

Produção de Tijolos Maciços e Placas Cerâmicas de Revestimento com Adição de Óleo Lubrificante Usado

Fabiana Kelly de Medeiros^a, Robson Cesar Alves de Aquino^a,

Ayane Maria Teixeira Rodrigues^b, Hevair Castro Silva^b,

Iago Bruno Campos Dias^c, Heber Sivini Ferreira^{d*}

^aPrograma de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPCEM, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, PB, Brasil

^bDepartamento de Engenharia Química – DEQ, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, PB, Brasil

^cDepartamento de Engenharia Mecânica – DEM, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, PB, Brasil

^dDepartamento de Engenharia de Materiais – DEMat, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Cidade Universitária, CEP 58051-900, João Pessoa, PB, Brasil

*e-mail: hebersivini@ig.com.br

Resumo: A indústria de cerâmica vermelha caracteriza-se por produzir materiais bastante requeridos para aplicações na área de construção civil. Este tipo de indústria contribui também para a redução dos impactos ambientais por atuar como receptor de resíduos oriundos de outras áreas para inserção em seu processo de fabricação. O presente trabalho tem como objetivo a produção de tijolos maciços de cerâmica vermelha e placas cerâmicas de revestimento com adição de óleo lubrificante usado. A partir da adição de diferentes teores de óleos lubrificantes usados foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas das cerâmicas. As propriedades foram determinadas para amostras sem adição de óleo e com adição de 2%, 4% e 6% de óleo. As amostras foram produzidas por extrusão e prensagem. A caracterização da argila foi realizada através das técnicas de granulometria, difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), análise térmica diferencial (DTA) e termogravimetria (TGA). Para análise das propriedades dos tijolos maciços e placas de revestimentos cerâmicos foram realizados ensaios para obtenção do teor de umidade, retração linear, perda ao fogo, porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente, resistência à compressão e resistência à flexão. Como resultados tem-se que o óleo adicionado à massa argilosa influencia significativamente nas propriedades físico-mecânicas dos tijolos maciços e placas cerâmicas de revestimento proporcionando elevação da absorção de água, porosidade aparente e redução da massa específica aparente, e estas apresentaram influência na resistência à compressão e flexão dos blocos e placas, respectivamente.

Palavras-chave: *cerâmicas vermelhas, óleo usado, reciclagem, propriedades físico-mecânicas.*

1. Introdução

As cerâmicas vermelhas também denominadas de cerâmicas estruturais são aplicadas em diversas áreas, sendo mais comumente requeridas para a área de construção civil.

Possuem como principal matéria-prima a argila com presença de ferro, titânio e outros elementos metálicos em sua composição que proporcionam a esse material a coloração avermelhada.

A preferência para utilização das argilas é devido à argila apresentar boa plasticidade, elevada resistência mecânica após queima adequada para uma série de aplicações, técnicas de processamento simples e disponibilidade em grandes quantidades¹.

O processo de produção pelo qual passa a cerâmica vermelha até que se obtenha o produto em sua forma final é composto pelas seguintes etapas, extração da argila nas jazidas, preparação da massa, conformação das peças, secagem e queima para que, posteriormente, ocorra a estocagem e/ou transporte para o consumidor.

A indústria oleira no Brasil usa processos simples de moldagem, tais como extrusão e prensagem. Conforme a natureza da argila, do

produto cerâmico e do forno utilizado, e as condições econômicas locais, as temperaturas de queima oscilam².

O mercado consumidor mais significativo encontra-se no âmbito nacional, devido à dificuldade de transporte, o qual inviabiliza a comercialização para localizações muito distantes dos pólos industriais, pois elevaria bastante os custos operacionais.

Em termos de número de empresas existentes, destacam-se: São Paulo (25,23%), Minas Gerais (12,85%), Rio Grande do Sul (11,44%), Santa Catarina (9,52%), e Paraná (9,06%). Com relação ao Nordeste, a concentração da distribuição espacial está dada entre os Estados do Ceará, Bahia e Pernambuco, vindo em seguida os Estados do Rio Grande do Norte, Maranhão e Piauí³.

As empresas do setor cerâmico, em sua maioria, constituem uma cadeia de processo geradora de resíduos que são dispostos na natureza sob a forma de gás, líquido ou sólido, ocasionando impactos ambientais.

Em contrapartida, essas empresas podem contribuir para a redução desses impactos a partir da inserção de resíduos oriundos de

outras áreas na fabricação dos produtos cerâmicos, direcionando-os para uma correta disposição através da reciclagem.

Reciclagem é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os resíduos, e reutilizá-los em um novo ciclo de produção. Materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são separados, coletados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos. Reciclar é usar um material para fazer outro⁴.

No presente estudo foi utilizado óleo lubrificante usado em motores de automóveis para direcioná-los ao processo de fabricação de cerâmicas vermelhas, constituindo um processo de reciclagem.

Os óleos lubrificantes usados quando adicionados à composição da massa cerâmica podem substituir o óleo diesel, matéria-prima usada atualmente, na busca por uma adequada homogeneização e plasticidade da massa cerâmica, através da função lubrificante desse óleo, contribuindo assim, para facilitar o processo de conformação das peças e, conseqüentemente, beneficiar a uniformidade das propriedades físico-mecânicas dos materiais.

Os óleos lubrificantes estão entre os poucos derivados de petróleo que não são totalmente consumidos durante o seu uso. Os óleos usados de base mineral não são biodegradáveis e podem ocasionar sérios problemas ambientais quando não adequadamente dispostos. De todo o óleo utilizado no Brasil apenas 24% é reciclado⁵. Acontece que o óleo lubrificante usado ou contaminado contém em si cerca de 80% a 85% de óleo lubrificante básico⁶.

No que refere-se à teoria do desenvolvimento sustentável, buscase a redução dos impactos ambientais, através da reciclagem do óleo lubrificante usado que, quando em contato com a natureza, atua como

potencial poluente em rios, mares, solos, dentre outros recursos naturais os quais os seres humanos têm contato direto.

O desenvolvimento sustentável representa um modelo de desenvolvimento que atenda às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades⁷.

O objetivo geral do presente trabalho é a produção de tijolos maciços de cerâmica vermelha e placas cerâmicas de revestimento com adição de óleos lubrificantes usados.

Para atingir o objetivo geral delimitamos como objetivos específicos,

- Caracterizar a argila;
- Formular e processar massas cerâmicas com diferentes teores de óleo e por diferentes técnicas de processamento;
- Determinar propriedades físico-mecânicas;
- Classificar os produtos obtidos de acordo com a normatização existente.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

- Argila vermelha, cedida pela empresa Cerâmica Santa Clara, localizada na Avenida Chesf S/N Lote 1 Quadra L, Distrito Industrial, João Pessoa/Paraíba;
- Óleo lubrificante usado automotivo, coletado no posto de troca de óleo Auto Service Lubcenter, localizado na Rua Silvío Almeida, 437, Expedicionários, João Pessoa/Paraíba.

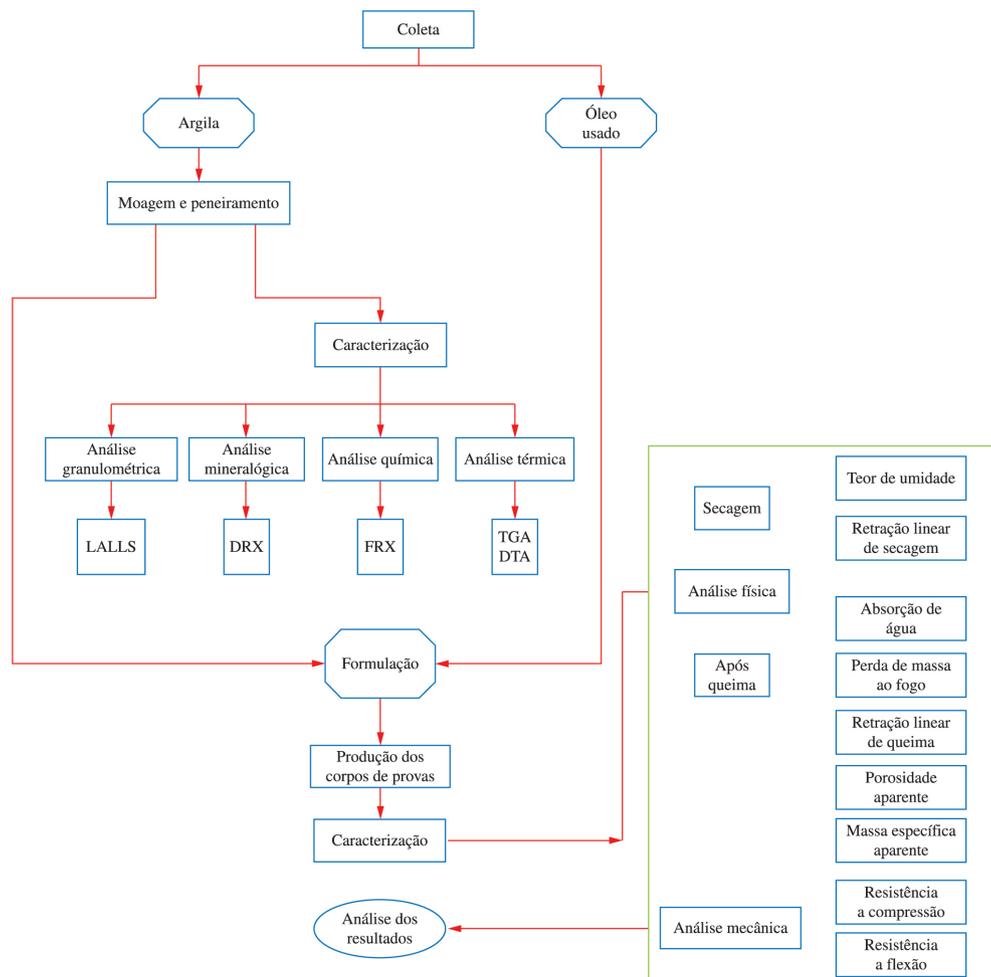


Figura 1. Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.

2.2. Métodos

A metodologia para o desenvolvimento do presente trabalho segue o fluxograma apresentado na Figura 1.

2.2.1. Preparação das amostras

As amostras foram produzidas por meio dos processos de extrusão e de prensagem uniaxial, conforme descrito a seguir.

2.2.1.1. Conformação por processo de extrusão

Para o processo de extrusão foram utilizadas quatro frações de 4 kg de argila peneirada em malha 50. Foi adicionado à argila o equivalente a 25% de água para homogeneização da massa argilosa.

Após o processo de homogeneização, uma das quatro frações supracitadas contendo apenas a argila e a água foi conservada sem adição de óleo (A0 – E) para servir como referência no presente estudo. As outras três frações (A2 – E, A4 – E, A6 – E) receberam a adição de óleo lubrificante usado, nas proporções de 2%, 4% e 6% de teor de óleo, respectivamente.

As massas cerâmicas permaneceram por 48 horas em um saco fechado para uniformização da umidade. Logo após o tempo de uniformização, as quatro frações de massas, com diferentes composições, foram direcionadas separadamente ao processo de laminação e, em seguida, o material foi direcionado ao processo de extrusão para obtenção das amostras.

Ao término da fabricação das amostras por extrusão foram obtidos 39 tijolos maciços para cada composição, sendo 13 para cada temperatura. Quando somadas as amostras das quatro composições em análise foram obtidos um total de 156 tijolos, posteriormente submetidas a tratamento térmico, secagem e queima com temperatura final de 800°C, 900°C e 1000°C, separadamente. As dimensões das amostras extrudadas foram de, em média, 4,5 cm x 1,8 cm x 0,9 cm.

2.2.1.2. Conformação por processo de prensagem uniaxial

Para o processo de prensagem foram utilizadas quatro frações de argila peneirada em malha 200 para confecção de amostras com 13 g cada amostra. Foi adicionado à argila o equivalente a 9% de água para homogeneização da massa argilosa.

Após o processo de homogeneização, uma das quatro frações supracitadas contendo apenas a argila e a água foi conservada sem adição de óleo (A0 – P). As outras três frações receberam a adição de óleo lubrificante usado (A2 – P, A4 – P, A6 – P), nas proporções de 2%, 4% e 6%, respectivamente.

As massas cerâmicas permaneceram por 48 horas em um recipiente fechado para uniformização da umidade. Logo após o

tempo de uniformização, as quatro frações de massas, com diferentes composições, foram direcionadas separadamente ao processo de prensagem em uma prensa hidráulica, com aplicação de carga de 2,4 toneladas por 30 segundos².

Ao término da fabricação das amostras por prensagem foram obtidas 21 placas para cada composição, sendo 7 para cada temperatura⁸. Quando somadas as amostras das quatro composições em análise foram obtidos um total de 84 placas, posteriormente submetidas a tratamento térmico com temperatura de queima de 800°C, 900°C e 1000°C. As dimensões das amostras prensadas foram de, em média, 6 cm x 2 cm x 0,5 cm.

2.2.2. Tratamento térmico

Os tijolos e as placas conformadas, respectivamente, por extrusão e prensagem uniaxial foram submetidos ao processo de secagem, natural por 48 horas e na estufa por 72 horas a, em média, 110°C.

Após secas, foram separadas amostras de cada composição (0%, 2%, 4% e 6% de óleo lubrificante usado) para serem submetidas à queima em forno do tipo mufla a temperaturas finais de 800°C, 900°C e 1000°C.

Inicialmente, o processo de queima ocorreu com taxa de aquecimento de 5°C/min e permanência de 2 horas na temperatura final. No entanto, as amostras das 4 composições (0%, 2%, 4% e 6% de óleo lubrificante usado) nestas condições de queima apresentaram coração negro (Figura 2). Tal defeito provoca inchamento das peças, deformações piropásticas e deterioração das características estéticas e das propriedades mecânicas, consequências danosas que justificam o esforço para evitá-lo⁹.

Para obtenção de peças isentas de coração negro foi preciso submetê-las a ciclos de queima mais lentos. As condições de queima adotadas foram taxa de aquecimento de 2°C/min, permanência em três patamares de temperaturas 280°C, 350°C e na temperatura final (TF = 800°C, 900° ou 1000°C). No caso das amostras com adição de óleo houve a necessidade de injeção de ar atmosférico durante o processo de queima para permitir a oxidação da matéria orgânica. A injeção foi feita através de uma bomba de ar JAD- S510 com pressão 0,01 MPa e vazão de 4 Litros/minuto.

2.2.3. Classificação das amostras

As amostras do presente trabalho foram classificadas conforme a normatização em vigor quanto à absorção de água e quanto à resistência mecânica. Os tijolos maciços foram ensaiados por compressão e as placas de revestimento foram ensaiadas por flexão.

Para os tijolos maciços o índice de absorção d'água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%^[10].



Figura 2. (a) Apresentação de coração negro nas amostras A0 – E, A2 – E, A4 –E e A6 – E, respectivamente (b) Imagem frontal da amostra A6 – E com inchamento. Fonte: Registrada pelo Autor.

A resistência à compressão dos tijolos maciços devem atender aos valores mínimos indicados na Tabela 1, em conformidade com a Norma ABNT NBR 7170¹¹.

As placas cerâmicas de revestimento foram classificadas quanto à absorção de água e Módulo de Resistência à Flexão, classificados por grupo, de acordo com a Norma ABNT NBR 13817 para placas com espessura menor que 7,5mm¹².

3. Resultados e Discussões

3.1. Caracterização da argila

3.1.1. Análise mineralógica por difração de raios-X (DRX)

A Figura 3 apresenta a composição mineralógica da argila por Difração de Raios-X.

É possível verificar a partir do DRX em análise a presença predominante de esmectita ((Mg, Ca)O.Al₂O₃.Si₅O₁₀.nH₂O) e em menor proporção tem-se também presença de caulinita (Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O) na composição da argila. O quartzo (SiO₂) assim como a mica (KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂), e o feldspato ((Na, K) Al Si₂O₃, CaAl₂ SiO₃, BaAlSi₂O₃) são impurezas da argila e são caracterizados por picos finos e intensos quando comparados aos dos demais elementos identificados na amostra.

A presença de esmectita na amostra é algo notável em uma massa industrial de cerâmica vermelha e naturalmente implicará em dificuldades de processamento o qual passa a justificar o baixo valor de PR visto na composição química. O percentual médio de perda ao rubro para uma argila esmectita é de 4,4%¹³, muito próximo com o valor encontrado na argila estudada.

3.1.2. Análise química por fluorescência de raios-X (FRX)

A Tabela 2 apresenta os resultados da composição química da argila obtidos por FRX.

É possível verificar a partir dos dados explicitados a presença majoritária de SiO₂ e Al₂O₃ (53,07% e 21,90%, respectivamente) na argila provenientes da presença de argilominerais, com um leve excesso de SiO₂. O SiO₂ e Al₂O₃ apresentados, aparecem na análise de DRX sob a forma dos aluminossilicatos como esmectita e caulinita, com predominância para a composição teórica da esmectita. Também observa-se a presença do SiO₂ sob sua forma livre, o quartzo, conforme identificado no DRX e evidenciada pelo leve excesso de SiO₂ da composição química.

O Fe₂O₃ apresenta-se em um percentual elevado, 9,42%, constituinte do argilomineral hematita e responsável pela coloração da argila.

Já o MgO, CaO, K₂O, Na₂O que atuam como fundentes e proporcionam a vitrificação do material cerâmico à temperaturas menos elevadas, estes estão presentes em teores relativamente baixos. O TiO₂ presente na argila em percentual de 1,02% está presente na composição como contaminante.

O percentual de perda ao rubro (PR) explicitado na FRX, 5%, evidencia uma pouca quantidade de matéria orgânica na argila, no entanto, mesmo diante da baixa quantidade de matéria orgânica a argila apresenta elevada plasticidade. O percentual médio de perda ao rubro para uma argila vermelha é de cerca de 14%¹², dessa forma fica evidente o baixo valor de PR da amostra estudada.

3.1.3. Análise termogravimétrica (TGA) e Análise térmica diferencial (DTA)

A Figura 4 apresenta a análise térmica da argila, através das técnicas de TGA e DTA.

A partir da análise da TGA foi possível verificar que a massa apresentou redução desde a temperatura inicial até, aproximadamente, 1000°C, temperatura final do ensaio. A argila apresentou ao término da análise térmica perda de massa equivalente a 8,5% da massa

Tabela 1. Resistência mínima à compressão em relação à categoria [11].

Categoria	Resistência à Compressão (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

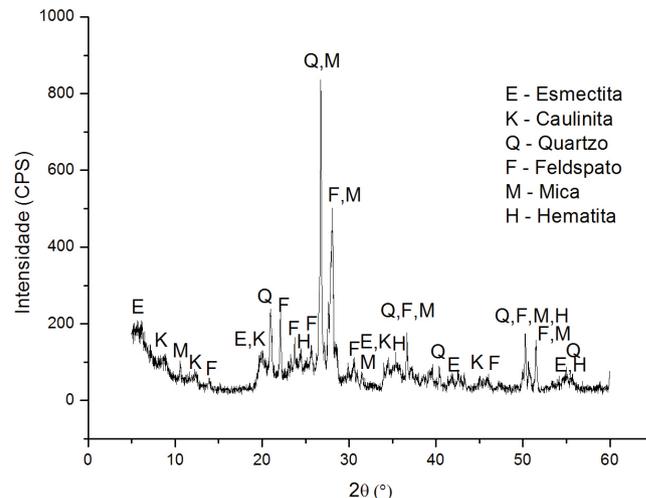


Figura 3. Análise mineralógica por DRX.

Tabela 2. Composição química da argila.

Óxidos	(%)
SiO ₂	53,07
Al ₂ O ₃	21,90
Fe ₂ O ₃	9,42
K ₂ O	2,90
MgO	2,59
CaO	2,14
TiO ₂	1,02
Na ₂ O	0,98
Outros óxidos	0,98
PR(%)*	5,00

*Amostra seca a 110°C.

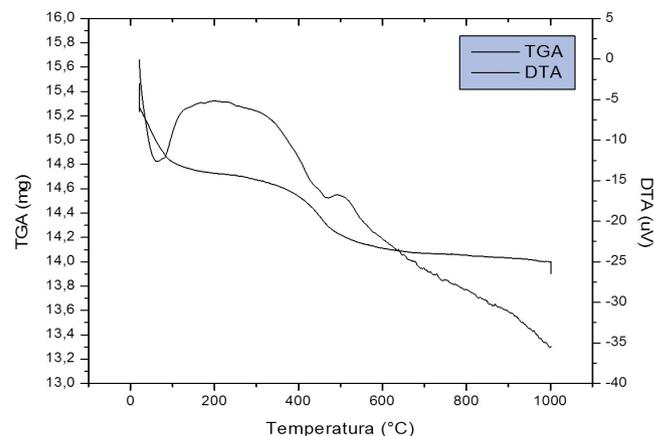


Figura 4. Análise térmica da argila.

inicial, sendo 3,5% até a temperatura de 180°C referente à perda de água superficial e 5% no intervalo entre 180°C e 1000°C relacionado à perda de hidroxilas.

A curva resultante do ensaio de DTA apresenta comportamento endotérmico em dois pontos específicos, a aproximadamente 70°C, atribuído à perda de água superficial e a 480°C, relacionado com parte da decomposição da matéria orgânica e perda de hidroxilas, sendo os dois picos associados à perda de massa na TGA¹⁴. As transformações térmicas da montmorilonita ocorrem entre 100°C e 250°C referente à perda de água adsorvida e, a cerca de 500°C ocorre a perda de hidroxilas estruturais, quando trata-se de montmorilonitas ricas em ferro².

3.1.4. Análise granulométrica

Na Figura 5 e na Tabela 3 estão apresentados os resultados de distribuição granulométrica da argila usada no presente trabalho.

Observa-se que a argila apresenta distribuição de partícula trimodal, com concentração de partículas em torno de 4-5µm, 10-20µm e de 30-40µm e tamanho médio de partículas de 10,90µm, apresentado na Tabela 3.

A fração volumétrica abaixo de 2µm da argila foi de, aproximadamente 22%, o que indica a presença provável de um elevado número de aglomerados e também provável presença de minerais contaminantes.

Podemos afirmar que a granulometria encontra-se similar a de outras argilas empregadas para cerâmica vermelha¹⁵.

3.2. Propriedades físico-mecânicas

3.2.1. Análise do teor de umidade

A Figura 6 apresenta o teor de umidade (%) das amostras de diferentes composições conformadas por extrusão e prensagem.

As curvas de análise do teor de umidade apresentam comportamentos similares, nas quais as amostras A0 – E e A0 – P apresentam maior teor de umidade quando comparadas às amostras A2 – E e A2 – P por possuírem apenas água adicionada à argila e quando submetidas ao processo de secagem à temperatura de 110°C as moléculas de água evaporam. Nas amostras A2 provavelmente ocorre a adsorção do óleo pela argila em substituição da água, reduzindo assim o teor de umidade.

Para as amostras A4 e A6 conformadas por extrusão e prensagem, o efeito da adição de óleo difere do da amostra A2 - E ocasionando o incremento do teor de umidade. Nestes casos ocorre a saturação da massa com os teores de óleo de 4% e 6%, mais intensamente neste último, e este começa a migrar para a superfície da argila formando uma película externa que retém a água no interior da massa e, com a elevação da temperatura a 110°C, ocorre a decomposição de componentes mais voláteis do óleo e evaporação da água, resultando no aumento do teor de umidade.

3.2.2. Análise da retração linear de secagem

A Figura 7 apresenta a retração linear de secagem das amostras conformadas por extrusão e prensagem.

A partir da Figura 7 foi verificado que as amostra A0 apresentam maior retração linear de secagem quando comparada às demais composições, pois quando submetida à temperatura de 110°C na estufa toda a água presente na amostra evapora e ocasiona a aproximação das partículas com ocorrência da retração da peça durante a secagem. As amostras A2 apresentam menor retração devido à adsorção do óleo pela argila em substituição à água, tornando-se mais difícil a decomposição deste no interior da massa quando comparado à água a 110°C. A retração linear de secagem é caracterizada por acréscimo para as amostras A4 e A6 devido à permanência da água e do óleo na composição quando esta é direcionada ao processo de secagem.

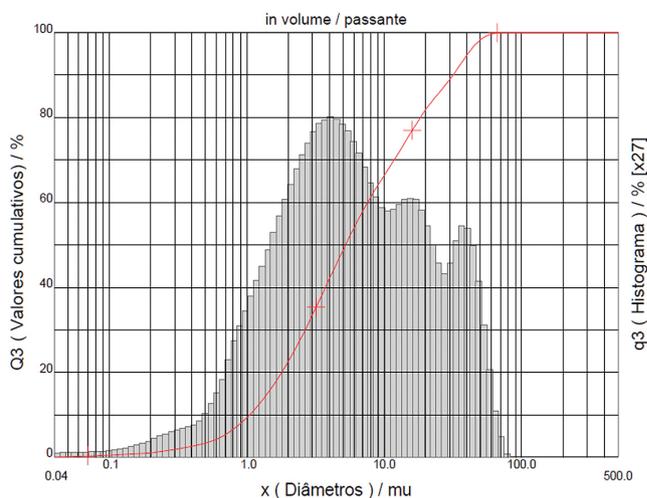


Figura 5. Análise granulométrica por difração de laser.

Tabela 3. Concentração de partículas por diâmetro e diâmetro médio de partículas.

Concentração	Diâmetro
10%	1,05 µm
50%	5,22 µm
90%	31,67 µm
Diâmetro Médio	10,9 µm

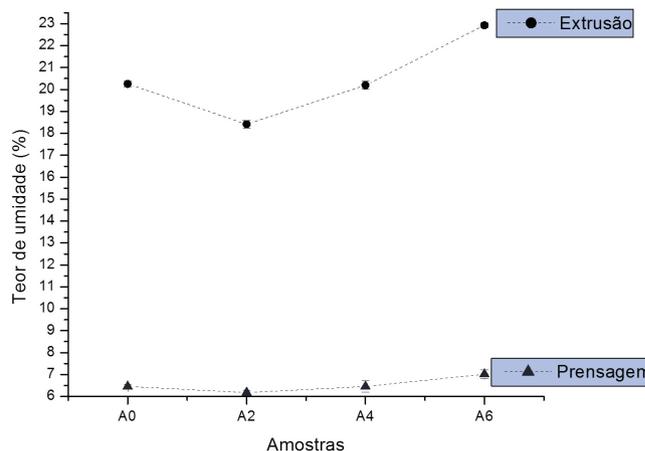


Figura 6. Teor de umidade (%).

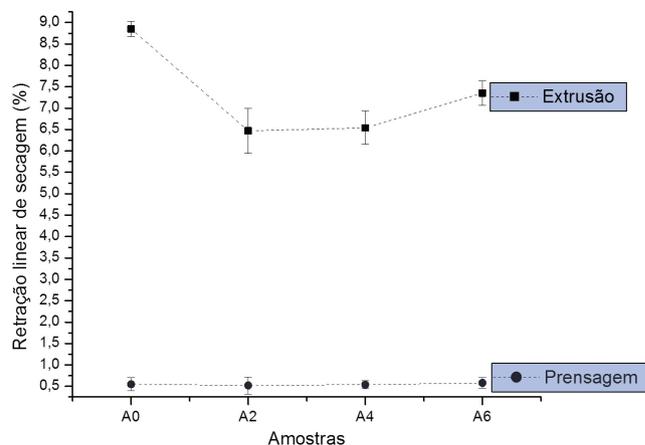


Figura 7. Retração linear de secagem (%).

Os gráficos de retração linear de secagem e teor de umidade das amostras apresentam semelhança na tendência de comportamento, sendo possível constatar que o teor de óleo influencia a retração linear de secagem bem como o teor de umidade.

3.2.3. Análise da retração linear de queima

A retração linear de queima das amostras extrudadas e prensadas está apresentada na Figura 8.

Conforme ilustra a Figura 8, a retração linear de queima das amostras não apresenta alterações de valores significantes nas temperaturas de 800°C e 900°C, no entanto esta propriedade é elevada quando as amostras são submetidas à temperatura de queima de 1000°C. Nesta temperatura, a amostra A0 – P apresenta maior retração linear de queima devido à facilidade de aproximação e coalescimento das partículas durante a queima quando comparada às demais amostras devido à ausência do óleo quando em temperaturas inferiores. Este dificulta a aproximação entre as partículas até que venha a ser decomposto no processo de queima. A diferença de comportamento de retração linear de queima entre as amostras prensadas e extrudadas, provavelmente, está relacionada com o tipo de processamento. Durante a extrusão há uma maior possibilidade de migração do óleo ocasionando a eliminação de parte do óleo adicionado ocasionando uma maior uniformidade nos resultados desta propriedade para amostras sem adição de óleo e com adição de óleo. No caso da prensagem, por tratar-se de um processo realizado através da aplicação de carga em um molde fechado o óleo possui menor possibilidade de ser eliminado do processo, resultando em maior disparidade entre os resultados das amostras sem adição de óleo e com adição de óleo.

3.2.4. Análise de perda ao fogo

A Figura 9 mostra a perda ao fogo para as amostras extrudadas e prensadas.

As amostras apresentadas na Figura 9, de modo geral, apresentam elevação de perda ao fogo (%) com o aumento da temperatura. As amostras com adição de óleo apresentam valores pouco superiores à amostra sem adição de óleo, no entanto, a elevação da perda ao fogo se dá de forma paralela ao percentual de óleo adicionado à massa, pois, para as amostras A0 a perda ao fogo é referente à perda de hidroxilas e matéria orgânica existente na argila em pequena proporção já as amostras A2, A4 e A6 além dos elementos constituintes receberam em sua composição mais matéria orgânica a partir da inclusão do óleo na massa.

3.2.5. Análise da porosidade aparente

Os percentuais de porosidade aparente das amostras extrudadas e prensadas são mostrados na Figura 10.

A Figura 10 representa os valores obtidos da porosidade aparente e mostra que com o aumento do teor de óleo na composição a porosidade aparente aumenta. Tal fato se dá devido a uma maior quantidade de matéria orgânica presente na amostra que contém o óleo e a partir do aumento da temperatura de queima a matéria orgânica irá se decompor e deixar nas amostras a presença de vazios o qual ficará mais suscetível a absorção de água.

Se analisarmos em termos de temperatura, há pouca variação da propriedade em análise nas temperaturas de 800°C e 900°C. Quando submetidas à temperatura de queima de 1000°C, ocorre o intenso declínio da porosidade aparente. A intensa diminuição da porosidade a 1000°C quando comparada às demais temperaturas em análise, está relacionada com a formação de fase líquida que permeia os poros existentes no material e ocasiona a densificação da amostra.

3.2.6. Análise da absorção de água

A Figura 11 mostra os percentuais de absorção de água para as amostras extrudadas e prensadas.

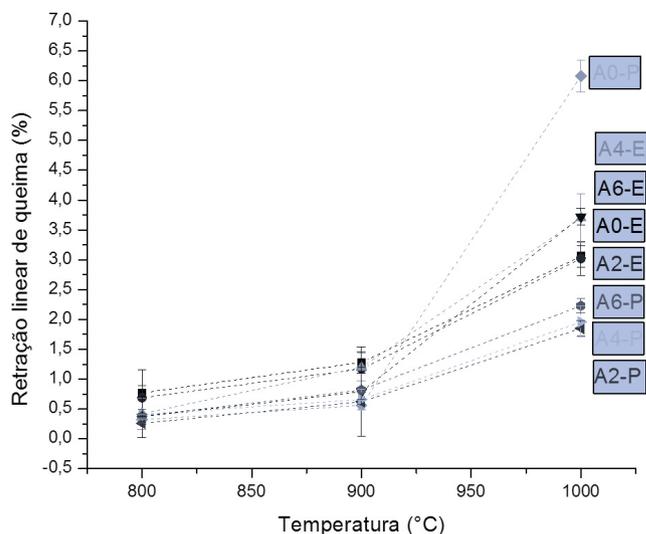


Figura 8. Retração linear de queima (%).

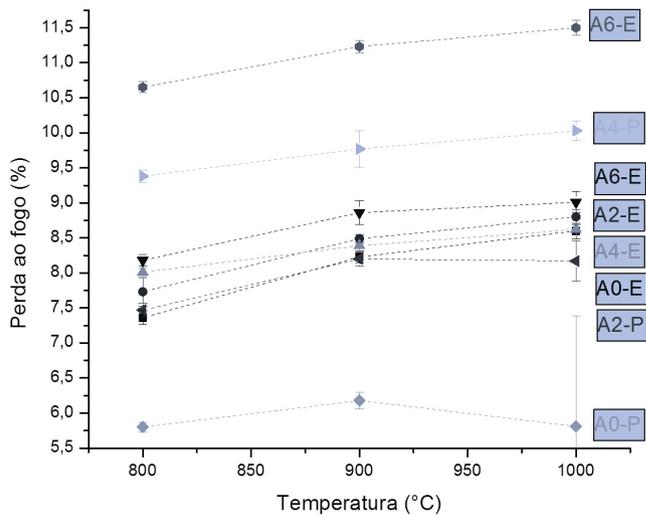


Figura 9. Perda ao fogo (%).

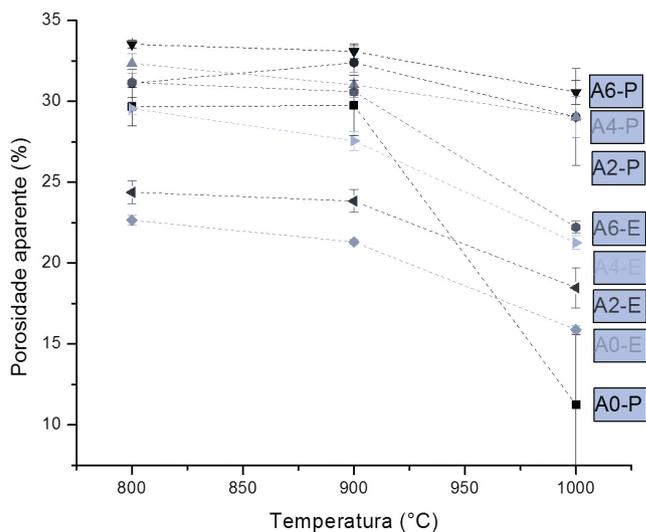


Figura 10. Porosidade aparente (%).

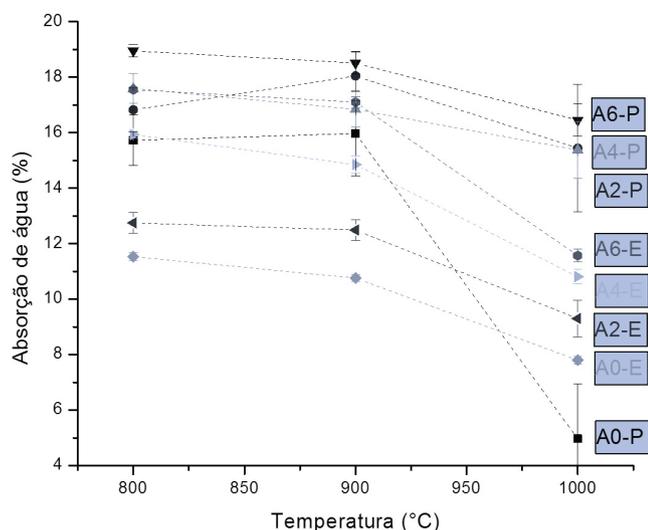


Figura 11. Absorção de água (%).

A partir da Figura 11 é possível verificar que o percentual de absorção de água aumenta com a elevação do teor de óleo adicionado às amostras, comportamento influenciado pelo percentual de porosidade aparente das peças.

Se considerarmos as composições, individualmente, estas apresentam comportamentos semelhantes, com pouca variação nas temperaturas de 800°C e 900°C e redução da absorção de água a partir da elevação da temperatura de queima para 1000°C. Quando comparadas as amostras sem óleo e com adição de óleo, estas últimas obtiveram resultados superiores em termos de absorção de água.

3.2.7. Análise da massa específica aparente

A Figura 12 apresenta os percentuais da massa específica aparente das amostras extrudadas e prensadas.

A partir da Figura 12 considera-se que a massa específica aparente aumenta quando as amostras são submetidas à temperatura de queima de 1000°C devido à ação de fundentes no material, tal como o feldspato, que por possuir temperatura de fusão menor que a temperatura final do ciclo de queima este se torna líquido durante o processo de queima e atua no preenchimento dos vazios (poros) aumentando a densificação da amostra. Em consequência de uma maior quantidade de matéria orgânica nas composições com adição de óleo, estas apresentam maior quantidade de poros e, portanto, menor densificação.

3.2.8. Análise da resistência à compressão

A Figura 13 apresenta a resistência à compressão dos tijolos maciços cerâmicos obtidos por extrusão.

A resistência mecânica da totalidade de tijolos maciços ensaiados por compressão se enquadra na Norma ABNT NBR 7170¹¹ a qual exige resistência à compressão mínima de 4,0 MPa para que estes estejam inseridos na categoria C (Tabela 1), de maior exigência mecânica dentre as categorias existentes. A resistência mínima registrada dentre os tijolos com adição de óleo foi de 7,73 MPa para a amostra A6 – E submetida à temperatura de queima de 800°C. Quanto à absorção de água, as amostras de tijolos maciços com adição de óleo permaneceram dentro da faixa normatizada pela ABNT NBR 15270-1¹⁰ com absorção de água entre 8% e 22%.

3.2.9. Análise da resistência à flexão

A resistência à flexão das placas cerâmicas conformadas por prensagem está mostrada na Figura 14.

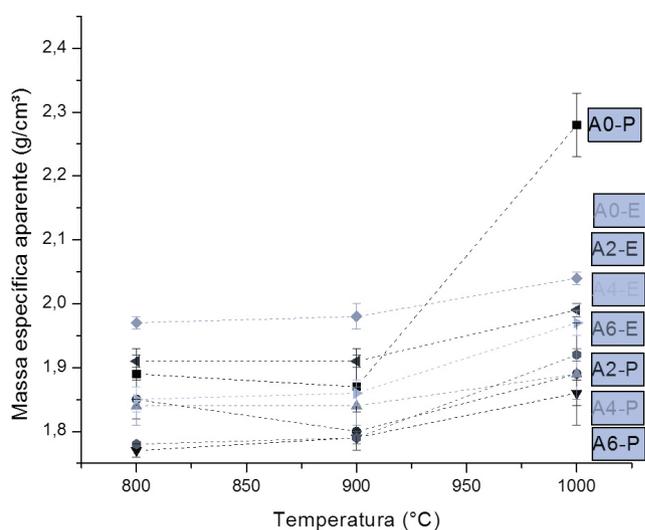


Figura 12. Massa específica aparente (%).

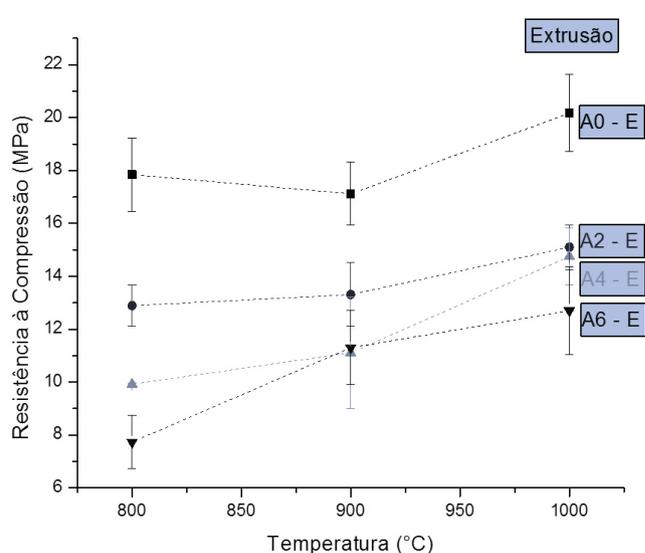


Figura 13. Resistência à compressão (MPa).

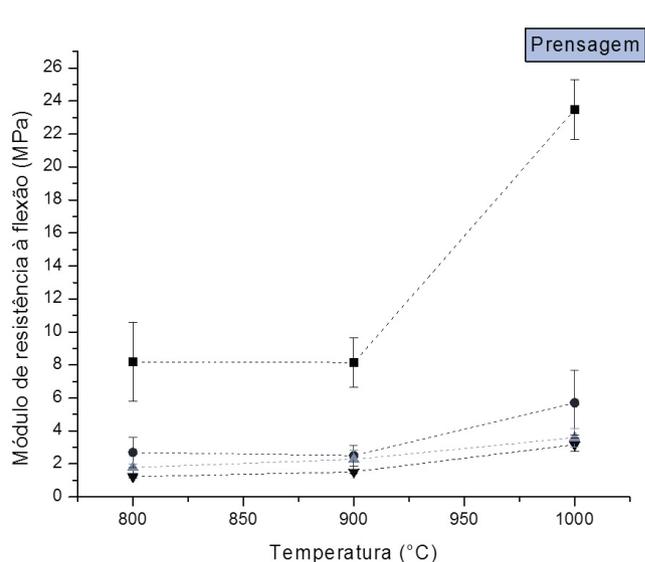


Figura 14. Módulo de resistência à flexão (MPa).

Tabela 4. Grupos de absorção de água para placas conformadas por prensagem e indicação do Módulo de Resistência à Flexão requerido.

Grupos	Absorção de Água (%)	Módulo de Resistência à Flexão Médio (MPa)
Bla	$0 < AA \leq 0,5$	≥ 35
Bib	$0,5 < AA \leq 3,0$	≥ 30
BIIa	$3,0 < AA \leq 6,0$	≥ 22
BIIb	$6,0 < AA \leq 10,0$	≥ 18
BIII	AA acima de 10,0	≥ 12

Das placas cerâmicas ensaiadas por flexão apenas as amostras sem adição de óleo, submetidas à temperatura de queima de 1000°C, atenderam à exigência de resistência à flexão mínima da ABNT NBR 13817¹² que é de 22,0 MPa para peças com absorção de água entre 3% e 6% inseridas no grupo BIIa (Tabela 4). No presente estudo estas amostras alcançaram a resistência à flexão de 23,48 MPa. As demais amostras se enquadram na norma quanto à absorção de água, inseridas no grupo BIII (Tabela 4), para peças com absorção de água acima de 10%, no entanto não atendem às exigências mecânicas, as quais determinam que as peças para serem usadas como placas de revestimento cerâmico precisam suportar a uma tensão superior a 12 MPa. Das amostras com adição de óleo a resistência à flexão máxima foi de 5,7 MPa para as amostras com 2% de óleo submetidas à temperatura de queima de 1000°C.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos podemos concluir que:

A partir da caracterização microestrutural da argila constatou-se a presença majoritária de esmectita na composição bem como a presença de caulinita, esta última foi identificada em menor quantidade. A esmectita influenciou no processamento da massa argilosa tornando-o mais difícil devido à elevada plasticidade da mesma e ao poder de adsorver o óleo.

A formulação de massa com a adição de óleo foi possível nas seguintes composições, 2% de óleo (A2), 4% de óleo (A4) e 6% de óleo (A6) sendo estas comparadas com uma massa sem adição de óleo (A0). A partir de 6% o óleo migra intensamente para o exterior da massa, principalmente para as amostras conformadas por extrusão.

As amostras sob a forma de tijolos maciços e placas puderam ser conformadas pelos métodos tradicionais de extrusão (E) e prensagem uniaxial (P) respectivamente.

Os tijolos maciços com adição de óleo atenderam às exigências das normas adotadas no que refere-se à absorção de água, ficando entre 8% e 22% e com resistência mecânica mínima superior a 4,0MPa, classificados como categoria C.

As placas cerâmicas com óleo foram classificadas como grupo BIII devido ao percentual de absorção de água determinado ser maior que 10% e não atenderam às exigências mecânicas para aplicação como placas de revestimento, as quais apresentaram resistência à flexão inferior a 12,0MPa. Apenas as amostras sem adição de óleo, submetidas à temperatura de queima de 1000°C foram classificadas como BIIa com absorção de água entre 3% e 6% e ultrapassaram a resistência à flexão mínima de 22,0 MPa atendendo, portanto, a normatização existente.

De forma geral foi possível a fabricação de tijolos e placas de cerâmica vermelha com a adição de óleo lubrificante usado, pelos métodos tradicionais de processamento. Através da análise dos resultados foi possível observar a influência do óleo nas propriedades físico-mecânicas dos produtos obtidos, sendo este, responsável pela

elevação da absorção de água, porosidade aparente e redução da massa específica aparente, entre outras alterações. Ficou comprovado que a adição de óleo permite a fabricação de tijolos maciços classificados dentro da normatização existente, entretanto, é inadequada para a fabricação de placas de revestimento.

Referências

- VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F. de; PINATTI, D. G. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes - RJ. *Cerâmica*, v. 46, n. 297, p. 14-17, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-6913200000100003>
- SANTOS, P. S. *Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras*. São Paulo: Edgard Blücher, 1975. (v. 1).
- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. *Indústria de cerâmica: ideias de negócios sustentáveis*. SEBRAE, 2012.
- ECO UNIFESP. *Princípio dos 3 R's*. São Paulo. Disponível em: <http://dgi.unifesp.br/ecounifesp/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=8>. Acesso em: 30 abril 2013.
- REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL. São Paulo, ano VI, ed. 31, n. 30, maio/jun. 2001. Disponível em: <www.meioambienteindustrial.com.br>. Acesso em: 19 abril 2013.
- SOHN, H. *Gerenciamento de óleos lubrificantes usados ou contaminados: guia básico*. São Paulo: SENAI, 2007.
- BRUNDTLAND COMMISSION. *Our common future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13818**: placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.
- DAMIANI, J. C. et al. Coração Negro em revestimentos cerâmicos: principais causas e possíveis soluções. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 2, p. 12-16, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15270-1**: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7170**: tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13817**: placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro, 1997.
- ROSÁRIO, J. A. *Argilas esmectíticas: técnicas de caracterização e processos de ativação*. Florianópolis: UFSC, 2007.
- SANTOS, I. M. G. et al. Efeito da adição de rejeito na redução de coração negro em cerâmicas vermelhas. *Cerâmica*, v. 51, n. 318, p. 144-150, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132005000200012>
- PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 2, n. 1-2, p. 31-35, 1997.