

Reciclagem de Rejeitos de Cerâmica Vermelha e da Construção Civil para Obtenção de Aglomerantes Alternativos

L.V. Amorim, A.S.G. Pereira, G.A. Neves e H.C. Ferreira

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia,

Av. Aprígio Veloso, 882, 58109-970 Bodocongó - PB;

e-mail: heber@dema.ufpb.br

Resumo: Com o objetivo de estudar o aproveitamento de rejeitos de cerâmica vermelha e da construção civil, visando a obtenção de agentes pozolânicos, para uso em argamassas alternativas com cais pozolânicos, e, verificar a influência da área específica, destes resíduos sólidos, nas propriedades mecânicas das argamassas, foram estudadas quatro amostras de materiais pozolânicos, com diferentes áreas específicas, e duas amostras de cais. As argamassas foram preparadas utilizando traço 1:3, na consistência normal e como aglomerante cais pozolânicos, nas composições de 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana. Os corpos de prova foram curados por períodos de 7, 28 e 60d e submetidos a ensaios mecânicos. Os resultados obtidos evidenciaram a viabilidade da reciclagem dos resíduos sólidos e um aumento significativo nas propriedades mecânicas das argamassas com o aumento da área específica dos materiais pozolânicos.

Palavras-chaves: *rejeitos, cerâmica vermelha, argamassas alternativas*

Introdução

Nos últimos anos, a Universidade Federal da Paraíba (UFPB), através dos Departamentos de Engenharia de Materiais, Engenharia Química e Engenharia Civil, vêm estudando as *cais pozolânicas*, sua caracterização e desempenho mecânico, como aglomerante em argamassas alternativas. As *cais pozolânicas*, são misturas de cais com pozolanas, em proporções adequadas, que variam com o tipo de cal utilizada^{1,2,3}. Estudos mais recentes, buscando, também, o desenvolvimento de materiais de construção de baixo custo, tratam do aproveitamento dos resíduos sólidos ou entulhos minerais da construção civil, para uso como agregados, em argamassas mistas, e como aglomerantes, em argamassas com cais pozolânicos. Os resultados são bastante animadores, podendo, as argamassas com agregados oriundos da reciclagem de entulhos, ser utilizadas com segurança no assentamento de tijolos e revestimento de alvenarias⁴. As argamassas com cais pozolânicos, também apresentam resultados satisfatórios, evidenciando que o entulho de construção civil, após adequada cominuição, pode ser utilizado como material pozolânico, e juntamente com cais, originando aglomerantes alternativos⁵.

A utilização de entulhos minerais de construção civil, como agente pozolânico em argamassas, depende da sua atividade pozolânica, que é atribuída, essencialmente, aos seus constituintes (argamassas, tijolos e telhas) que quando moídos, geram produtos capazes de reagir com cal. Com isto, fica evidente a importância da moagem no processo de reciclagem de entulhos e rejeitos de cerâmica vermelha, pois através da moagem, obtém-se uma redução no tamanho das partículas, desenvolvendo uma maior superfície de contato entre os grãos, ou seja, uma maior área específica, facilitando assim as reações químicas que se iniciam na sua superfície. A área específica de pozolanas também desperta interesse quando utilizada como aditivo em argamassas de cal e cimento, sendo as resistências mecânicas destas argamassas melhoradas com o aumento de sua finura⁶.

A área específica pode ser definida como a área externa total das partículas de um sólido pulverulento, referido à unidade de massa, e, mais raramente, à unidade de volume. Sua utilização é, muitas vezes, fundamental no controle das propriedades tecnológicas de argilas, cerâmicas, na estabilização de solos, bem como nos materiais aglomerantes. Neste último caso podemos citar, como exemplo, o cimento Portland composto, que segundo a norma EB 2138⁷, apre-

senta os seguintes dados: o CP II – Z 25 apresenta área específica de 240 m²/kg e uma resistência à compressão de 25 MPa para o período de 28d de cura; o CP II – Z 32 apresenta área específica de 260 m²/kg e uma resistência à compressão de 32 MPa para o período de 28d de cura, e o CP II – Z 40 apresenta área específica de 280 m²/kg e uma resistência à compressão de 40 MPa para o período de 28d de cura.

O objetivo do presente trabalho é estudar o aproveitamento de rejeitos de cerâmica vermelha e da construção civil, visando a obtenção de agentes pozolânicos, para uso em argamassas alternativas de cais pozolânicos, e em particular, verificar a influência da área específica, destes resíduos sólidos, nas propriedades mecânicas das argamassas.

Parte Experimental

Materiais

Neste trabalho foram estudadas duas amostras de cais hidratadas e quatro amostras de materiais pozolânicos.

Cais Hidratadas

Megaó: proveniente de Recife, PE, fabricada pela Indústria Fazenda Megaó de Cima – Indústria e Comércio Megaó LTDA.

Carbomil: proveniente de Fortaleza, fabricada no Município de Limoeiro do Norte, CE.

Materiais Pozolânicos

As amostras de materiais pozolânicos foram: duas amostras de entulho de construção civil, uma amostra de resíduo cerâmico e uma pozolana artificial.

Entulho 1: Amostra de entulho de construção civil, proveniente da demolição de uma casa residencial construída há 60 anos, localizada na rua Desembargador Trindade, Centro, Campina Grande, PB.

Entulho 2: Amostra de entulho, proveniente da demolição de parte de uma das torres da Igreja Nossa Senhora da Conceição – Catedral, construída há 248 anos, localizada na Avenida Floriano Peixoto, Centro, Campina Grande, PB.

Mistura: Amostra de resíduo cerâmico, proveniente de uma mistura composta por 50% de tijolos furados e 50% de telhas, utilizados em construções e adquiridos no comércio local de Campina Grande, PB.

Pozolana: Amostra de pozolana artificial, produzida pela Itapessoca Agro Industrial S.A., localizada na Ilha de Itapessoca, no Município de Goiana, PE. Esta pozolana é obtida por tratamento térmico, à temperatura em torno de 700 °C, a partir de uma argila caulínica, de origem sedimentar, na Formação Barreiras, PE.

Areia

Areia Normal: Obtida por peneiração⁸, a partir de areias normalmente utilizadas em construção civil e provenientes do Rio Paraíba do Norte, PB.

Água

Água Potável: Fornecida pela CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba, para o sistema de abastecimento local da cidade de Campina Grande, PB.

Métodos

Preparação das Amostras - As amostras Entulho 1, Entulho 2 e Mistura, foram submetidas ao processo de trituração, em britador de mandíbulas, e peneiradas em peneira ABNT N° 4 (4,76 mm). Após esta etapa, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de 50kg, e etiquetadas de forma a permitir sua identificação. A amostra Pozolana não passou por nenhum beneficiamento (trituração ou peneiração), uma vez que foi enviada ao laboratório com granulometria ideal para o estudo.

Moagem - As amostras Entulho 1, Entulho 2 e Mistura, foram secas em estufa à 110 °C até massa constante, e em seguida, moídas em moinho de bolas⁹, por períodos de 10, 15, 20, ..., 80, 85 e 90 min, sendo retiradas pequenas porções de material a cada período. Estas porções foram passadas em malha ABNT N° 50 (0,297 mm) e encaminhadas ao ensaio de área específica. A amostra Pozolana foi moída em moinho de discos, com diferentes aberturas entre os discos, denominadas de AB0 (0,3 mm) e AB1 (0,2 mm). Parte da amostra moída na AB1 foi passada em peneira ABNT N° 200 (0,074 mm), sendo esta denominada de AB2. Foi estudada, ainda, uma amostra de Pozolana, denominada de PM (0,1 mm), recebida da fábrica já moída, também em moinho de discos.

Ensaio de Caracterização

As amostras foram caracterizadas através dos ensaios abaixo relacionados.

Massa Específica Real – As amostras de cais e materiais pozolânicos foram secas a 110 °C, até massa constante, esfriadas em dessecador até à realização dos ensaios. A determinação da massa específica real das amostras foi realizada segundo a norma NBR-6474¹⁰. Os resultados são a média de três determinações, com desvio padrão máximo de 2%, e são apresentados em g/cm³, com aproximação de duas casas decimais.

Para os ensaios de análise química, análise térmica diferencial e difração de raios-X, as amostras de materiais pozolânicos foram passadas em peneira ABNT N° 200 (0,074 mm). As amostras de cais foram utilizadas na forma original.

Análise Química – Realizada segundo métodos do Laboratório de Análise Mineralis do CCT/PRAI/UFPB, LAM – CG¹¹.

Análise Térmica Diferencial (ATD) – As análises foram realizadas em equipamento BP Engenharia modelo RB12, operando a 12,5 °C/min. A temperatura máxima foi de 1200 °C e o padrão utilizado foi o óxido de alumínio (Al₂O₃) calcinado, passado em peneira ABNT N° 200 (0,074 mm).

Difração de Raios-X – As análises foram realizadas em equipamento Philips modelo X'Pert MPD, operando com radiação K-alfa de cobre, 40 kV e 40 mA, com varredura entre 2θ (2°) e 2θ (90°).

Área Específica - As amostras de cais e materiais pozolânicos foram secas a 110 °C, até massa constante, e esfriadas em dessecador, até à realização dos ensaios. As áreas específicas foram determinadas pelo método do permeâmetro de Blaine, expressas em m²/g, segundo a norma NBR-7224¹². Para a aplicação do método utilizando o permeabilímetro ao ar – Blaine, utilizou-se uma amostra padrão de cimento, que foi fornecida pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, com massa específica de 3,15 g/cm³ e área específica de 0,354 m²/g. Os resultados são a média de três determinações, com desvio padrão máximo de 2%, com aproximação de uma casa decimal.

Consumo de Cal – As amostras de materiais pozolânicos foram submetidas ao ensaio de consumo de cal, para determinação de sua atividade pozolânica, segundo método Chapelle¹³ modificado.

Ensaio Mecânicos

Preparação das Argamassas - Foram preparadas argamassas com cais pozolânicos, no traço 1:3 (uma parte de aglomerante, cal pozolânica, e três partes de areia normal) e fator água/aglomerante (fa/a) determinado através dos ensaios de consistência normal, como descrito abaixo. Foram utilizadas três proporções para compor as cais pozolânicos, são elas: 30% de cal e 70% de material pozolânico; 40% de cal e 60% de material pozolânico, e 50% de cal e 50% de material pozolânico².

Consistência Normal - As argamassas contendo cal, material pozolânico e areia normal, foram submetidas aos ensaios de consistência normal, realizados na mesa de fluidez, segundo a norma NBR – 9290¹⁴, que prescreve o intervalo de espalhamento entre 205 mm a 215 mm aquele que confere à argamassa uma consistência normal.

Moldagem dos Corpos de Prova - Os corpos de prova foram moldados utilizando moldes cilíndricos com dimensões d x h de 5 x 10 cm, conforme recomenda a norma NBR – 7215¹⁵.

Cura - Os corpos de prova foram submetidos a períodos de cura de 7, 28 e 60d, tendo sido utilizados dois tipos de cura: cura aérea e cura imersa em água. A cura aérea foi realizada de forma que os corpos de prova ficassem expostos ao ar, em um reservatório, e umedecidos a partir do

quinto dia, até que se completassem os sete primeiros dias de cura. A cura imersa em água foi realizada em um reservatório com água, saturada com 2% de cal, onde os corpos de prova foram submersos a partir do oitavo dia de cura¹⁶.

Resistência à Compressão Simples (RCS) - Após completada a cura, os corpos de prova foram retirados do reservatório e rompidos segundo a norma NBR – 7215¹⁵. Os resultados são apresentados em MPa, com aproximação de duas casas decimais.

Análise Estatística

Correlações Lineares Simples - Com os resultados obtidos para a área específica e RCS das argamassas estudadas, efetuou-se análises estatísticas através de correlações lineares simples verificando-se a interdependência entre a área específica e a RCS. O tipo de ajustamento foi a regressão linear simples, cuja equação é a seguinte: $Y = A + Bx$, onde X (RCS) e Y (A.E.) são respectivamente as variáveis dependentes e independentes, “B” a inclinação da reta e “A” a interseção com o eixo Y. A significância da correlação verifica-se através do coeficiente de correlação (R) e do nível de significância (α). O α, quando menor que 0,05 ou 5%, indica que a probabilidade calculada é significativa e, quando menor que 0,01 ou 1%, indica que esta é altamente significativa.

Resultados e Discussões

Ensaio de Caracterização

Massa Específica Real

Os valores encontrados para as massas específicas reais das amostras de materiais pozolânicos e das amostras de cais, estão contidos na Tabela 1. Os resultados apresentaram uma variação de 2,36 g/cm³ (Entulho 2) a 2,62 g/cm³ (Pozolana) para os materiais pozolânicos. A amostra Entulho 1 apresentou massa específica real de 2,51 g/cm³, enquanto a Mistura teve seu resultado igual a 2,45 g/cm³. Os valores obtidos, para todas as amostras de materiais pozolânicos, encontram-se na faixa de 2,10 g/cm³ a 2,70 g/cm³, que corresponde a possíveis valores de massa específica real de pozolanas. A cal Carbomil apresentou

Tabela 1. Massa específica real das amostras de materiais pozolânicos e das amostras de cais.

Amostra	Massa Específica Real (g/cm ³)
Entulho 1	2,51
Entulho 2	2,36
Mistura	2,45
Pozolana	2,62
Cal Carbomil	2,23
Cal Megaó	2,54

massa específica real de 2,23 g/cm³, e a cal Megaó de 2,54 g/cm³.

Análise Química

Na Tabela 2, são apresentadas as composições químicas das amostras de materiais pozolânicos. As amostras, Entulho 1, Entulho 2, Mistura e Pozolana, apresentam teores de PR abaixo do limite máximo de 10,0%, especificado pela ASTM¹⁷. A soma dos percentuais de Si₂O, Fe₂O₃ e Al₂O₃, é de 87,07%, 82,42%, 92,88% e 96,73%, para as amostras Entulho 1, Entulho 2, Mistura e Pozolana, respectivamente. Estes valores superam o valor mínimo de 70%¹⁷. O percentual de MgO, também satisfaz ao valor máximo de 5% exigido¹⁷. Desta forma, estas amostras atendem às especificações químicas exigidas pela ASTM¹⁷.

As amostras Entulho 1, Entulho 2 e Mistura, podem ser classificadas como sílico-aluminosas, quanto à composição química, exceção feita a amostra Pozolana, que pode ser classificada como uma amostra, predominantemente, silicosa. O teor de sílica (SiO₂) apresentado nas amostras é considerado elevado. Este fato é desejável em materiais ativos e tem papel importante, pois ao longo do tempo tem-se reações que formam os silicatos hidratados, que são responsáveis pela resistência mecânica desenvolvida.

Na Tabela 3, são apresentados as composições químicas das amostras de cais Carbomil e Megaó A especificação brasileira NBR-7175¹⁸ estabelece, como critério de qualidade (pureza da cal), um teor mínimo de 88% de óxidos totais, e segundo este critério, pode-se afirmar que as amostras de cais, aqui analisadas, são consideradas de elevada pureza, com teores de 98,47% para a cal Carbomil e 95,31% para a cal Megaó.

Segundo a norma brasileira NBR-6453¹⁹, a cal Carbomil pode ser classificada como cal cálcica, por apresentar percentagem de CaO, em relação ao óxidos totais, maior que 90% (94,04%), e a cal Megaó, pode ser classificada como cal dolomítica, por apresentar percentagem de CaO, em relação ao óxidos totais, menor que 65% (57,30%).

A perda ao rubro (PR) determina o teor de constituintes voláteis, água combinada (H₂O) e anidrido carbônico

Tabela 2. Composições químicas das amostras de materiais pozolânicos.

Determinações (%)	Entulho 1	Entulho 2	Mistura	Pozolana
PR	8,53	9,52	2,37	3,03
SiO ₂	58,09	62,92	58,58	80,00
Fe ₂ O ₃	5,30	3,75	8,20	0,72
Al ₂ O ₃	23,68	16,05	26,10	16,01
CaO	1,40	Nihil	Nihil	Nihil
MgO	—	2,18	—	—
Na ₂ O	0,57	0,68	1,22	—
K ₂ O	2,42	3,03	3,03	—

(CO₂). A cal Carbomil apresentou um teor de PR de 25,39% e a cal Megaó de 24,94%. O teor H₂O indica se a etapa de hidratação do processo de produção foi bem conduzida. Para a cal cálcica este valor deve ser de aproximadamente 24% e para a cal dolomítica 27%. A cal Carbomil (cálcica) apresentou um teor de água combinada de aproximadamente 22,32%, podendo ser considerada como uma cal bem hidratada, enquanto a cal Megaó (dolomítica) apresentou uma teor de aproximadamente 13,66%, valor considerado baixo, podendo indicar uma etapa de hidratação mal conduzida. O teor de anidrido carbônico (CO₂), por sua vez, indica se a calcinação foi bem conduzida. Neste caso, seu teor não deve ultrapassar 5%. A cal Carbomil apresentou um teor de CO₂ de aproximadamente 3,07%, podendo ser considerada como uma cal bem calcinada, enquanto a cal Megaó apresentou um teor de aproximadamente 11,27%, indicando um processo de calcinação inadequado.

Dos resultados apresentados pelas análises químicas, adotou-se a cal Carbomil como amostra única para o desenvolvimento das demais etapas deste estudo. Esta escolha foi baseada no teor de MgO, que na cal Megaó, apresenta-se em elevada quantidade, resultando numa hidratação mais lenta, ocorrendo simultaneamente à carbonatação. Assim, a etapa de hidratação pode se dá de forma retardada, após a aplicação, causando um aumento de volume, que compromete a argamassa através do surgimento de fissuras e desagregações²⁰.

Análise Térmica Diferencial (ATD)

Através dos termogramas, as amostras de materiais pozolânicos e cais, apresentam as seguintes composições mineralógicas. A amostra Entulho 1 apresenta um pico endotérmico a 142 °C, característico da perda de água adsorvida, e a 581 °C um pico, também endotérmico, característico da transformação de quartzo α em β. A amostra

Tabela 3. Composições químicas das amostras de cais.

Determinações (%)	Carbomil	Megaó
PR	25,39	24,94
SiO ₂	0,37	3,36
Fe ₂ O ₃	—	—
Al ₂ O ₃	—	—
CaO	69,44	42,92
MgO	4,03	28,62
Na ₂ O	—	—
K ₂ O	—	—
Dados Calculados(%)		
Óxidos Totais	98,47	95,31
Água Combinada (H ₂ O)*	22,32	13,66
Anidrido Carbônico (CO ₂)*	3,07	11,27

* Dados calculados a partir de equações estequiométricas.

Entulho 2 apresenta os picos endotérmicos: a 127 °C referente a perda de água adsorvida, a 565 °C referente a desidroxilação da portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), a 578 °C indicando a transformação de quartzo α em β e a 871 °C referente a decomposição da calcita (CaCO_3); e a 917 °C apresenta um discreto pico exotérmico indicando a nucleação da mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). A amostra Mistura apresenta os picos endotérmicos: a 117 °C referente a perda de água adsorvida e a 579 °C, indicando a transformação de quartzo α em β ; e a 908 °C apresenta uma pequena banda exotérmica característico da nucleação de mulita. A amostra Pozolana apresenta os picos endotérmicos: a 112 °C característico a perda de água adsorvida, a 570 °C, indicando a transformação de quartzo α em β , e a 579 °C característico da perda de hidroxilas da camada octaédrica; e a 984 °C apresenta um grande pico exotérmico característico da nucleação de mulita. A amostra de cal Carbomil apresenta os picos endotérmicos: a 117 °C característico da perda de água adsorvida, a 393 °C referente a desidroxilação da brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), a 570 °C característico da desidroxilação da portlandita, e a 871 °C referente a decomposição da calcita. A cal Megaó apresenta os picos endotérmicos: a 117 °C característico da perda de água adsorvida, a 414 °C referente a desidroxilação da brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), a 565 °C característico da desidroxilação da portlandita, e a 915 °C referente a decomposição da calcita.

Difração de Raios-X

Através dos difratogramas, as amostras de materiais pozolânicos e cais, apresentam as seguintes composições mineralógicas. A amostra Entulho 1 é composta por quartzo (4,21Å, 3,34Å e 1,81Å) e carbonato de cálcio (CaCO_3) (3,03Å, 1,90Å e 1,87Å). A amostra Entulho 2 é composta por quartzo (4,20Å, 3,34Å e 1,81Å), CaCO_3 (3,03Å, 1,91Å e 1,87Å) e mulita (3,46Å, 2,23Å e 1,53Å). A amostra Mistura é composta por quartzo (4,24Å, 3,34Å e 1,81Å), hematita (Fe_2O_3) (2,69Å, 2,51Å e 1,69Å) e mulita (3,46Å, 2,20Å e 1,53Å), enquanto na amostra Pozolana são observados a presença de caulinita (7,15Å, 3,52Å e 2,36Å), em pequena quantidade, quartzo (4,25Å, 3,34Å e 1,81Å) e uma discreta banda de amorfização ($18^\circ < 2\theta < 30^\circ$) característica da metacaulinita. A cal Carbomil é composta por CaCO_3 (3,03Å, 1,92Å e 1,87Å), MgCO_3 (2,74Å, 2,10Å e 1,68Å) e MgO (2,10Å, 1,48Å e 1,20Å) e a cal Megaó, por $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (4,77Å, 2,37Å, e 1,18Å) e MgO (2,10Å, 1,49Å e 1,20Å).

Área Específica

Na Figura 1, estão apresentados os valores das áreas específicas, determinadas pelo método do Permeômetro de Blaine, das amostras de materiais pozolânicos, Entulho 1, Entulho 2 e Mistura, correspondentes aos tempos de moagem de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85 e 90 min, em moinho de bolas. As amostras Entulho

1, Entulho 2 e Mistura apresentaram uma variação na área específica, com o tempo de moagem, de 0,116 m^2/g a 0,219 m^2/g , de 0,125 m^2/g a 0,249 m^2/g , e de 0,222 m^2/g a 0,346 m^2/g , respectivamente. Mediante uma análise dos resultados, observa-se que, com o aumento gradativo do tempo de moagem, tem-se um aumento nos valores de área específica, apresentando um máximo aos 90 min de moagem. Este resultado era esperado, pois, através da moagem, tem-se uma redução no tamanho das partículas dos sólidos, e, com o aumento do tempo de moagem esta redução torna-se cada vez maior, pois o maior tempo de contato do material com as bolas do moinho, confere às partículas uma subdivisão cada vez maior de suas dimensões.

Após uma análise dos resultados acima citados, foram escolhidas quatro áreas específicas, correspondentes a quatro tempos de moagem, para cada amostra. O critério para esta escolha, foi baseado na obtenção de áreas específicas com variação significativa em seus valores, para que, desta forma, possa ser verificada a influência da área específica na reatividade do sistema pozolana-cal. Com isto, as amostras foram moídas durante os tempos escolhidos (10, 30, 60 e 90 min) e submetidas à ensaios de área específica, para confirmar os valores obtidos nesta segunda moagem fossem os mesmos obtidos anteriormente. Estes resultados estão contidos na Tabela 4.

Na Tabela 5, são apresentados os valores das áreas específicas, determinadas pelo método do Permeômetro de Blaine, da amostra de Pozolana, moída em moinho de discos. A amostra Pozolana apresentou uma variação no valor da área específica, com as diferentes aberturas entre os discos do moinho de discos, de 0,147 m^2/g a 0,638 m^2/g .

Os resultados obtidos para as áreas específicas, citados acima, comprovam que a área específica é uma propriedade física que pode ser influenciada através de processos de desagregação, o que possibilita a obtenção de maiores superfícies de contato. No caso dos materiais pozolânicos, aqui estudados, esta variação na superfície de contato, provavelmente, permitirá um aumento na sua atividade pozolânica.

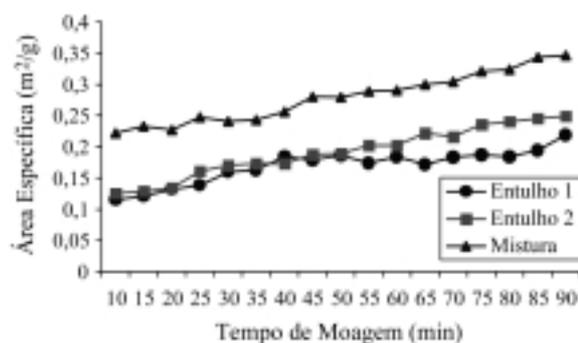


Figura 1. Área Específica em função do tempo de moagem, das amostras de materiais pozolânicos.

Tabela 4. Áreas específicas das amostras de materiais pozolânicos, pelo método do permeâmetro de Blaine, para os tempos de moagem de 10, 30, 60 e 90 min.

Tempo de Moagem (min)	Área Específica (m ² /g)		
	Entulho 1	Entulho 2	Mistura
10	0,117	0,127	0,227
30	0,153	0,171	0,265
60	0,185	0,206	0,311
90	0,220	0,239	0,340

Tabela 5. Áreas específicas da amostra Pozolana, pelo método do permeâmetro de Blaine.

Moinho de discos	Área Específica (m ² /g)
Aberturas entre os discos	Pozolana
AB0	0,147
AB1	0,254
AB2	0,476
PM	0,638

AB0: Abertura de 0,3 mm entre os discos.

AB1: Abertura de 0,2 mm entre os discos.

AB2: Material moído na abertura AB1 passado em peneira ABNT N° 200.

PM: Abertura de 0,1 mm entre os discos.

Na Tabela 6, são apresentados os valores das áreas específicas, determinadas pelo método do Permeâmetro de Blaine, das amostras de cais. A cal Carbomil apresentou área específica de 1,222 m²/g. A cal Megaó apresentou uma maior área específica, comparada com a anterior, de 1,738 m²/g, e em virtude de sua maior superfície de contato, é provavelmente a mais reativa. Contudo, embora a área específica de uma cal seja um dos fatores mais importantes entre suas propriedades físicas, como material de construção, não pode ser tomada como critério único de seleção e qualidade, como foi visto no item Análise Química.

Consumo de Cal

Na Tabela 7, são apresentados os resultados obtidos para os ensaios de consumo de cal, das amostras de materiais pozolânicos, nas diferentes áreas específicas. Para as amostras Entulho 1 e Mistura, observa-se um aumento do grau de pozolanicidade com o aumento de suas áreas específicas. Para a amostra Entulho 2, os resultados obtidos não apresentam o mesmo comportamento e, para a amostra Pozolana tem-se, na área específica de 0,476 m²/g, o maior consumo de cal, mesmo não sendo esta a maior área específica estudada. Neste caso, o elevado índice de atividade pozolânica pode ser explicado pela homogeneidade na forma e tamanho das partículas da amostra, uma vez que esta foi passada em peneira ABNT N° 200. Uma análise conjunta dos resultados, mostra que com o aumento da área específica das amostras de materiais pozolânicos, obtêm-se

Tabela 6. Áreas específicas das amostras de cais, pelo método do permeâmetro de Blaine.

Amostra	Área Específica (m ² /g)
Carbomil	1,222
Megaó	1,738

Tabela 7. Consumo de cal das amostras de materiais pozolânicos nas diferentes áreas específicas.

Amostra	Área Específica (m ² /g)	Consumo de Cal (mgCaO/g)
Entulho 1	0,117	92,2
	0,153	90,7
	0,185	120,2
	0,220	124,7
Entulho 2	0,127	92,1
	0,171	87,9
	0,206	85,8
	0,239	95,6
Mistura	0,227	115,6
	0,265	151,8
	0,311	157,4
	0,340	171,3
Pozolana	0,147	143,9
	0,254	169,0
	0,476	301,9
	0,638	267,9

maiores valores representativos do grau de pozolanicidade, bem como que o beneficiamento do material em peneiras, de forma a se obter uma maior quantidade de fração argila e homogeneidade das partículas, garante ao mesmo maior atividade pozolânica.

Ensaio Mecânicos

Consistência Normal

Nas Tabelas 8 a 11, são apresentados os resultados obtidos para os ensaios de consistência normal das argamassas, compostas pelas amostras Entulho 1, Entulho 2, Mistura e Pozolana, respectivamente. Uma análise conjunta dos resultados, mostra que, à medida que a área específica das amostras Entulho 1, Entulho 2, Mistura e Pozolana aumenta, o fa/a diminui, o que significa dizer que a quantidade de água requerida para que a argamassa atinja uma consistência normal, diminui. Analisando cada área específica separadamente, atento às composições estudadas (30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana), observa-se que com o acréscimo na quantidade de cal, e, conseqüente diminuição da pozolana, a quantidade de água diminui ou permanece constante. Estes resultados não seguem dados

Tabela 8. Índice de consistência e fator água/aglomerante (fa/a) para as argamassas com Entulho 1, nas composições de 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana.

Área Específica (m ² /g)	Composição da Cal Pozolânica (%)	Índice de Consistência (mm)	fa/a
0,117	30-70	211	0,77
	40-60	213	0,77
	50-50	205	0,75
0,153	30-70	208	0,76
	40-60	212	0,75
	50-50	208	0,72
0,185	30-70	208	0,72
	40-60	205	0,70
	50-50	212	0,75
0,220	30-70	212	0,73
	40-60	212	0,72
	50-50	211	0,72

Tabela 9. Índice de consistência e fator água/aglomerante (fa/a) para as argamassas com Entulho 2, nas composições de 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana.

Área Específica (m ² /g)	Composição da Cal Pozolânica (%)	Índice de Consistência (mm)	fa/a
0,127	30-70	210	0,75
	40-60	207	0,72
	50-50	208	0,72
0,171	30-70	210	0,72
	40-60	211	0,72
	50-50	206	0,72
0,206	30-70	205	0,72
	40-60	209	0,71
	50-50	207	0,71
0,239	30-70	212	0,71
	40-60	210	0,71
	50-50	209	0,71

da literatura, os quais expressam que, quanto maior a área específica maior o teor de água²¹ e, ainda, que, quanto maior o teor de cal, maior deverá ser o fa/a, para que a argamassa passe de uma consistência mais seca a uma mais fluida²².

Resistência à Compressão Simples (RCS)

Nas Figuras 2, 3 e 4, são apresentados os resultados de RCS, das argamassas com Entulho 1. Nas Figuras 5, 6 e 7, das argamassas com Entulho 2, nas Figuras 8, 9 e 10, das argamassas com Mistura e nas Figuras 11, 12 e 13, das argamassas com Pozolana, nas composições de 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana, os períodos de 7, 28 e 60d de cura. Os resultados obtidos para a RCS, das

Tabela 10. Índice de consistência e fator água/aglomerante (fa/a) para as argamassas com Mistura, nas composições de 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana.

Área Específica (m ² /g)	Composição da Cal Pozolânica (%)	Índice de Consistência (mm)	fa/a
0,227	30-70	207	0,75
	40-60	209	0,75
	50-50	208	0,75
0,265	30-70	209	0,75
	40-60	205	0,73
	50-50	208	0,73
0,311	30-70	213	0,73
	40-60	212	0,73
	50-50	206	0,72
0,340	30-70	205	0,72
	40-60	211	0,72
	50-50	207	0,72

Tabela 11. Índice de consistência e fator água/aglomerante (fa/a) para as argamassas com Pozolana, nas composições de 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana.

Área Específica (m ² /g)	Composição da Cal Pozolânica (%)	Índice de Consistência (mm)	fa/a
0,147	30-70	208	0,77
	40-60	214	0,75
	50-50	212	0,77
0,254	30-70	210	0,75
	40-60	205	0,75
	50-50	210	0,72
0,476	30-70	208	0,80
	40-60	210	0,77
	50-50	206	0,77
0,638	30-70	205	0,69
	40-60	205	0,75
	50-50	211	0,75

argamassas com Entulho 1, nas composições 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana, nas diferentes áreas específicas e curadas por períodos de 7, 28 e 60d, variam de 0,43 MPa a 2,75 MPa, de 0,57 MPa a 2,31 MPa e de 0,51 MPa a 2,11 MPa, respectivamente. Para as argamassas com Entulho 2, a variação foi de: 0,52 MPa a 2,50 MPa, de 0,45 MPa a 2,00 MPa e de 0,42 MPa a 1,76 MPa. Mediante uma análise dos resultados, observa-se que a medida que a área específica das amostras Entulho 1 e Entulho 2 aumenta, tem-se um acréscimo na RCS das argamassas, e que é evidente a evolução dos valores de resistência com a idade de cura. Para a amostra Entulho 1, na composição 30-70%

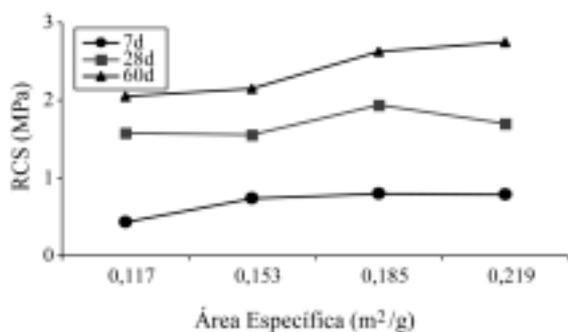


Figura 2. RCS em função da área específica, das argamassas com Entulho 1, na composição 30-70% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

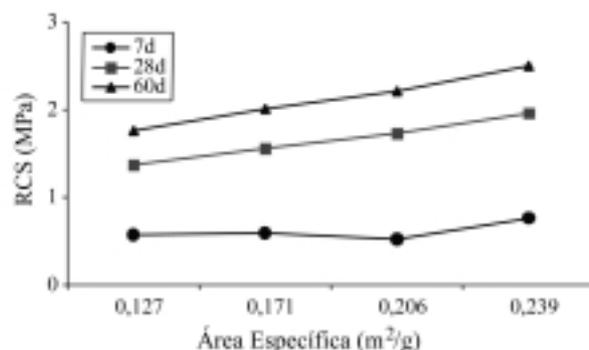


Figura 5. RCS em função da área específica, das argamassas com Entulho 2, na composição 30-70% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

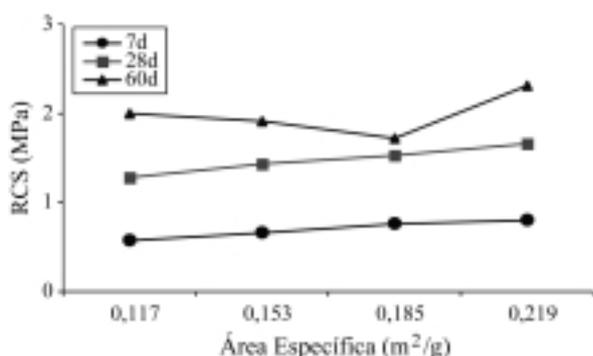


Figura 3. RCS em função da área específica, das argamassas com Entulho 1, na composição 40-60% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

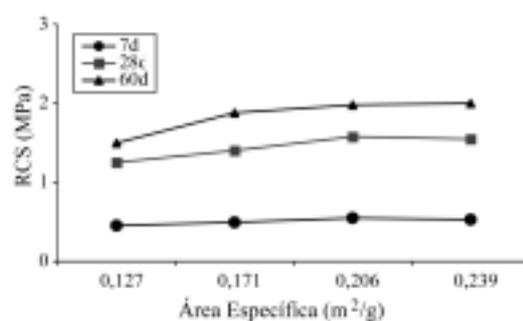


Figura 6. RCS em função da área específica, das argamassas com Entulho 2, na composição 40-60% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

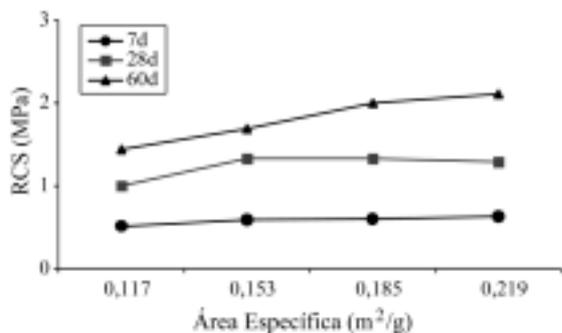


Figura 4. RCS em função da área específica, das argamassas com Entulho 1, na composição 50-50% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

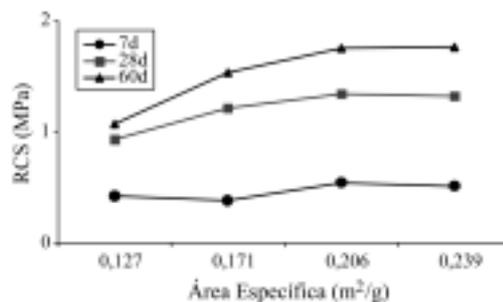


Figura 7. RCS em função da área específica, das argamassas com Entulho 2, na composição 50-50% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

de cal e pozolana, as argamassas apresentaram acréscimos de RCS equivalentes a 4,9%, 28,3% e 34,2%, com o aumento da área específica, aos 60d de cura. Na composição 40-60% de cal e pozolana, foi observado um acréscimo de 15,5%, referente ao aumento do valor da área específica de 0,117 m²/g a 0,220 m²/g, aos 60d de cura. Para a composição 50-50% de cal e pozolana, os acréscimos foram de 17,4%, 38,9% e 46,5%, com o aumento da área específica, aos 60d de cura. Para a amostra Entulho 2, na

composição 30-70% de cal e pozolana, as argamassas apresentaram acréscimos de RCS equivalentes a 14,2%, 25,6% e 42,0%, na composição 40-60% de cal e pozolana, os acréscimos foram de 25,3%, 32,0% e 33,3%, e para a composição 50-50% de cal e pozolana os acréscimos foram de 43,0%, 63,6% e 64,5%. Estes acréscimos ocorreram com o aumento da área específica, aos 60d de cura. Os valores máximos obtidos para as argamassas com Entulho 1 e com Entulho 2 foram de 2,75 MPa e 2,50 MPa, com áreas específicas de 0,220 m²/g e 0,239 m²/g, respectivamente,

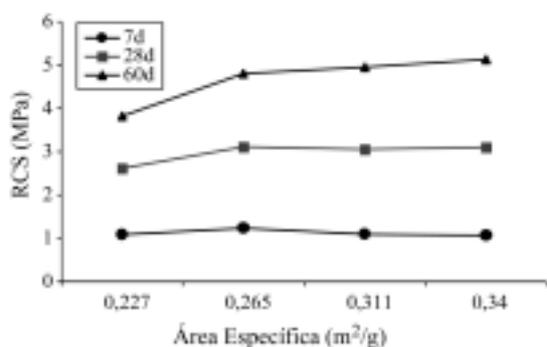


Figura 8. RCS em função da área específica das argamassas com Mistura, na composição 30-70% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

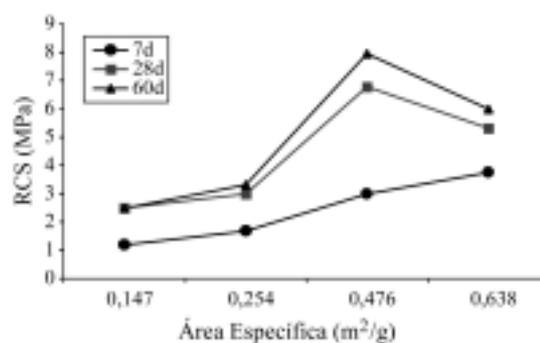


Figura 11. RCS em função da área específica das argamassas com Pozolana, na composição 30-70% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

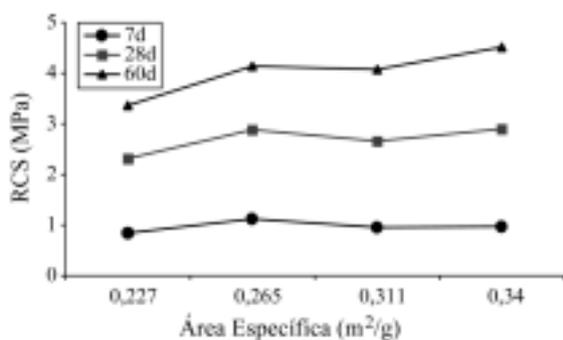


Figura 9. RCS em função da área específica das argamassas com Mistura, na composição 40-60% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

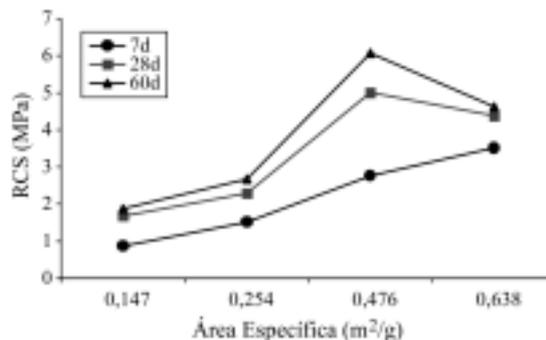


Figura 12. RCS em função da área específica das argamassas com Pozolana, na composição 40-60% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

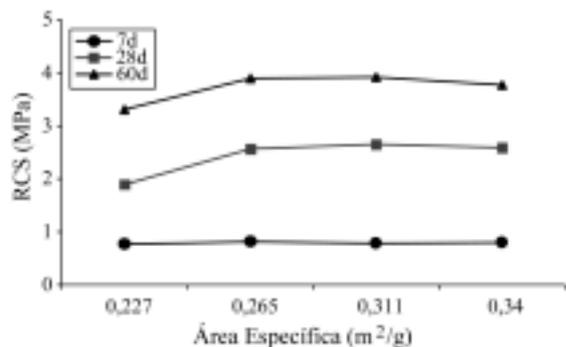


Figura 10. RCS em função da área específica das argamassas com Mistura, na composição 50-50% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

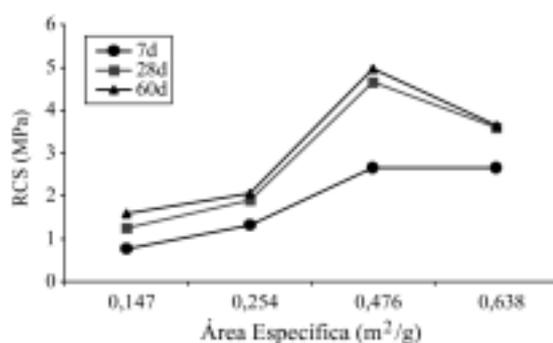


Figura 13. RCS em função da área específica das argamassas com Pozolana, na composição 50-50% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

atingidos aos 60d de cura, na composição 30-70% de cal e pozolana.

Os resultados obtidos para a RCS das argamassas com Mistura, nas composições 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana, nas diferentes áreas específicas e curadas por períodos de 7, 28 e 60d, variam de 1,07 MPa a 5,13 MPa, de 0,84 MPa a 4,51 MPa e de 0,77 MPa a 3,92 MPa, respectivamente. Mediante uma análise dos resultados, observa-se um aumento na RCS das argamassas a medida que

a área específica da Mistura aumenta, sendo este fato mais evidenciado na composição 30-70% de cal e pozolana. Nesta mesma composição, as argamassas apresentaram acréscimos de RCS equivalentes a 25,7%, 29,6% e 34,3%, na composição 40-60% de cal e pozolana, os acréscimos foram de 23,2%, 21,1% e 34,2%, e para a composição 50-50% de cal e pozolana, os acréscimos foram de 17,8%, 18,4% e 13,9%. Estes acréscimos ocorreram com o aumento da área específica, aos 60d de cura. O valor

máximo de RCS obtido para as argamassas com Mistura foi de 5,13 MPa, atingido aos 60d de cura, na composição 30-70% de cal e pozolana, com área específica de 0,340 m²/g. Na composição 40-60% de cal e pozolana, o valor máximo foi de 4,51 MPa, atingido aos 60d de cura, com área específica de 0,340 m²/g. Na composição 50-50% de cal e pozolana este valor foi de 3,92 MPa, atingido aos 60d de cura, com área específica de 0,311 m²/g. Embora este valor de área específica não seja o maior valor estudado, os demais valores de RCS, obtidos com as outras áreas específicas, apresentam-se praticamente estacionários, não apresentando nesta composição, uma variação significativa com a área específica. Analisando cada área específica separadamente, observa-se uma evolução dos valores da resistência das argamassas com a idade de cura, nas três composições estudadas.

Comparando os resultados de RCS, obtidos para as amostras Entulho 1, Entulho 2 e Mistura, com áreas específicas de 0,220 m²/g, 0,239 m²/g e 0,227 m²/g respectivamente, observa-se que as argamassas com Mistura apresentaram resistências superiores àquelas oferecidas pelas argamassas com Entulho 1 e Entulho 2. Este fato deve-se à geração da pozolana, oriunda da moagem dos tijolos e telhas, que compõem a amostra Mistura. Embora nas amostras de entulhos, Entulho 1 e Entulho 2, também estejam presentes materiais reativos frente à cal, cimento e cal na forma pulverulenta, que ainda preservam parte de suas propriedades aglomerantes, estas apresentam também, em suas composições, materiais inertes, que não participam das reações originárias dos compostos com poder aglomerante.

Os resultados obtidos para a RCS das argamassas com Pozolana, nas composições 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana, nas diferentes áreas específicas e curadas por períodos de 7, 28 e 60d, variam de 1,18 MPa a 7,95 MPa, de 0,86 MPa a 6,07 MPa e de 0,76 MPa a 4,97 MPa, respectivamente. Mediante análise dos resultados, observa-se um aumento na RCS das argamassas a medida que a área específica da amostra Pozolana aumenta, apresentando um máximo de 7,95 MPa, no valor da área específica de 0,476 m²/g. Isto deve-se, provavelmente, ao fato desta amostra, mesmo não apresentando o maior valor de área específica estudado, ter sido beneficiada em peneira ABNT N° 200 (0,074 mm), o que lhe confere uma homogeneidade nos tamanhos e formas das partículas. Na composição 30-70% de cal e pozolana, as argamassas apresentaram acréscimos de RCS equivalentes a 33,5%, 220,6% e 141,5%, na composição 40-60% de cal e pozolana, os acréscimos foram de 42,8%, 224,6% e 147,0%, e para a composição 50-50% de cal e pozolana, os acréscimos foram de 29,6%, 212,6% e 128,9%. Estes acréscimos ocorreram com o aumento da área específica, aos 60d de cura.

Comparando o desempenho das argamassas com Pozolana, com o das argamassas com Entulho 1, Entulho 2 e

Mistura, constata-se valores de RCS bastante superiores. Este comportamento ocorre, pois, a Pozolana é uma amostra típica de pozolana, material que tem a propriedade de reagir com cal, na presença de umidade, formando compostos com propriedades cimentícias.

As amostras de materiais pozolânicos, Entulho 1, Entulho 2, Mistura e Pozolana, quando na presença de cal, formando o aglomerante cal pozolânica, e utilizados para obtenção de argamassas alternativas, apresentaram valores de RCS superiores aos valores de referência aceitáveis; 1 MPa, para argamassas de assentamento de tijolos, e 2 MPa, para argamassas de revestimento de paredes e tetos.

Os resultados, acima apresentados, mostram a importância da área específica dos aglomerantes nas propriedades mecânicas das argamassas alternativas, comprovando que quanto maior a área específica, maior a superfície disponível para as reações, e conseqüente aumento na resistência à compressão simples. Outro fato de importante observação é a idade de cura, que através dos valores obtidos de RCS, podemos afirmar que as reações entre a cal e a pozolana necessitam de períodos de cura mais prolongados (60d), uma vez que estas reações, geradoras de compostos com propriedades cimentantes, são lentas. Por fim, podemos concluir que os ensaios mecânicos constituem em uma forma de avaliação bastante satisfatória da reatividade de materiais pozolânicos, pois a manifestação da resistência mecânica, exige a formação dos compostos de poder aglomerante.

Análise Estatística

Nas Tabelas 12 a 15 estão contidos os melhores resultados ($R > 0,7$), obtidos pelas análises estatísticas, através de correlações lineares simples, entre a resistência à compressão simples e as áreas específicas, determinadas pelo método de Blaine, das amostras Entulho 1, Entulho 2, Mistura e Pozolana. Uma análise conjunta dos resultados, mostra que as correlações efetuadas apresentaram resultados bastante satisfatórios, com valores de R próximos da unidade, sendo os melhores aqueles obtidos para as idades de cura mais avançadas (28d e 60d), comprovando a necessidade de períodos de cura mais prolongados. Estes resultados mostram, ainda, que a área específica tem papel importante na reatividade dos materiais, pois com o aumento da área específica tem-se evidente melhoria das propriedades mecânicas das argamassas conferidas pelos aglomerantes.

Conclusões

Dos resultados obtidos ao estudar o aproveitamento de rejeitos de cerâmica vermelha e da construção civil, visando a obtenção de agentes pozolânicos, para uso em argamassas alternativas com cais pozolânicos, e em particular, verificar a influência da área específica, destes resíduos sólidos, nas

Tabela 12. Correlações estatísticas entre resistência à compressão simples e área específica das argamassas com Entulho 1 nas composições 30-70%, 40-60%, 50-50% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

Composição (%)	Variáveis (X,Y)	R	α	Equação $Y = A + BX$
30-70	RCS ₆₀ X A.E.	0,96	0,04	$Y = 1,13 + 7,52X$
	RCS ₇ X A.E.	0,98	0,01	$Y = 0,31 + 2,31X$
40-60	RCS ₂₈ X A.E.	0,99	0,001	$Y = 0,86 + 3,64X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,39	0,61	$Y = 1,61 + 2,19X$
	RCS ₇ X A.E.	0,94	0,06	$Y = 0,39 + 4,72X$
50-50	RCS ₂₈ X A.E.	0,73	0,27	$Y = 0,79 + 2,61X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,98	0,01	$Y = 0,66 + 6,79X$

RCS₇ – Resistência à compressão simples aos 7d de cura.

RCS₂₈ – Resistência à compressão simples aos 28d de cura.

RCS₆₀ – Resistência à compressão simples aos 60d de cura.

Tabela 13. Correlações estatísticas entre resistência à compressão simples e área específica das argamassas com Entulho 2 nas composições 30-70%, 40-60%, 50-50% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

Composição (%)	Variáveis (X,Y)	R	α	Equação $Y = A + BX$
30-70	RCS ₂₈ X A.E.	0,99	0,006	$Y = -1294 + 1905X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,99	0,006	$Y = -1379 + 1527X$
	RCS ₇ X A.E.	0,89	0,10	$Y = -3019 + 9657X$
40-60	RCS ₂₈ X A.E.	0,93	0,06	$Y = -2407 + 2951X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,91	0,08	$Y = -1617 + 1889X$
	RCS ₇ X A.E.	0,73	0,28	$Y = -298 + 4662X$
50-50	RCS ₂₈ X A.E.	0,91	0,08	$Y = -934 + 2327X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,94	0,06	$Y = -274 + 1396X$

Tabela 14. Correlações estatísticas entre resistência à compressão simples e área específica das argamassas com Mistura nas composições 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

Composição (%)	Variáveis (X,Y)	R	α	Equação $Y = A + BX$
30-70	RCS ₂₈ X A.E.	0,77	0,23	$Y = -1979 + 1,628X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,91	0,09	$Y = -763,5 + 774,9X$
40-60	RCS ₂₈ X A.E.	0,71	0,29	$Y = -629 + 1298X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,89	0,11	$Y = -887 + 932X$
50-50	RCS ₂₈ X A.E.	0,81	0,19	$Y = 129 + 1126X$

propriedades mecânicas das argamassas, chegou-se as seguintes conclusões:

- dos ensaios de caracterização, as amostras Entulho 1, Entulho 2 e Mistura podem ser classificadas como materiais sílico-aluminosos, e a amostra Pozolana

Tabela 15. Correlações estatísticas entre resistência à compressão simples e área específica das argamassas com Pozolana nas composições 30-70%, 40-60% e 50-50% de cal e pozolana, curadas por períodos de 7, 28 e 60d.

Composição (%)	Variáveis (X,Y)	R	α	Equação $Y = A + BX$
30-70	RCS ₇ X A.E.	0,99	0,008	$Y = 0,54 + 4,72X$
	RCS ₇ X A.E.	0,99	0,007	$Y = 0,24 + 4,96X$
40-60	RCS ₂₈ X A.E.	0,85	0,14	$Y = 0,98 + 6,01X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,86	0,13	$Y = 1,03 + 7,65X$
	RCS ₇ X A.E.	0,95	0,04	$Y = 0,29 + 4,13X$
50-50	RCS ₂₈ X A.E.	0,83	0,16	$Y = 0,65 + 5,85X$
	RCS ₆₀ X A.E.	0,79	0,21	$Y = 1,01 + 5,85X$

como um pozolana típica, oriunda de uma argila caulínica, com impurezas de sílica na forma de quartzo. A Carbomil trata-se de uma cal cálcica, e a Megaó, de uma cal dolomítica;

- a moagem confere às amostras de materiais pozolânicos, um aumento de área específica, sendo este aumento mais acentuado quando se tem tempos de moagem mais longos, quando da moagem em moinho de bolas, e uma maior aproximação dos discos, quando em moinho de discos;
- com o aumento no valor da área específica, obtém-se um aumento no grau de pozolanicidade das amostras de materiais pozolânicos;
- as argamassas alternativas com cais pozolânicas, compostas por pozolanas, rejeitos de cerâmica vermelha e da construção civil como agente pozolânico, apresentam resultados de RCS bastante satisfatórios, e com o aumento do valor da área específica das amostras de materiais pozolânicos, obteve-se maiores resultados nos parâmetros representativos das propriedades mecânicas das argamassas, sendo 30-70% de cal e pozolana a composição que confere melhores resultados;
- as correlações lineares simples evidenciaram uma interrelação entre a RCS, das argamassas com cais pozolânicas, com as áreas específicas dos materiais pozolânicos.

Em resumo, podemos concluir que é viável o aproveitamento dos entulhos de construção civil, como agentes pozolânicos em argamassas alternativas com cais pozolânicos, bem como, que o aumento da área específica desses materiais, confere às argamassas um aumento das suas propriedades mecânicas, assumindo, portanto, papel importante na reatividade dos materiais com poder aglomerante.

Referências Bibliográficas

1. Silva, C.R., “Cais Aditivadas com Pozolana e Cimento Portland”, Dissertação de Mestrado, CCT/DEQ/UFPB, Campina Grande-PB, 1992.
2. Lima, J.B.M., “Cais Pozolânicas, Caracterização e Desempenho Mecânico”, Dissertação de Mestrado, CCT/DEC/UFPB, 1993.
3. Mota, N.M.B., “Cais Pozolânicas para Uso em Argamassas de Revestimentos e Alvenarias”, Dissertação de Mestrado, CCT/DEC/UFPB, 1994.
4. Patrício, S.M.R., Morais, C.R.S., Neves, G.A., Brasileiro, F.E. e Pereira, E.C., “Aproveitamento dos Resíduos na Construção Civil para Uso como Agregados em Argamassas”, Projeto PATME – SEBRAE – UFPB, 1997.
5. Araújo, E.A., Neves, G.A. e Ferreira, H.C., “Aproveitamento dos Resíduos da Construção Civil para Uso como Aglomerantes Pozolânicos em Argamassas”, Anais do 42º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Poços de Caldas, MG, 1998. No Prelo.
6. Shima, H., Nakatsuji, T., Ishii, M. e Kohno, K., “Strength Development of Lime and Cement Mortar Including Pozzolana with Different Fineness”, JCA Proceedings of Cement & Concrete, N°46, pg. 250 – 255, 1992.
7. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Cimento Portland Composto – Especificação”, EB – 2138, 1991.
8. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Areia Normal para Ensaio de Cimento”, NBR – 7214, 1982.
9. Singer, F. e Singer, S., “Industrial Ceramics”, Ed. Chapman e Hall Ltda., 1971.
10. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Determinação de Massa Específica Real”, NBR – 6474, 1984.
11. Anônimo, “Métodos de Análise Química de Argilas e Pozolanas”, LAM/DMG/CCT/UFPB, 1994.
12. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Cimento Portland e Outros Materiais em Pó – Determinação da Área Específica”, NBR – 7224, 1994.
13. Raverdy, M., Brivot, F., Paillère, A.M. e Dron, R., “Appréciation de L’activité Pouzzolanique des Constituants Secondaires” – 7e. Congrès International de La Chimie des Ciments 4e. Volume III, 36, Paris, 1980.
14. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Cal Hidratada para Argamassas - Determinação da Retenção de Água”, NBR – 9290, 1986.
15. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Determinação da Resistência à Compressão”, NBR – 7215, 1991.
16. Vorobyev, V.A., “Building Materials”, Higher School Publis, House, Moscow, 1965.
17. ASTM, American Society for Testing and Materials, “Raw of Calcined Natural Pozzolans for Use as Admixtures in Portland Cement Concrete”, C-402, 1963.
18. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Cal Hidratada para Argamassas”, NBR – 7175, 1992.
19. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Cal Virgem para Construção”, NBR – 6453, 1988.
20. Guimarães, J.E.P. e Cincotto, M.A., “A Cal nas Construções Civas – Na Patologia das Argamassas”, Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 1985.
21. Cincotto, M.A., “Utilização de Suprodutos na Indústria da Construção Civil”, Anais do II Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil – UFSC, Florianópolis, p.171-181, setembro/1988.
22. Cincotto, M.A., Silva, M.A.C. e Cascudo, H.C., “Argamassas de Revestimento: Características, Propriedades e Métodos de Ensaio”, IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. Boletim 68, São Paulo, 1995.