30	-0,04209	0,01017	-4,138	0,0474

Tipo = 1
 Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,09378	0,01017	-9,220	0,0027
2	30	-0,05645	0,01017	-5,550	0,0175

Tipo = 2
 Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,03733	0,01017	3,670	0,0692

3) ANOVA das propriedades das TMC20TJ e A20TJ1 para o fator Dp

General Linear Model: Rc 1D versus Tamanho

Factor Type Levels Values
 Tamanho fixed 3 1; 10; 30
 Analysis of Variance for Rc 1D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	62,816	62,816	31,408	250,59	0,000
Error	8	1,003	1,003	0,125		
Total	10	63,818				

S = 0,354026 R-Sq = 98,43% R-Sq(adj) = 98,04%
 Unusual Observations for Rc 1D

Obs	Rc 1D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	11,5834	10,9516	0,1770	0,6318	2,06 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable Rc 1D
 All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
 Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	5,887	0,2704	21,77	0,0000
30	4,520	0,2704	16,72	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-1,367	0,2503	-5,460	0,0015

General Linear Model: Rc 3D versus Tamanho

Factor Type Levels Values
 Tamanho fixed 3 1; 10; 30
 Analysis of Variance for Rc 3D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	49,974	49,974	24,987	69,71	0,000
Error	8	2,867	2,867	0,358		
Total	10	52,841				

S = 0,598682 R-Sq = 94,57% R-Sq(adj) = 93,22%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 3D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	1,371	0,4233	3,239	0,0287
30	-3,917	0,4573	-8,566	0,0001

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-5,288	0,4573	-11,56	0,0000

General Linear Model: Rc7D versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc7D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	113,576	113,576	56,788	45,80	0,000
Error	7	8,680	8,680	1,240		
Total	9	122,256				

S = 1,11353 R-Sq = 92,90% R-Sq(adj) = 90,87%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-5,878	0,9092	-6,465	0,0009
30	-8,011	0,8505	-9,420	0,0001

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-2,133	0,8505	-2,508	0,0911

General Linear Model: Rc 28D versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 28D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	149,74	149,74	74,87	2,50	0,128
Error	11	329,82	329,82	29,98		
Total	13	479,56				

S = 5,47573 R-Sq = 31,22% R-Sq(adj) = 18,72%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 28D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-7,007	4,581	-1,529	0,3155
30	-9,774	4,390	-2,226	0,1104

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-2,767	3,206	-0,8631	0,6734

General Linear Model: E versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	10,855	10,855	5,428	2,87	0,133
Error	6	11,336	11,336	1,889		

Total 8 22,192
 S = 1,37455 R-Sq = 48,92% R-Sq(adj) = 31,89%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-1,508	1,122	-1,344	0,4245
30	1,175	1,122	1,047	0,5773

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	2,683	1,122	2,391	0,1173

General Linear Model: Def. Pico versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Def. Pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	391896	391896	195948	6,01	0,062
Error	4	130434	130434	32608		
Total	6	522330				

S = 180,578 R-Sq = 75,03% R-Sq(adj) = 62,54%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def. Pico

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-13,4	180,6	-0,074	0,9970
30	-484,7	164,8	-2,940	0,0883

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-471,3	164,8	-2,859	0,0955

General Linear Model: RtcD versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for RtcD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,2714	0,2714	0,1357	0,65	0,535
Error	14	2,9035	2,9035	0,2074		
Total	16	3,1749				

S = 0,455403 R-Sq = 8,55% R-Sq(adj) = 0,00%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable RtcD

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,0121	0,2758	0,0439	0,9989
30	-0,2587	0,2629	-0,9840	0,5985

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-0,2708	0,2758	-0,9821	0,5996

General Linear Model: A versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for A, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
--------	----	--------	--------	--------	---	---

Tamanho 2 33,249 33,249 16,624 326,84 0,000
 Error 17 0,865 0,865 0,051
 Total 19 34,114
 S = 0,225532 R-Sq = 97,47% R-Sq(adj) = 97,17%
 Unusual Observations for A

Obs	A	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
14	5,80570	6,23666	0,10086	-0,43096	-2,14 R

R denotes an observation with a large standardized residual.
 Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable A

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
 Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	2,239	0,1189	18,83	0,0000
30	2,909	0,1258	23,13	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,6708	0,1366	4,912	0,0004

General Linear Model: IV versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for IV, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	151,295	151,295	75,647	327,50	0,000
Error	18	4,158	4,158	0,231		
Total	20	155,452				

S = 0,480606 R-Sq = 97,33% R-Sq(adj) = 97,03%
 Unusual Observations for IV

Obs	IV	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
10	14,2885	13,1137	0,1962	1,1749	2,68 R

R denotes an observation with a large standardized residual.
 Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable IV

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
 Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	4,707	0,2533	18,58	0,0000
30	5,968	0,2533	23,56	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	1,261	0,2775	4,544	0,0007

General Linear Model: mesp versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,044087	0,044087	0,022043	185,57	0,000
Error	16	0,001901	0,001901	0,000119		
Total	18	0,045987				

S = 0,0108990 R-Sq = 95,87% R-Sq(adj) = 95,35%
 Unusual Observations for mesp

Obs	mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	2,33569	2,31344	0,00363	0,02224	2,16 R

R denotes an observation with a large standardized residual.
 Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable mesp
 All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,10269	0,005744	17,88	0,0000
30	0,08511	0,006550	12,99	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-0,01758	0,007035	-2,499	0,0584

General Linear Model: Est1 versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Est1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0015435	0,0015435	0,0007717	1,12	0,433
Error	3	0,0020686	0,0020686	0,0006895		
Total	5	0,0036121				

S = 0,0262589 R-Sq = 42,73% R-Sq(adj) = 4,55%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est1

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,03925	0,02626	1,4947	0,4080
30	0,02110	0,02626	0,8035	0,7270

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-0,01815	0,02626	-0,6912	0,7848

General Linear Model: Pt versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,018931	0,018931	0,009466	1,57	0,313
Error	4	0,024054	0,024054	0,006014		
Total	6	0,042986				

S = 0,0775474 R-Sq = 44,04% R-Sq(adj) = 16,06%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,12363	0,07079	1,7464	0,2965
30	0,06979	0,07079	0,9859	0,6226

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-0,05383	0,07755	-0,6942	0,7795

General Linear Model: Est2 versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Est2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0000154	0,0000154	0,0000077	0,56	0,608
Error	4	0,0000545	0,0000545	0,0000136		
Total	6	0,0000699				

S = 0,00369092 R-Sq = 22,02% R-Sq(adj) = 0,00%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est2

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted	
Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
10	0,003233	0,003369	0,95963	0,6367
30	-0,000117	0,003369	-0,03463	0,9993

Tamanho = 10 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted	
Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
30	-0,003350	0,003691	-0,9076	0,6646

a) ANOVA dos parâmetros de porosimetria das TMC20TJ e A20TJ1 para o fator Dp

General Linear Model: $\phi > 10\mu\text{m}$; G; ... versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for $\phi > 10\mu\text{m}$, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	4,550	4,550	2,275	0,93	0,484
Error	3	7,303	7,303	2,434		
Total	5	11,852				

S = 1,56020 R-Sq = 38,39% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for G, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	258,18	258,18	129,09	15,51	0,026
Error	3	24,97	24,97	8,32		
Total	5	283,15				

S = 2,88527 R-Sq = 91,18% R-Sq(adj) = 85,30%

Analysis of Variance for M, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	145,740	145,740	72,870	17,20	0,023
Error	3	12,713	12,713	4,238		
Total	5	158,454				

S = 2,05859 R-Sq = 91,98% R-Sq(adj) = 86,63%

Analysis of Variance for P, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	57,247	57,247	28,623	35,54	0,008
Error	3	2,416	2,416	0,805		
Total	5	59,663				

S = 0,897442 R-Sq = 95,95% R-Sq(adj) = 93,25%

Analysis of Variance for Porosidade (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	2,6505	2,6505	1,3253	9,52	0,050
Error	3	0,4176	0,4176	0,1392		
Total	5	3,0681				

S = 0,373097 R-Sq = 86,39% R-Sq(adj) = 77,31%

Analysis of Variance for V total, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0000666	0,0000666	0,0000333	4,22	0,134
Error	3	0,0000237	0,0000237	0,0000079		
Total	5	0,0000903				

S = 0,00280833 R-Sq = 73,79% R-Sq(adj) = 56,32%

Analysis of Variance for dc, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0002707	0,0002707	0,0001354	12,65	0,035
Error	3	0,0000321	0,0000321	0,0000107		
Total	5	0,0003028				

S = 0,00327177 R-Sq = 89,40% R-Sq(adj) = 82,33%

Analysis of Variance for dl, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0014100	0,0014100	0,0007050	69195,65	0,000
Error	3	0,0000000	0,0000000	0,0000000		

Total 5 0,0014100
S = 0,000100939 R-Sq = 100,00% R-Sq(adj) = 100,00%

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable $\phi > 10\mu\text{m}$
All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-2,089	1,560	-1,339	0,4691
30	-1,418	1,560	-0,909	0,6722

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,6703	1,560	0,4297	0,9063

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable G
All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-6,316	2,885	-2,189	0,2191
30	9,637	2,885	3,340	0,0876

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	15,95	2,885	5,529	0,0236

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable M
All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	1,207	2,059	0,586	0,8367
30	-9,799	2,059	-4,760	0,0355

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-11,01	2,059	-5,346	0,0259

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable P
All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	7,198	0,8974	8,021	0,0083
30	1,581	0,8974	1,761	0,3206

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-5,617	0,8974	-6,259	0,0167

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Porosidade (%)
All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-0,1909	0,3731	-0,5117	0,8714
30	1,3048	0,3731	3,4971	0,0783

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
---------	---------------------	------------------	---------	------------------

30 1,496 0,3731 4,009 0,0556

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable V total

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-0,000328	0,002808	-0,1168	0,9925
30	0,006899	0,002808	2,4566	0,1744

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,007227	0,002808	2,573	0,1582

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable dc

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-0,01181	0,003272	-3,610	0,0725
30	0,00402	0,003272	1,228	0,5171

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,01583	0,003272	4,837	0,0340

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable dl

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-0,02218	0,000101	-219,7	0,0000
30	0,01515	0,000101	150,1	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,03733	0,000101	369,8	0,0000

4) ANOVA das propriedades das A20TL e TMC20TL para o fator Dp

General Linear Model: Rc 1D versus TIPO; Tamanho (MAT = 2)

Factor Type Levels Values

TIPO fixed 2 1; 2
Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc 1D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
TIPO	1	32,641	35,932	35,932	254,49	0,000
Tamanho	1	5,656	5,656	5,656	40,06	0,000
TIPO*Tamanho	1	2,249	2,249	2,249	15,93	0,003
Error	10	1,412	1,412	0,141		
Total	13	41,957				

S = 0,375758 R-Sq = 96,63% R-Sq(adj) = 95,63%

Unusual Observations for Rc 1D

Obs	Rc 1D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
12	10,1910	10,8351	0,2169	-0,6441	-2,10 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 1D

All Pairwise Comparisons among Levels of TIPO*Tamanho

TIPO = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
------	---------	---------------------	------------------	---------	------------------

1	30	-2,094	0,2870	-7,297	0,0001
2	10	2,427	0,2870	8,458	0,0000
2	30	1,953	0,2657	7,350	0,0001

TIPO = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	4,522	0,3068	14,74	0,0000
2	30	4,047	0,2870	14,10	0,0000

TIPO = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,4746	0,2870	-1,654	0,3945

General Linear Model: Rc 3D versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc 3D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	73,913	73,913	73,913	93,46	0,000
Tamanho	1	50,954	55,101	55,101	69,67	0,000
tipo*Tamanho	1	6,279	6,279	6,279	7,94	0,018
Error	10	7,908	7,908	0,791		
Total	13	139,055				

S = 0,889295 R-Sq = 94,31% R-Sq(adj) = 92,61%

Unusual Observations for Rc 3D

Obs	Rc 3D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	14,7206	16,4338	0,4446	-1,7132	-2,22 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 3D

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-2,656	0,6288	-4,223	0,0080
2	10	5,996	0,6792	8,828	0,0000
2	30	0,634	0,6792	0,934	0,7880

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	8,652	0,6792	12,738	0,0000
2	30	3,290	0,6792	4,843	0,0032

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-5,362	0,7261	-7,385	0,0001

General Linear Model: Rc7D versus Tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc7D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	162,692	162,692	162,692	76,00	0,000
Tamanho	1	48,940	50,042	50,042	23,38	0,001
Tipo*Tamanho	1	1,103	1,103	1,103	0,52	0,489
Error	10	21,407	21,407	2,141		

Total 13 234,142
 S = 1,46311 R-Sq = 90,86% R-Sq(adj) = 88,11%
 Unusual Observations for Rc7D
 Obs Rc7D Fit SE Fit Residual St Resid
 1 25,1334 27,7513 0,7316 -2,6179 -2,07 R
 R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-3,253	1,035	-3,144	0,0437
2	10	7,456	1,117	6,672	0,0003
2	30	3,068	1,117	2,746	0,0821

Tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	10,709	1,117	9,583	0,0000
2	30	6,321	1,117	5,657	0,0010

Tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-4,388	1,195	-3,673	0,0189

General Linear Model: Rc 28D versus Tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values

Tipo fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc 28D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	211,67	212,27	212,27	40,23	0,000
Tamanho	1	190,02	157,51	157,51	29,85	0,000
Tipo*Tamanho	1	4,10	4,10	4,10	0,78	0,398
Error	10	52,76	52,76	5,28		
Total	13	458,56				

S = 2,29702 R-Sq = 88,49% R-Sq(adj) = 85,04%

Unusual Observations for Rc 28D

Obs Rc 28D Fit SE Fit Residual St Resid
 9 37,1578 32,8847 1,0273 4,2731 2,08 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 28D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-8,256	1,541	-5,358	0,0015
2	10	7,105	1,989	3,572	0,0222
2	30	1,144	1,754	0,652	0,9125

Tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	15,361	1,922	7,993	0,0001
2	30	9,400	1,678	5,604	0,0011

Tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-5,961	2,097	-2,843	0,0705

General Linear Model: E versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	59,691	59,691	59,691	44,21	0,000
Tamanho	1	0,280	0,280	0,280	0,21	0,657
tipo*Tamanho	1	2,897	2,897	2,897	2,15	0,169
Error	12	16,202	16,202	1,350		
Total	15	79,070				

S = 1,16197 R-Sq = 79,51% R-Sq(adj) = 74,39%

Unusual Observations for E

Obs	E	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	25,7559	28,3320	0,5810	-2,5761	-2,56 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-1,116	0,8216	-1,358	0,5467
2	10	3,012	0,8216	3,666	0,0148
2	30	3,598	0,8216	4,380	0,0043

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	4,127	0,8216	5,024	0,0015
2	30	4,714	0,8216	5,737	0,0005

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,5866	0,8216	0,7139	0,8897

General Linear Model: Def. Pico versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Def. Pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	35501	35501	35501	2,82	0,131
Tamanho	1	13675	17747	17747	1,41	0,269
tipo*Tamanho	1	4745	4745	4745	0,38	0,556
Error	8	100640	100640	12580		
Total	11	154562				

S = 112,161 R-Sq = 34,89% R-Sq(adj) = 10,47%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def. Pico

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	39,4	79,31	0,497	0,9576
2	10	-157,6	97,13	-1,622	0,4193

```

2      30      -33,8      97,13      -0,348      0,9845
tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      10      -197,0      97,13      -2,028      0,2547
2      30      -73,2      97,13      -0,754      0,8727
tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      30      123,8      112,2      1,103      0,6975

```

General Linear Model: Rtcd versus tipo; Tamanho

```

Factor Type Levels Values
tipo fixed 2 1; 2
Tamanho fixed 2 10; 30
Analysis of Variance for Rtcd, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
tipo 1 0,9430 0,7647 0,7647 7,58 0,013
Tamanho 1 1,2898 1,2133 1,2133 12,02 0,003
tipo*Tamanho 1 0,0596 0,0596 0,0596 0,59 0,452
Error 18 1,8163 1,8163 0,1009
Total 21 4,1087
S = 0,317659 R-Sq = 55,79% R-Sq(adj) = 48,42%
Unusual Observations for Rtcd
Obs Rtcdf Fit SE Fit Residual St Resid
22 5,21477 4,63088 0,12968 0,58389 2,01 R
R denotes an observation with a large standardized residual.
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Rtcdf
All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho
tipo = 1
Tamanho = 10 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
1      30      -0,3713      0,2050      -1,811      0,3007
2      10      0,4844      0,2050      2,362      0,1209
2      30      -0,0983      0,2050      -0,479      0,9627
tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      10      0,8556      0,1834      4,665      0,0010
2      30      0,2730      0,1834      1,488      0,4645
tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      30      -0,5827      0,1834      -3,177      0,0245

```

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

```

tipo = 1
Tamanho = 10 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
1      30      -0,3713      0,2050      -1,811      0,3007
2      10      0,4844      0,2050      2,362      0,1209
2      30      -0,0983      0,2050      -0,479      0,9627
tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      10      0,8556      0,1834      4,665      0,0010
2      30      0,2730      0,1834      1,488      0,4645
tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      30      -0,5827      0,1834      -3,177      0,0245

```

General Linear Model: A versus tipo; Tamanho

```

Factor Type Levels Values
tipo fixed 2 1; 2
Tamanho fixed 2 10; 30
Analysis of Variance for A, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
tipo 1 0,0162 0,0162 0,0162 0,19 0,663
Tamanho 1 16,3021 13,9049 13,9049 167,54 0,000
tipo*Tamanho 1 0,2413 0,2413 0,2413 2,91 0,101
Error 24 1,9919 1,9919 0,0830
Total 27 18,5514
S = 0,288091 R-Sq = 89,26% R-Sq(adj) = 87,92%

```

Unusual Observations for A

Obs	A	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
27	4,41027	5,16446	0,12884	-0,75419	-2,93 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable A

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	1,6644	0,1358	12,2559	0,0000
2	10	0,1436	0,1607	0,8935	0,8083
2	30	1,4206	0,1607	8,8403	0,0000

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-1,521	0,1607	-9,465	0,0000
2	30	-0,244	0,1607	-1,518	0,4429

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	1,277	0,1822	7,008	0,0000

General Linear Model: IV versus tipo; Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
tipo	fixed	2	1; 2
Tamanho	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for IV, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	4,266	0,874	0,874	1,95	0,173
Tamanho	1	71,044	67,307	67,307	150,41	0,000
tipo*Tamanho	1	0,411	0,411	0,411	0,92	0,346
Error	28	12,530	12,530	0,447		
Total	31	88,250				

S = 0,668953 R-Sq = 85,80% R-Sq(adj) = 84,28%

Unusual Observations for IV

Obs	IV	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
24	12,3096	13,7669	0,2230	-1,4574	-2,31 R
26	15,2387	13,7669	0,2230	1,4717	2,33 R
31	9,4315	11,0052	0,2992	-1,5737	-2,63 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable IV

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	3,2297	0,3153	10,242	0,0000
2	10	0,5754	0,3731	1,542	0,4269
2	30	3,3372	0,3153	10,582	0,0000

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-2,654	0,3731	-7,114	0,0000
2	30	0,107	0,3153	0,341	0,9861

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
2	30	2,762	0,3731	7,402	0,0000

General Linear Model: mesp versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,024881	0,024205	0,024205	68,23	0,000
Tamanho	1	0,008847	0,006532	0,006532	18,41	0,000
tipo*Tamanho	1	0,001786	0,001786	0,001786	5,03	0,034
Error	25	0,008869	0,008869	0,000355		
Total	28	0,044383				

S = 0,0188350 R-Sq = 80,02% R-Sq(adj) = 77,62%

Unusual Observations for mesp

Obs	mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
28	2,36123	2,39530	0,00842	-0,03407	-2,02 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable mesp

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
1	30	0,04722	0,008879	5,319	0,0001
2	10	0,07591	0,010506	7,225	0,0000
2	30	0,09071	0,009927	9,137	0,0000

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
2	10	0,02868	0,010506	2,730	0,0522
2	30	0,04348	0,009927	4,380	0,0010

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
2	30	0,01480	0,01141	1,297	0,5730

General Linear Model: Est1 versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Est1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,0001796	0,0001796	0,0001796	3,36	0,141
Tamanho	1	0,0000208	0,0000208	0,0000208	0,39	0,566
tipo*Tamanho	1	0,0000918	0,0000918	0,0000918	1,72	0,260
Error	4	0,0002135	0,0002135	0,0000534		
Total	7	0,0005057				

S = 0,00730625 R-Sq = 57,77% R-Sq(adj) = 26,11%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est1

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
1	30	0,010000	0,007306	1,3687	0,5746
2	10	-0,002700	0,007306	-0,3695	0,9805

2 30 -0,006250 0,007306 -0,8554 0,8273
 tipo = 1
 Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,01270	0,007306	-1,738	0,4129
2	30	-0,01625	0,007306	-2,224	0,2593

tipo = 2
 Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,003550	0,007306	-0,4859	0,9583

General Linear Model: Pt versus tipo; Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
tipo	fixed	2	1; 2
Tamanho	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,000655	0,000655	0,000655	0,41	0,546
Tamanho	1	0,006423	0,004884	0,004884	3,05	0,131
tipo*Tamanho	1	0,001866	0,001866	0,001866	1,17	0,322
Error	6	0,009602	0,009602	0,001600		
Total	9	0,018545				

S = 0,0400033 R-Sq = 48,23% R-Sq(adj) = 22,34%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1
 Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,07299	0,03266	2,2347	0,2162
2	10	0,01136	0,03652	0,3111	0,9885
2	30	0,02859	0,03652	0,7829	0,8597

tipo = 1
 Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,06163	0,03652	-1,688	0,4046
2	30	-0,04440	0,03652	-1,216	0,6401

tipo = 2
 Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,01723	0,04000	0,4307	0,9710

General Linear Model: Est2 versus tipo; Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
tipo	fixed	2	1; 2
Tamanho	fixed	2	10; 30

Analysis of Variance for Est2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,0000826	0,0000826	0,0000826	11,05	0,016
Tamanho	1	0,0000001	0,0000002	0,0000002	0,02	0,892
tipo*Tamanho	1	0,0000101	0,0000101	0,0000101	1,35	0,290
Error	6	0,0000449	0,0000449	0,0000075		
Total	9	0,0001376				

S = 0,00273445 R-Sq = 67,40% R-Sq(adj) = 51,10%

Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable Est2
 All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho
 tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,001800	0,002233	-0,8062	0,8495
2	10	0,003817	0,002496	1,5290	0,4778
2	30	0,006117	0,002496	2,4504	0,1668

tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,005617	0,002496	2,250	0,2122
2	30	0,007917	0,002496	3,171	0,0702

tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,002300	0,002734	0,8411	0,8337

5) ANOVA das propriedades das TMC20TL e A20TL1 para o fator Dp

General Linear Model: Rc 1D versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 1D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	46,343	46,343	23,171	146,12	0,000
Error	8	1,269	1,269	0,159		
Total	10	47,611				

S = 0,398220 R-Sq = 97,34% R-Sq(adj) = 96,67%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 1D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	4,520	0,3041	14,86	0,0000
30	4,046	0,2816	14,37	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-0,4746	0,3041	-1,560	0,3158

General Linear Model: Rc 3D versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 3D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	56,464	56,464	28,232	42,74	0,000
Error	7	4,623	4,623	0,660		
Total	9	61,087				

S = 0,812696 R-Sq = 92,43% R-Sq(adj) = 90,27%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 3D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,324	0,6207	0,522	0,8633
30	-5,038	0,6207	-8,117	0,0002

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-5,362	0,6636	-8,081	0,0002

General Linear Model: Rc7D versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30
Analysis of Variance for Rc7D, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tamanho 2 179,664 179,664 89,832 39,94 0,000
Error 7 15,745 15,745 2,249
Total 9 195,409

S = 1,49978 R-Sq = 91,94% R-Sq(adj) = 89,64%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-5,73	1,145	-5,004	0,0039
30	-10,12	1,145	-8,835	0,0001

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-4,388	1,225	-3,583	0,0214

General Linear Model: Rc 28D versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30
Analysis of Variance for Rc 28D, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tamanho 2 84,504 84,504 42,252 9,22 0,032
Error 4 18,335 18,335 4,584
Total 6 102,839

S = 2,14098 R-Sq = 82,17% R-Sq(adj) = 73,26%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 28D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-1,836	2,141	-0,858	0,6917
30	-7,798	1,954	-3,990	0,0349

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-5,961	1,954	-3,050	0,0796

General Linear Model: E versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30
Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tamanho 2 1,5255 1,5255 0,7628 1,38 0,291
Error 11 6,0614 6,0614 0,5510
Total 13 7,5870

S = 0,742321 R-Sq = 20,11% R-Sq(adj) = 5,58%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,2009	0,4792	0,4193	0,9084
30	0,7875	0,4792	1,6435	0,2693

Tamanho = 10 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted
--	------------	-------	----------

Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
30	0,5866	0,5249	1,117	0,5236

General Linear Model: Def. Pico versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Def. Pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	122639	122639	61319	19,99	0,018
Error	3	9203	9203	3068		
Total	5	131842				

S = 55,3869 R-Sq = 93,02% R-Sq(adj) = 88,37%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def. Pico

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted
Tamanho	of Means	Difference	T-Value
10	-345,6	55,39	-6,240
30	-221,8	55,39	-4,005

Tamanho = 10 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted
Tamanho	of Means	Difference	T-Value
30	123,8	55,39	2,235

General Linear Model: Rtdcd versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rtdcd, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	1,4284	1,4284	0,7142	5,78	0,015
Error	14	1,7298	1,7298	0,1236		
Total	16	3,1582				

S = 0,351506 R-Sq = 45,23% R-Sq(adj) = 37,40%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rtdcd

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted
Tamanho	of Means	Difference	T-Value
10	-0,0495	0,2128	-0,232
30	-0,6321	0,2128	-2,970

Tamanho = 10 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted
Tamanho	of Means	Difference	T-Value
30	-0,5827	0,2029	-2,871

General Linear Model: A versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for A, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	14,6386	14,6386	7,3193	61,36	0,000
Error	14	1,6699	1,6699	0,1193		
Total	16	16,3085				

S = 0,345368 R-Sq = 89,76% R-Sq(adj) = 88,30%

Unusual Observations for A

Obs	A	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
16	4,41027	5,16446	0,15445	-0,75419	-2,44 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable A

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,9631	0,2022	4,762	0,0008
30	2,2401	0,2022	11,077	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	1,277	0,2184	5,846	0,0001

General Linear Model: IV versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30
Analysis of Variance for IV, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	89,655	89,655	44,828	70,34	0,000
Error	18	11,471	11,471	0,637		
Total	20	101,127				

S = 0,798313 R-Sq = 88,66% R-Sq(adj) = 87,40%
Unusual Observations for IV

Obs	IV	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	9,4315	11,0052	0,3570	-1,5737	-2,20 R

R denotes an observation with a large standardized residual.
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable IV

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	1,961	0,4674	4,195	0,0015
30	4,722	0,4023	11,738	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	2,762	0,4453	6,202	0,0000

General Linear Model: mesp versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30
Analysis of Variance for mesp, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0062653	0,0062653	0,0031326	8,83	0,003
Error	15	0,0053227	0,0053227	0,0003548		
Total	17	0,0115879				

S = 0,0188374 R-Sq = 54,07% R-Sq(adj) = 47,94%
Unusual Observations for mesp

Obs	mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
17	2,36123	2,39530	0,00842	-0,03407	-2,02 R

R denotes an observation with a large standardized residual.
Tukey Simultaneous Tests
Response Variable mesp

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,02833	0,01103	2,568	0,0528
30	0,04313	0,01048	4,115	0,0025

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,01480	0,01141	1,297	0,4182

General Linear Model: Est1 versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Est1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0002619	0,0002619	0,0001310	1,75	0,314
Error	3	0,0002251	0,0002251	0,0000750		
Total	5	0,0004870				

S = 0,00866160 R-Sq = 53,79% R-Sq(adj) = 22,98%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est1

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,01545	0,008662	1,784	0,3142
30	0,01190	0,008662	1,374	0,4547

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-0,003550	0,008662	-0,4099	0,9141

General Linear Model: Pt versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,000625	0,000625	0,000313	0,13	0,878
Error	4	0,009311	0,009311	0,002328		
Total	6	0,009936				

S = 0,0482466 R-Sq = 6,29% R-Sq(adj) = 0,00%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,005225	0,04404	0,1186	0,9923
30	0,022455	0,04404	0,5098	0,8708

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,01723	0,04825	0,3571	0,9333

General Linear Model: Est2 versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Est2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0000214	0,0000214	0,0000107	0,91	0,473
Error	4	0,0000471	0,0000471	0,0000118		
Total	6	0,0000685				

S = 0,00343208 R-Sq = 31,25% R-Sq(adj) = 0,00%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est2

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,001917	0,003133	0,6118	0,8219
30	0,004217	0,003133	1,3459	0,4460

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,002300	0,003432	0,6701	0,7920

6) ANOVA das propriedades das A20C e TMC20C para o fator Dp

General Linear Model: Rc 1D versus TIPO; Tamanho (MAT = 3)

Factor Type Levels Values
 TIPO fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30
 Analysis of Variance for Rc 1D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
TIPO	1	24,4472	24,4472	24,4472	411,11	0,000
Tamanho	1	3,3681	3,3681	3,3681	56,64	0,000
TIPO*Tamanho	1	0,0010	0,0010	0,0010	0,02	0,898
Error	8	0,4757	0,4757	0,0595		
Total	11	28,2921				

S = 0,243856 R-Sq = 98,32% R-Sq(adj) = 97,69%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 1D

All Pairwise Comparisons among Levels of TIPO*Tamanho

TIPO = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	1,078	0,1991	5,415	0,0028
2	10	2,873	0,1991	14,430	0,0000
2	30	3,914	0,1991	19,659	0,0000

TIPO = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	1,795	0,1991	9,016	0,0001
2	30	2,836	0,1991	14,244	0,0000

TIPO = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

TIPO	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	1,041	0,1991	5,228	0,0035

General Linear Model: Rc 3D versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30
 Analysis of Variance for Rc 3D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	32,086	34,845	34,845	27,07	0,001
Tamanho	1	0,076	0,352	0,352	0,27	0,615
tipo*Tamanho	1	3,328	3,328	3,328	2,59	0,146
Error	8	10,297	10,297	1,287		
Total	11	45,787				

S = 1,13453 R-Sq = 77,51% R-Sq(adj) = 69,08%

Unusual Observations for Rc 3D

Obs	Rc 3D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	22,9982	20,9424	0,5673	2,0558	2,09 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 3D

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,7325	0,8665	0,8453	0,8319
2	10	4,5987	1,0357	4,4403	0,0093
2	30	3,1597	0,9263	3,4110	0,0373

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	3,866	0,9825	3,935	0,0182
2	30	2,427	0,8665	2,801	0,0881

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	-1,439	1,036	-1,389	0,5386

General Linear Model: Rc7D versus Tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc7D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	103,688	98,966	98,966	37,38	0,000
Tamanho	1	9,797	9,797	9,797	3,70	0,083
Tipo*Tamanho	1	0,830	0,830	0,830	0,31	0,588
Error	10	26,479	26,479	2,648		
Total	13	140,794				

S = 1,62723 R-Sq = 81,19% R-Sq(adj) = 75,55%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
Tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
1	30	1,198	1,243	0,9642	0,7721
2	10	4,881	1,329	3,6734	0,0189
2	30	7,063	1,243	5,6831	0,0010

Tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
Tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	10	3,682	1,243	2,963	0,0583
2	30	5,865	1,151	5,097	0,0022

Tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference	SE of		Adjusted
Tipo	Tamanho	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	30	2,182	1,243	1,756	0,3472

General Linear Model: Rc 28D versus Tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 Tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rc 28D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tipo	1	227,591	254,738	254,738	120,06	0,000
Tamanho	1	0,006	0,409	0,409	0,19	0,671
Tipo*Tamanho	1	32,736	32,736	32,736	15,43	0,003
Error	9	19,096	19,096	2,122		
Total	12	279,429				

S = 1,45664 R-Sq = 93,17% R-Sq(adj) = 90,89%

Unusual Observations for Rc 28D

Obs	Rc 28D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
3	34,7757	31,8712	0,8410	2,9045	2,44 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 28D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tipo*Tamanho

Tipo = 1
 Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	2,934	1,113	2,637	0,1034
2	10	12,518	1,330	9,414	0,0000
2	30	8,845	1,113	7,951	0,0001

Tipo = 1
 Tamanho = 30 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	9,584	1,261	7,597	0,0002
2	30	5,911	1,030	5,739	0,0013

Tipo = 2
 Tamanho = 10 subtracted from:

Tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-3,673	1,261	-2,911	0,0686

General Linear Model: E versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	49,447	51,117	51,117	56,73	0,000
Tamanho	1	0,047	0,127	0,127	0,14	0,715
tipo*Tamanho	1	3,364	3,364	3,364	3,73	0,079
Error	11	9,911	9,911	0,901		
Total	14	62,769				

S = 0,949201 R-Sq = 84,21% R-Sq(adj) = 79,90%

Unusual Observations for E

Obs	E	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
3	30,0090	28,3405	0,5480	1,6685	2,15 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	1,140	0,7250	1,572	0,4316
2	10	4,675	0,7250	6,449	0,0002
2	30	3,906	0,7250	5,388	0,0011

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	3,535	0,6712	5,267	0,0013
2	30	2,766	0,6712	4,122	0,0079

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	-0,7691	0,6712	-1,146	0,6706

General Linear Model: Def. Pico versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Def. Pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
--------	----	--------	--------	--------	---	---

tipo	1	14720	21768	21768	0,39	0,550
Tamanho	1	123522	120693	120693	2,13	0,178
tipo*Tamanho	1	107	107	107	0,00	0,966
Error	9	508853	508853	56539		
Total	12	647202				

S = 237,780 R-Sq = 21,38% R-Sq(adj) = 0,00%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def. Pico

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	206,54	181,6	1,1373	0,6774
2	10	-79,22	217,1	-0,3649	0,9823
2	30	115,40	181,6	0,6354	0,9180

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-285,8	205,9	-1,388	0,5363
2	30	-91,1	168,1	-0,542	0,9464

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	194,6	205,9	0,9451	0,7823

General Linear Model: Rtcd versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values

tipo fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Rtcd, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	4,7033	5,2892	5,2892	86,74	0,000
Tamanho	1	0,8663	0,9758	0,9758	16,00	0,001
tipo*Tamanho	1	0,3199	0,3199	0,3199	5,25	0,034
Error	18	1,0976	1,0976	0,0610		
Total	21	6,9871				

S = 0,246938 R-Sq = 84,29% R-Sq(adj) = 81,67%

Unusual Observations for Rtcd

Obs	Rtcd	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	3,56877	3,07993	0,12347	0,48885	2,29 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rtcd

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,6727	0,1594	4,220	0,0026
2	10	1,2408	0,1594	7,784	0,0000
2	30	1,4236	0,1594	8,931	0,0000

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	0,5681	0,1426	3,985	0,0044
2	30	0,7509	0,1426	5,267	0,0003

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
2	30	0,1828	0,1426	1,282	0,5853

General Linear Model: A versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for A, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,0785	0,0028	0,0028	0,02	0,885
Tamanho	1	3,1443	2,2624	2,2624	17,26	0,000
tipo*Tamanho	1	1,5038	1,5038	1,5038	11,47	0,002
Error	24	3,1465	3,1465	0,1311		
Total	27	7,8732				

S = 0,362086 R-Sq = 60,03% R-Sq(adj) = 55,04%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable A

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
1	30	1,0827	0,1825	5,933	0,0000
2	10	0,5072	0,2176	2,331	0,1189
2	30	0,6174	0,1759	3,509	0,0091

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
2	10	-0,5755	0,2269	-2,536	0,0795
2	30	-0,4653	0,1874	-2,483	0,0884

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
2	30	0,1102	0,2217	0,4969	0,9590

General Linear Model: IV versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values
 tipo fixed 2 1; 2
 Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for IV, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	4,3290	2,9995	2,9995	4,39	0,046
Tamanho	1	15,7274	11,3042	11,3042	16,56	0,000
tipo*Tamanho	1	4,2278	4,2278	4,2278	6,19	0,019
Error	27	18,4298	18,4298	0,6826		
Total	30	42,7140				

S = 0,826187 R-Sq = 56,85% R-Sq(adj) = 52,06%

Unusual Observations for IV

Obs	IV	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
26	14,4115	12,8257	0,2754	1,5859	2,04 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable IV

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

		Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
tipo	Tamanho				
1	30	2,069	0,3895	5,313	0,0001
2	10	1,447	0,4965	2,914	0,0337

```

2      30      1,945      0,3895      4,995      0,0002
tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      10      -0,6226      0,4965      -1,254      0,5991
2      30      -0,1238      0,3895      -0,318      0,9886
tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      30      0,4987      0,4965      1,005      0,7481

```

General Linear Model: mesp versus tipo; Tamanho

```

Factor Type Levels Values
tipo fixed 2 1; 2
Tamanho fixed 2 10; 30
Analysis of Variance for mesp, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
tipo 1 0,047331 0,038647 0,038647 143,27 0,000
Tamanho 1 0,037600 0,026530 0,026530 98,35 0,000
tipo*Tamanho 1 0,011425 0,011425 0,011425 42,36 0,000
Error 27 0,007283 0,007283 0,000270
Total 30 0,103639
S = 0,0164239 R-Sq = 92,97% R-Sq(adj) = 92,19%

```

Unusual Observations for mesp

Obs	mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	2,29991	2,33098	0,00547	-0,03107	-2,01 R
9	2,36455	2,33098	0,00547	0,03357	2,17 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable mesp
All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

```

tipo = 1
Tamanho = 10 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
1      30      0,1030      0,007742      13,31      0,0000
2      10      0,1159      0,009870      11,74      0,0000
2      30      0,1373      0,007742      17,73      0,0000
tipo = 1
Tamanho = 30 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      10      0,01287      0,009870      1,304      0,5682
2      30      0,03425      0,007742      4,424      0,0008
tipo = 2
Tamanho = 10 subtracted from:
          Difference      SE of      Adjusted
tipo Tamanho of Means Difference T-Value P-Value
2      30      0,02138      0,009870      2,167      0,1584

```

General Linear Model: Est1 versus tipo; Tamanho

```

Factor Type Levels Values
tipo fixed 2 1; 2
Tamanho fixed 2 10; 30
Analysis of Variance for Est1, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
tipo 1 0,0000080 0,0000080 0,0000080 0,02 0,894
Tamanho 1 0,0000016 0,0000016 0,0000016 0,00 0,952
tipo*Tamanho 1 0,0025063 0,0025063 0,0025063 6,25 0,067
Error 4 0,0016029 0,0016029 0,0004007
Total 7 0,0041188

```


S = 0,0200179 R-Sq = 61,08% R-Sq(adj) = 31,90%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est1

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,03450	0,02002	-1,723	0,4187
2	10	-0,03740	0,02002	-1,868	0,3652
2	30	-0,00110	0,02002	-0,055	0,9999

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,002900	0,02002	-0,1449	0,9987
2	30	0,033400	0,02002	1,6685	0,4406

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,03630	0,02002	1,813	0,3847

General Linear Model: Pt versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values

tipo fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
tipo	1	0,001615	0,001615	0,001615	0,42	0,552
Tamanho	1	0,006317	0,006317	0,006317	1,64	0,269
tipo*Tamanho	1	0,020434	0,020434	0,020434	5,32	0,082
Error	4	0,015366	0,015366	0,003841		
Total	7	0,043732				

S = 0,0619798 R-Sq = 64,86% R-Sq(adj) = 38,51%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	-0,0449	0,06198	-0,724	0,8830
2	10	-0,1295	0,06198	-2,089	0,2953
2	30	0,0278	0,06198	0,448	0,9665

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,08462	0,06198	-1,365	0,5763
2	30	0,07266	0,06198	1,172	0,6721

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,1573	0,06198	2,538	0,1918

General Linear Model: Est2 versus tipo; Tamanho

Factor Type Levels Values

tipo fixed 2 1; 2

Tamanho fixed 2 10; 30

Analysis of Variance for Est2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
--------	----	--------	--------	--------	---	---

tipo	1	0,0000007	0,0000043	0,0000043	0,49	0,516
Tamanho	1	0,0005489	0,0005174	0,0005174	58,95	0,001
tipo*Tamanho	1	0,0000413	0,0000413	0,0000413	4,70	0,082
Error	5	0,0000439	0,0000439	0,0000088		
Total	8	0,0006348				

S = 0,00296277 R-Sq = 93,09% R-Sq(adj) = 88,94%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est2

All Pairwise Comparisons among Levels of tipo*Tamanho

tipo = 1

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	30	0,019750	0,002705	7,302	0,0029
2	10	0,002950	0,002705	1,091	0,7099
2	30	0,014000	0,002705	5,176	0,0131

tipo = 1

Tamanho = 30 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	10	-0,01680	0,002963	-5,670	0,0089
2	30	-0,00575	0,002963	-1,941	0,3201

tipo = 2

Tamanho = 10 subtracted from:

tipo	Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	30	0,01105	0,002963	3,730	0,0481

7) ANOVA das propriedades das TMC20C e A20C1 para o fator Dp

General Linear Model: Rc 1D versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 1D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	45,432	45,432	22,716	330,76	0,000
Error	5	0,343	0,343	0,069		
Total	7	45,775				

S = 0,262063 R-Sq = 99,25% R-Sq(adj) = 98,95%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 1D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	4,884	0,2392	20,41	0,0000
30	5,925	0,2392	24,77	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	1,041	0,2140	4,865	0,0106

General Linear Model: Rc 3D versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 3D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	16,3630	16,3630	8,1815	12,90	0,011
Error	5	3,1714	3,1714	0,6343		
Total	7	19,5344				

S = 0,796420 R-Sq = 83,76% R-Sq(adj) = 77,27%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 3D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	3,584	0,7270	4,930	0,0100
30	2,145	0,6503	3,299	0,0477

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-1,439	0,7270	-1,979	0,2123

General Linear Model: Rc7D versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc7D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	73,283	73,283	36,641	21,35	0,001
Error	8	13,733	13,733	1,717		
Total	10	87,015				

S = 1,31018 R-Sq = 84,22% R-Sq(adj) = 80,27%

Unusual Observations for Rc7D

Obs	Rc7D	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	26,2013	28,7091	0,7564	-2,5078	-2,34 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc7D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-6,305	1,0007	-6,301	0,0006
30	-4,123	0,9264	-4,450	0,0054

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	2,182	1,001	2,181	0,1346

General Linear Model: Rc 28D versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for Rc 28D, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	130,067	130,067	65,034	88,52	0,000
Error	5	3,673	3,673	0,735		
Total	7	133,740				

S = 0,857118 R-Sq = 97,25% R-Sq(adj) = 96,15%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rc 28D

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-6,196	0,8571	-7,23	0,0019
30	-9,868	0,7423	-13,29	0,0001

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-3,673	0,7423	-4,948	0,0099

General Linear Model: E versus Tamanho

Factor	Type	Levels	Values
Tamanho	fixed	3	1; 10; 30

Analysis of Variance for E, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	1,2796	1,2796	0,6398	1,52	0,276

Error 8 3,3659 3,3659 0,4207
 Total 10 4,6455
 S = 0,648641 R-Sq = 27,55% R-Sq(adj) = 9,43%
 Tukey Simultaneous Tests

Response Variable E

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,1741	0,4954	0,351	0,9348
30	-0,5950	0,4954	-1,201	0,4852

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	-0,7691	0,4587	-1,677	0,2714

General Linear Model: Def. Pico versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Def. Pico, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	54718	54718	27359	0,41	0,685
Error	5	335511	335511	67102		
Total	7	390229				

S = 259,041 R-Sq = 14,02% R-Sq(adj) = 0,00%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Def. Pico

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-76,70	259,0	-0,2961	0,9533
30	117,91	224,3	0,5256	0,8627

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	194,6	224,3	0,8675	0,6817

General Linear Model: Rtd versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Rtd, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,10532	0,10532	0,05266	0,89	0,433
Error	15	0,89173	0,89173	0,05945		
Total	17	0,99705				

S = 0,243821 R-Sq = 10,56% R-Sq(adj) = 0,00%

Unusual Observations for Rtd

Obs	Rtd	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
18	4,76635	4,32071	0,09954	0,44565	2,00 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Rtd

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-0,1270	0,1408	-0,9020	0,6473
30	0,0558	0,1408	0,3966	0,9174

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,1828	0,1408	1,299	0,4174

General Linear Model: A versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30
Analysis of Variance for A, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tamanho 2 15,9806 15,9806 7,9903 77,73 0,000
Error 18 1,8503 1,8503 0,1028
Total 20 17,8308

S = 0,320612 R-Sq = 89,62% R-Sq(adj) = 88,47%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable A

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	1,688	0,1927	8,759	0,0000
30	1,798	0,1558	11,539	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,1102	0,1963	0,5611	0,8421

General Linear Model: IV versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30
Analysis of Variance for IV, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tamanho 2 82,257 82,257 41,128 81,32 0,000
Error 19 9,609 9,609 0,506
Total 21 91,866

S = 0,711164 R-Sq = 89,54% R-Sq(adj) = 88,44%

Unusual Observations for IV

Obs	IV	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
17	14,4115	12,8257	0,2371	1,5859	2,37 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable IV

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	3,571	0,4274	8,356	0,0000
30	4,070	0,3352	12,140	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,4987	0,4274	1,167	0,4864

Results for: Worksheet 10

General Linear Model: mesp versus Tamanho

Factor Type Levels Values
Tamanho fixed 3 1; 10; 30
Analysis of Variance for mesp, using Adjusted SS for Tests
Source DF Seq SS Adj SS Adj MS F P
Tamanho 2 0,051577 0,051577 0,025788 141,47 0,000
Error 19 0,003463 0,003463 0,000182
Total 21 0,055040

S = 0,0135012 R-Sq = 93,71% R-Sq(adj) = 93,05%

Unusual Observations for mesp

Obs	mesp	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	2,33839	2,36441	0,00450	-0,02602	-2,04 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable mesp

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,08246	0,008113	10,16	0,0000
30	0,10384	0,006365	16,32	0,0000

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,02138	0,008113	2,636	0,0413

General Linear Model: Est1 versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Est1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0032127	0,0032127	0,0016064	2,99	0,193
Error	3	0,0016117	0,0016117	0,0005372		
Total	5	0,0048244				

S = 0,0231783 R-Sq = 66,59% R-Sq(adj) = 44,32%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Est1

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,01955	0,02318	0,8435	0,7062
30	0,05585	0,02318	2,4096	0,1814

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,03630	0,02318	1,566	0,3826

General Linear Model: Pt versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Pt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,043858	0,043858	0,021929	5,74	0,067
Error	4	0,015271	0,015271	0,003818		
Total	6	0,059129				

S = 0,0617884 R-Sq = 74,17% R-Sq(adj) = 61,26%

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Pt

All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho

Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	0,02697	0,05640	0,4782	0,8850
30	0,18425	0,05640	3,2666	0,0652

Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,1573	0,06179	2,545	0,1300

General Linear Model: Est2 versus Tamanho

Factor Type Levels Values

Tamanho fixed 3 1; 10; 30

Analysis of Variance for Est2, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamanho	2	0,0001599	0,0001599	0,0000800	24,11	0,014
Error	3	0,0000099	0,0000099	0,0000033		

Total 5 0,0001699
 S = 0,00182117 R-Sq = 94,14% R-Sq(adj) = 90,24%
 Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable Est2
 All Pairwise Comparisons among Levels of Tamanho
 Tamanho = 1 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
10	-0,000200	0,001821	-0,1098	0,9934
30	0,010850	0,001821	5,9577	0,0192

 Tamanho = 10 subtracted from:

Tamanho	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
30	0,01105	0,001821	6,068	0,0183

CAPÍTULO 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÏTCIN, P.C., **High-Performance Concrete**. E & FN SPON, London, 1998, 591 pages.

AJDUKIEWICZ, A., KLISZCZEWICZ, A., “Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC” **Cement & Concrete Composites** v.24, pp. 269 – 279, 2002.

ALIGIZAKI, K.K., **Pore Structure of Cement-Based Materials: testing, interpretation and requirements**. 1 ed. New York, Taylor&Francis, 2006.

ALVES, A.V., VIEIRA, T.F, DE BRITO, J., CORREIA, J.R., “Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates” **Construction and Building Materials** v.64, pp. 103 – 113, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1202**: Electrical Indication of concrete’s ability to resist chloride ion penetration. U.S.A., 2010.

ASTM C 469, Test for static modulus os elasticity and poisson’s ratio of concrete in compression. U.S.A., 2010.

ASTM C187: Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement. U.S.A., 2006.

AMORIM, L.V., LIRA, H.L., FERREIRA, H.C., “Use of Residencial Construction Waste and Residues from Red Ceramic Industry in Alternative Mortars”, **Journal of Environmental Engineering** v. 129, n. 10, pp. 916-920, Out. 2003.

ANDREU, G., MIREN, E., “Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete” **Construction and Building Materials** v.52, pp. 227 – 235, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11376**: Moinho de

bolas – Determinação do índice de trabalho. Rio de Janeiro, 1990.

_NBR 12653: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 5p.

_NBR 15116: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004, 12p.

_NBR 5752: Materiais pozolânicos — Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland — Índice de atividade pozolânica com cimento — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012 4p.

_NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento — Especificação. Rio de Janeiro, 2012 4p.

_NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996 8p.

_NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5p.

_NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 4p.

_NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012. 3p.

_NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003 6p.

_NBR NM 47: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002 23p.

_NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009 6p.

AY, N., ÜNAL, M., “The use of waste ceramic tile in cement production”, **Cement and Concrete Research** v. 30, pp. 497-499, 2000.

BANFILL, P. F. G. “Rheology of fresh cement and concrete”. In: *Rheology Reviews*, The British Society of Rheology, pp 61 – 130, 2006.

BANFILL, P., FRÍAS, M., “Rheology and conduction calorimetry of cement modified with calcined paper sludge” **Cement and Concrete Research** v.37, n.2, pp. 184-190, Fev. 2007.

BANFILL, P.F.G., RODRÍGUEZ, O., SÁNCHEZ DE ROJAS, M.I., FRÍAS, M., “Effect of activation conditions of a kaolinite based waste on rheology of blended cement pastes” **Cement and Concrete Research** v.39, n.10, pp. 843-848, Out. 2009.

BARONIO, G., BINDA, L., “Study of the pozzolanicity of some bricks and clays”, **Construction and Building Materials** v. 11, n. 1, pp. 41-46, 1997.

BARTA, R. AND BRUTHANS, Z. Proc. 6th Conf. Silicate Ind. Budapest, 1963.

BEKTAS, F., TURANLI, L., WANG, K., CEYLAN, H., “Comparative Performance of Ground Clay Brick in Mitigation of Alkali-Silica Reaction”, **Journal of Materials in Civil Engineering** v. 19, n. 12, pp. 1070-1078, Dez. 2007.

BEKTAS, F., WANG K., “Performance of ground clay brick in ASR-affected concrete: Effects on expansion, mechanical properties and ASR gel chemistry”, **Cement & Concrete Composites** v. 34, pp. 273-278, 2012.

BEKTAS, F., WANG, k., CEYLAN, H., “Use of Ground Clay Brick as a Pozzolanic Material in Concrete”, **Journal of ASTM International** v.5, n.10, 2008.

BEKTAS, F., WANG, k., CEYLAN, H., “Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability”, **Construction and Building Materials** v.23, n.5, pp. 1909 - 1914 2009.

BERALDO, J. L. 1987. **Moagem de minérios em moinhos tubulares**. São Paulo :

Edgard Blücher Ltda., 1987. p. 143 p.

BINICI, H., “Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties”, **Construction and Building Materials** v.21, n.6, pp. 1191–1197, 2007.

BIGNOZZI, M. C., SACCANI, A., “Ceramic waste as aggregate and supplementary cementing material: A combined action to contrast alkali silica reaction (ASR)”, **Cement & Concrete Composites** v. 34, pp. 1141-1148, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11376**: Moinho de bolas – Determinação do índice de trabalho. Rio de Janeiro, 1990.

BRITISH STANDARD. **BS 8500-2**: Concrete. Complementary British Standard to BS EN 206-1 - Parte 2: Specification for constituent materials and concrete. 2006.

BUTTER, A., MACHADO, E., “Properties of concrete with recycled concrete coarse aggregates” **ACI Special Publication SP** v.229, n.32, pp. 497 – 510, 2005.

CABRERA, J. G. AND LYNSDALE, C. J. “A new gas parameter for measuring the permeability of mortar and concrete”, **Magazine Concrete Research**, Vol. 40, pp. 177-182, 1988.

CACHIM, P. B. “Mechanical properties of aggregate concrete” **Construction and Building Materials** v. 23, pp. 1292-1297, 2009.

CARREÑO, N. L. V., GARCIA, I. T. S., “*Nanocompósitos cerâmicos a partir do Processo de Moagem Mecânica de Alta Energia*”, **Química Nova**, v. 31, n. 5, pp. 962-968, 2008.

CASUCCIO, M., TORRIJOS, M., GIACCIO, G., ZERBINO, R., “Failure mechanism of recycled aggregate concrete” **Construction and Building Materials** v.22, pp. 1500 – 1506, 2012.

CORDEIRO, G. C., DÉsir, J. M., VALLANT, J M. M., TOLEDO FILHO, R. D.

“Caracterização de Resíduo de Tijolo Cerâmico moído para uso como aditivo mineral em concretos e argamassas”. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto, 2002.

CORDEIRO, G. C., VAILLANT, J. M. M., DÉ SIR, J. M. “Resíduo cerâmico como aditivo mineral em concreto”. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem na Construção Civil – Materiais Reciclados e suas Aplicações. p. 291-302. São Paulo, Jun/2001.

CORINALDESI, V., “Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates” **Construction and Building Materials** v.24, pp. 1616 – 1620, 2010.

DE LARRARD, F., *Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach*, Modern Concrete Technology Series, v. 9, E&FN SPON, London, 1999.

DEBIEB, F., KENAI, S., “The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete”, **Construction and Building Materials** v.22, pp. 886 – 893, 2008.

DHIR, R.K., HENDERSON, N.A., LIMBACHIYA, M.C., "Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate" In: *Proceedings of International Symposium Thomas Telford*, November, pp. 525, 1998.

FARIAS FILHO, J., LUCENA, L. F. L, NEVES, G. A., FERREIRA, H.C., LEAL, A. F., “ Avaliação da Atividade Pozolânica de Resíduos da Construção Civil”. In: **17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, pp. 1902-1912, Foz de Iguaçu, Nov. 2006.

FARIAS FILHO, J., ROLIM, J. S., TOLEDO FILHO, R. D., “Potencialidades da Metacaolinita e do Tijolo Queimado Moído como Substitutos Parciais do Cimento Portland” **Revista Brasileira de Engenharia Química e Ambiental** v. 4, n. 3, pp. 437-444, 2000.

FIGUEIRA, H.V.O., ALMEIDA, S.L.M., “Cominuição”, In: Luz, A.B. et al. (eds) *Tratamento de minérios*, 3 ed, pp. 111-191 Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

FLORES, Y. C., 2010, *Produção de aditivos minerais finos a nanométricos por moagem de alta energia e avaliação de sua atividade pozolânica*. Dissertação de M. Sc., PEMM/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FRÍAS, M., SÁNCHEZ DE ROJAS, M.I., CABRERA, J., “The effect that the pozzolanic reaction of metakaolin has on the heat evolution in metakaolin-cement mortars” **Cement and Concrete Research** v.30, pp. 209–216, 2000.

FONTES, C.M.A., 2008 *Utilização das Cinzas de Lodo de Esgoto e de Resíduo Sólido Urbano em Concretos de Alto Desempenho*, Tese de D.Sc., PEC/COPPE/UFR, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FORMAGINI, S., 2005 *Dosagem científica e caracterização Mecânica de concretos de altíssimo desempenho*, Tese de D.Sc., PEC/COPPE/UFR, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GOMEZ-SOBERON, J.M.V., “Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate – na experimental study” **Cement Concrete Research** v.32, pp. 1301 – 1311, 2002.

GONÇALVES, J. P., TAVARES, L. M., TOLEDO FILHO, R. D., FAIRBAIRN, E. M. R., “Performance evaluation of cement mortars modified with metakaolin”, **Construction and Building Materials** v. 23, pp. 1971-1979, 2009.

GONÇALVES, J.P., “Utilização do resíduo da indústria cerâmica para a produção de concretos” **REM: R. Esc. Minas** v.60, n.4, pp. 639 – 644, 2007.

GONÇALVES, J.P., 2005, *Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto Ambiental contendo argila calcinada e areia artificial*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GONÇALVES, J.P., TOLEDO FILHO, R.D., FAIRBAIRN, E.M.R., “Estudo da hidratação de pastas de cimento Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica”, **Ambiente Construído** v.6, n.4, pp. 8 – 94, 2006.

HALAMICKOVA, P., DETWILER, R.J. “Water permeability and chloride ion diffusion in Portland cement mortars: relationship to sand content and critical pore diameter” **Cement and Concrete Research** v.25, n.4, pp. 790 - 802, 1995.

HALL, C. “Water sorptivity of mortars and concrete: a review” **Magazine of Concrete Research** v.42, n.151, pp. 105 – 109, 1990.

HANSEN, T.C., NARUD, H., “Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate” **Concrete International Design & Construction** v.5, n.1, 1983.

HANSEN, T.C., **Recycling of Demolished Concrete and Masonry**. 1 ed., Taylor&Francis, UK, 1992.

HE, C., MAKOVICKY, E., OSBÆCK, B.,”*Thermal stability and pozzolanic activity of calcined kaolin*” **Applied Clay Science** v.9, n.3, pp. 165-187, 1994.

HE, C., OSBÆCK, B., MAKOVICKY, E., “Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: action, reactivity assessment and technological effects” **Cement Concrete Research** v.25, n.8, pp. 1691 – 1702, 1995.

HEIDARI, A., TAVAKOLI, D., “A Study of the mechanical properties of ground ceramic powder concrete incorporating nano-SiO₂ particles” **Construction and Building Materials** v.38, pp.255 – 264, 2013.

HEIKAL, M., ZOHDY, K.M., ABDELKREEM, M., “Mechanical, microstructure and rheological characteristics of high performance self-compacting cement pastes and concrete containing ground clay bricks” **Construction and Building Materials** v.38, pp. 101 – 109, 2013.

HENNART, S.L.A, WILDEBOER, W.J., VAN HEE, P., MEESTERS, G.M.H., “Identification of the grinding mechanisms and their origin in a stirred ball mill using population balances” **Chemical Engineering Science**, v.64, n.19, pp. 4123-4130, 2009.

- HIGASHIYAMA, H., YAGISHITA, F., SANO, M., TAKAHASHI, O., “Compressive strength and resistance to chloride penetration of mortars using ceramic waste as fine aggregate” **Construction and Building Materials** v.26, pp.96 – 101, 2012.
- HÖLZER, G., M. FRITSCH, M. DEUTSCH, J. HÄRTWIG, AND E. FÖRSTER. "K Alpha_{1,2} and K Beta_{1,3} X-Ray Emission Lines of the 3d Transition Metals." **Physical Review A** **56**, no. 6, pp. 4554-68, 1997.
- INTERNATIONAL STANDARD, **ISO 15901-1**: Evaluation of pore size distribution and porosimetry of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption — Part 1: Mercury porosimetry. Switzerland, 2005, 18 p.
- JANKOVIC, A., “Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills” **Minerals Engineering**, v. 16, pp. 337–345, 2003.
- JANOTKA, I., PUERTAS, F., PALACIOS, M., KULIFFAYOVÁ, M., VARGA, C., “Metakaolin sand-blended-cement pastes: Rheology, hydration process and mechanical properties” **Construction and Building Materials** v.24, pp. 791 – 802, 2010.
- KALLEMBACK, G. M., 2012, *Otimização e Controle Preditivo Não Linear de Circuito de Moagem a Seco*. Dissertação de M.Sc., PEMM/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- KHALAF, F.M E DE VENNY, A.S. “Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete” **Journal of Materials in Civil Engineering**. v.16, n.4, pp. 40-331, 2004.
- KARTINI, K., ROHAIDAH, M.N., ZURAINI, Z.A. “Performance os ground clay bricks as partial cement replacement in grade 30 concrete” **World Academy of Science, Engineering and Technology** v.68, pp. 362 – 365, 2012.
- KHATIB, J.M., “Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate” **Cement and Concrete Research** v.35, pp. 763 – 769, 2005.

KWADE, A., SCHWEDES, J., “Wet comminution in stirred media mills”, **Kona**, n.15, pp. 91 - 101, 1997.

LAVAT, A.E., TREZZA, M.A., POGGI, M., “Characterization of ceramic roof tile wastes as pozzolanic admixture” **Waste Management** v.29, pp. 1666 – 1674, 2009.

LAWRENCE, P., CYR, M., RINGOT, E., “Mineral admixtures in mortars effect the inert materials on short-ter hydration” **Cement and Concrete Research** v.33, pp. 1939 – 1947, 2003.

LEA, F.M., **The Chemistry of Cement and Concrete**, 3rd Ed., Edward Arnold, London, 1970.

LEITE, M. B., MOLIN, D. D. “Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmicos presente no agregado reciclado de resíduo de C&D”. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 26, p. 111-130, jan./jun. 2002.

LI, J., XIAO, H., ZHOU, Y., “Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete” **Construction and Building Materials**, v.23, n.3, pp. 1287-1291, Mar.2009.

LIMA, J. A. R., 1999, *Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos*. Dissertação de M.Sc. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.

LICHTER, J. K. H., DAVEY, G., “Selection and sizing of ultrafine and stirred grinding mills” **Advances in Comminution**, pp. 69-85, 2006.

LINES, M.G., “Nanomaterials for practical functional uses” **Journal of Alloys and Compounds**, v. 449, pp. 242-245, 2008.

LOTHENBACH, B., SCRIVENER, K., HOOTON, R.D., “Supplementary cementitious materials” **Cement and Concrete Research**, v.41, n.12, pp. 1244-1256, Dez. 2011.

MANSUR, M.A., WEE, T.H., LEE, S.C., “Crushed bricks as coarse aggregate for concrete” **Construction and Building Materials** v.96, n.4, pp. 478 – 484, 1999.

MEDINA, C., BANFILL, P.F.G., SÁNCHEZ DE ROJAS, M.I., FRÍAS, M. “Rheological and calorimetric behaviour of cements blended with containing ceramic sanitary ware and construction/demolition waste” **Construction and Building Materials** v.40, pp. 822 – 831, 2013.

MEHTA, P. Kumar e MONTEIRO, Paulo J. M. **CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3 ed. São Paulo, IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K., ACI, SP-79, American Concrete Institute, Detroit, pp. 1-35, 1983.

METSO manual de britagem 2005 sexta edição.

MINDESS, S., YOUNG, J. F., DARWIN, D., **Concrete**, 2 ed. New Jersey, Prentice Hall, 2002.

NACERI, A., HAMINA, C. H., “Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar” **Waste Management** v.29, pp. 2378 – 2384, 2009.

NAPIER-MUNN, T. J., MORRELL, S., MORRISON, R.D., KOJOVIC, T., *Mineral Comminution Circuits – Their Operation and Optimisation*. The University of Queensland, Australia, Julius Kruttschnit Mineral Research Centre (JKMRC), 1996.

NGUYEN, V. B., WANG, C. X. e ZHANG, Z., “Mechanical properties of single alginate microspheres determined by microcompression and finite element modelling” **Chemical Engineering Science** v.64, pp. 821-829, 2009.

O’FARRELL, M., WILD, S, SABIR, B.B., “Pore size distribution and compressive strength of waste clay brick mortar” **Cement & Concrete Composites** v.23, pp. 81 – 91, 2001.

_ “Resistance to chemical attack of ground brick-PC mortar Part I. Sodium sulfate solution” **Cement and Concrete Research** v.9, pp.1781 – 1790, 1999.

_ “Resistance to chemical attack of ground brick-PC mortar Part.II Synthetic seawater” **Cement and concrete Research** v.30, pp.757 – 765, 2000.

_ “Strength and chemical resistance of mortars containing brick manufacturing clays subjected to diferente tretments” **Cement & Concrete Composites** v.28, pp. 790 – 799, 2006.

OZKAN, A., YEKELER, M., CALKAYA, M., “Kinetics of fine wet grinding of zeolite in a steel ball in comparison to dray grinding” **Int. J. Miner. Process** v.90, pp. 67-73, 2009.

PACHECO-TORGAL, F., JALALI, S. “Reusing ceramic waste in concrete” **Construction and Building Materials** v.24, pp. 832 – 838, 2010.

PAIVA, O.A., 2009, *Resíduo industrial de vidro moído em argamassa de cimento Portland*. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

PALANIANDY, S., AZIZLI, K. A. M., HUSSIN, H., HASHIM, S. F. S., “Study on mechanochemical effect of silica for short grinding period” **International Journal of Mineral Processing**, v.82, n.4, pp. 195-202, Jun. 2007.

PALIARI, J. C., 1999, *Metodologia para coleta e análise de informações sobre consumos e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras de edifícios*. 1999. 473p. Dissertação M.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

PARDAL, X., POCHARD, I., NONAT, A., “Experimental study of Si–Al substitution in calcium–silicate–hydrate (C–S–H) prepared under equilibrium conditions” **Cement and Concrete Research** v.39, pp.637–643, 2009.

PEREIRA-DE-OLIVEIRA, L.A., CASTRO-GOMES, J.P., SANTOS, P.M.S. “The potencial pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars componentes” **Construction and Building Materials** v.31, pp. 197 – 203, 2012.

PITCHUMANI, R., ZHUPANSKA, O., MEESTERS, G. M.H., SCARLETT, B., “Measurement and characterization of particle strength using a new robotic compression tester” **Powder Technology** v. 143–144, pp. 56-64, Jun. 2004.

PINTO, T. P., 1999, *Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC), São Paulo, Brasil.

POON, C.S., CHAN, D., “The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong” **Resources, Conservation and Recycling** v.50, pp. 293 – 305, 2007.

POON, C., SHUI, Z., LAM, L., “Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates” **Construction Build Mater.** v.18, n.6, pp. 461 – 468, 2004.

PUERTAS, F., GARCÍA-DÍAZ, I., BARBA, A., GAZULLA, M.F., PALACIOS, M., GÓMEZ, M.P., MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S., “Ceramic waste as alternative raw materials for Portland cement clinker production” **Cement & Concrete Composites** v.30, pp. 798 – 805, 2008.

QUEBAUD, M. 1996. *Caracterisation des granulats recyclés etude de la composition et du comportement de betons incluant ces granulats*. Thesis PhD, Universidade d’Artois, França.

RAHHAL, V., BONAVETTI, V., TRUSILEWICZ, L., PEDRAJAS, C., TALERO, R., “Role of the filler on Portland cement hydration at early ages” **Construction and Building Materials** v.27, n.1, pp. 82-90, Fev. 2012.

RAMACHANDRAN, R. S.; PALORI, R. M.; BEAUDOIN, J. J.; DELGADO, A. H. **Handbook of thermal analysis of construction materials**. Noyes Publications/William Andrew Publishing, p. 293 – 526, 2002.

RIBAS, L.F., CORDEIRO, G.C., TOLEDO FILHO, R.D., TAVARES, L.M., “Measuring the strength of irregularly-shaped fine particles in a microcompression tester” **Minerals Engineering** v. 65, p. 149-155, 2014.

RYU, J.S., “An experimental study on the effect of recycled aggregate on concrete properties” **Magazine of Concrete Research** v.54, n.1, pp. 7 – 12, 2002.

SABIR, B.B., WILD, S., BAI, J., “Matakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review” **Cement & Concrete Composites** v.23, pp. 441 – 454, 2001.

SABIR, B.B., WILD, S., O’FARRELL, M., “A water sorptivity test for mortar and concrete” **Materials and Structures/Matériaux et Constructions** v.31, pp. 568 – 574, 1998.

SANTOS, Pécisio de Souza. **Ciência e tecnologia de argilas**; v.2. 2.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 409-854, 1992.

SANTOS, Pécisio de Souza; SANTOS, Helena de Souza. **Tecnologia de argilas aplicada às argilas brasileiras**. São Paulo, Edgard Blücher, 1975.

SCHÖNERT, K., “Advances in comminution fundamentals and impacts on technology” **Aufbereitungs-Technik** v.32, pp. 487-494, 1991.

_ “Fundamentals of Particle Breakage”, 1988.

_ “Stressing mechanisms in mills”, 1988.

SCHUBERT, H. “On the microprocesses of comminution” **Aufbereitungs-Technik** v.5, pp. 237-245, 1987.

SIKONG, L., HASHIMOTO, H. e YASHIMA, S., “Breakage behavior of fine particles of brittle minerals and coals” **Powder Technology** v.61, pp. 51-57, 1990.

SILVA, A.S.M., *Dosagem de concretos pelos métodos de empacotamento compressível e Aïtcin-Faury Modificado*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ,

Brasil, 2004.

SILVA, E. F., *Variações dimensionais em concretos de alto desempenho contendo aditivo redutor de retração*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

SILVA, A. S. M. da, FORMAGINI, S., FAIRBAIRN, E. M. R., TOLEDO FILHO, R.D., “Dosagem de concreto de alto desempenho utilizando o modelo de empacotamento compressível”, In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005, Olinda/PE. Anais:CBC0286, IBRACON, 2005.

TASH, S.W., ABDELFAH, A.S., “Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete” **Construction and Building Materials** v.23, pp. 1163 – 1167, 2009.

TAM, V. W.Y., GAO, X.F., TAM, C.M., NG, K.M., “Physio-chemical reactions in recycle aggregate concrete” **Journal of Hazardous Materials** v.163, n.2–3, pp. 823-828, 2009.

TAVARES, L. M. M., “Breakage of single particles: Quasi-Static” **Handbook Powder Technology** v.12, pp. 4-69, 2007.

_ “Analysis of particle fracture by repeated stressing as damage a accumulation” **Powder Technology** v.190, pp. 327-339, 2009.

TAVARES, L. M. M., CARVALHO, R. M., “Modeling brekage rates of coarse particles in ball mills” **Minerals Engineering** v.22, pp. 650 – 659, 2009.

TOLEDO FILHO, R.D., GONÇALVES, J.P., AMERICANO, B.B., FAIRBAIRN, E.M.R., “Potencial for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil” **Cement and Concrete Research** v.37, pp. 1357 – 1365, 2007.

TOPÇU, I. B.; GÜNÇAN, N. F. “Using waste concrete as aggregate”. **Cement and Concrete Research** v. 25, n. 7, p. 1385-1390, 1995.

TURANLI, L., BEKTAS, F., MONTEIRO, P.J.M., “Use of ground clay brick as a pozzolanic material to reduce the alkali-silica reaction” **Cement and Concrete Research** v.33, pp. 1539 – 1542, 2003.

VEJMELKOVÁ, E., KEPPERT, M., ROVNANÍKOVÁ, P., ONDRÁČEK, M., KERŠNER, Z., ČERNÝ, R., “Properties of high performance concrete containing fine-ground ceramics as supplementary cementitious material” **Cement & Concrete Composites** v.34, pp. 55 – 61, 2012.

WAGIH, A.M., EL-KARMOTY, H.Z., EBID, M., OKBA, S.H., “Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete” **HBRC Journal** v.9, pp.193 – 200, 2013.

WANG, W., KOU, S., XING, F., “Deformation properties and direct shear of medium strength concrete prepared with 100% recycled coarse aggregates” **Construction and Building Materials** v.48, pp. 187 – 193, 2013.

WELLENKAMP, F. J., **Moagens fina e ultrafina de minerais industriais: uma revisão**, 1 ed. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 1999.

XIAO, J., LI, W., SUN, Z., SHAH, S., “Crack propagation in recycled aggregate concrete under uniaxial compressive loading” **ACI Materials Journal** v.109, n.4, pp. 451-462, 2012.

YASHIMA, S., SAITO, F., “Size Effects of Particle Compressive Strength of Brittle Solids”, **Science Reports of Research Institutes of Tohoku University**, 27A, p. 31, 1978.

YOUNG, J. F., MINDESS, S., GRAY, R. J., BENTUR, A., **The science and technology of civil engineering materials**, 1 ed., New Jersey, Prentice Hall, 1998.