

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE QUEIMA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E MICROESTRUTURAIS DO PISO INTERTRAVADO CERÂMICO

João Paulo dos Santos Silva (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí) E-mail:

joaopauloec17@gmail.com

Pablo Juan Lopes e Silva Santos (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí) E-mail:

pablojuan.engenhariacivil@gmail.com

Roberto Arruda Lima Soares (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí) E-mail:

robertoarruda@ifpi.edu.br

Resumo: O piso intertravado cerâmico é um produto que possui um elevado potencial estético, devido às diversas dimensões e colorações possíveis, além de ser inovador, pois ainda há uma baixa utilização desse produto no mercado brasileiro. Este artigo tem como objetivo analisar a influência da temperatura de queima nas propriedades tecnológicas e microestruturais do piso intertravado cerâmico. A matéria-prima foi adquirida em uma indústria de cerâmica vermelha na região de Teresina - PI e foi caracterizada por fluorescência de raios X, difração de raios X, análise térmica e análise de plasticidade. Os corpos de prova foram preparados por meio de prensagem uniaxial com dimensões de aproximadamente 80 mm x 10 mm x 10 mm e queimados nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C. As propriedades tecnológicas analisadas foram retração linear de queima, absorção de água, massa específica aparente e resistência à compressão. A microestrutura das amostras foi analisada por microscopia óptica e difração de raios X. Os resultados mostraram que o piso intertravado cerâmico apresentou excelentes propriedades tecnológicas, especialmente a partir da temperatura de 1050 °C. Além disso, concluiu-se que a temperatura de queima mais adequada para a utilização do piso intertravado cerâmico em passeios e tráfego veicular leve e em regiões de tráfego veicular pesado, calçadas comerciais e aplicações industriais é a partir de 1050 °C. Com isso, o piso intertravado cerâmico é um produto que pode ser fabricado com variadas temperaturas, de acordo com a aplicação em que ele vai ser utilizado.

Palavras-chave: Piso intertravado cerâmico, Propriedades tecnológicas, Temperatura de queima.

INFLUENCE OF BURNING TEMPERATURE ON TECHNOLOGICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF INTERLOCKING CERAMIC FLOOR

Abstract: The interlocking ceramic floor is a product that has a high aesthetic potential, due to the various dimensions and possible colors, besides being innovative, as there is still a low use of this product in the Brazilian market. This article aims to analyze the influence of burning temperature on technological and microstructural properties of interlocking ceramic floor. The raw material was acquired from a red ceramic industry in the Teresina - PI region and was characterized by X-ray fluorescence, X-ray diffraction, thermal analysis and plasticity analysis. The specimens were prepared by uniaxial pressing with dimensions of approximately 80 mm x 10 mm x 10 mm and burned at temperatures of 950 °C, 1050 °C and 1150 °C. The technological properties analyzed were linear burning retraction, water absorption, apparent specific mass and compression resistance. The microstructure of the samples was analyzed by optical microscopy and X-ray diffraction. The results showed that the interlocking ceramic floor presented excellent technological properties, especially from the temperature of 1050 °C. Moreover, it was concluded that the most adequate burning temperature for the use of the interlocking ceramic floor in sidewalks and light vehicular traffic and in regions of heavy vehicular traffic, commercial sidewalks and industrial applications is from 1050 °C. Thus, the interlocking ceramic floor is a product that can be manufactured with varying temperatures, according to the application in which it will be used.

Keywords: Interlocking ceramic floor, Technological properties, Burning temperature.

1. Introdução

A indústria de cerâmica vermelha caracteriza-se pela coloração de seus produtos, como blocos, telhas, lajotas, entre outros. Com essa diversidade de produtos, há um consumo elevado desses derivados de cerâmica vermelha e a utilização de processos produtivos tradicionais ocasionam uma concorrência elevada entre as empresas fabricantes. Como medida para resolver essa situação, diversas empresas passaram a investir em novas tecnologias e desenvolvimento de novos produtos, de forma a obterem destaque em um mercado com alta competitividade (CABRAL JUNIOR & AZEVEDO, 2017).

Conforme Carvalho et al. (2019), dentre esses novos produtos cerâmicos, há o piso intertravado cerâmico ou adoquim, que é um produto cerâmico que possui características inovadoras, sendo as principais, o aspecto rudimentar, a coloração natural e as propriedades tecnológicas. Esse produto apresenta fácil manuseio, além de diversos formatos geométricos, que facilitam a execução e a obtenção de uma adequada distribuição de cargas advindas dos vários tipos de tráfego. Esse produto também apresenta longa vida útil, alta resistência mecânica e facilidade de reparo. Essas características mudam conforme há variação na temperatura de queima da peça.

O adoquim permite a pavimentação de estradas dos mais diversos tipos de tráfego, como calçadas, vias de tráfego de veículos, entre outros. Esse produto é fabricado a partir da mistura de um ou mais tipos de argila que propiciam coloração natural e plasticidade desejada. Desse modo, é importante o estudo desse material, que possui um vasto campo de aplicação, cuja matéria-prima básica, a argila, é muito abundante (CANDIDO et al., 2013). Este artigo tem como objetivo analisar a influência da temperatura de queima nas propriedades tecnológicas e microestruturais do piso intertravado cerâmico.

2. Referencial teórico

O pavimento intertravado possui como característica principal, o fato de as peças serem simplesmente assentadas e confinadas sobre uma camada de areia, que regulariza a base e atua na distribuição das cargas e no encaixe das peças. O conceito básico desse pavimento é o intertravamento, em que a carga é transmitida de uma peça para outra por meio do atrito lateral entre elas. Outro fator importante é a permeabilidade, pois esse pavimento facilita a passagem de parte da água da chuva para o solo através das juntas, além da elevada resistência à compressão, que torna o pavimento intertravado durável ao longo da sua vida útil (HENGL et al., 2018).

O adoquim ou piso intertravado de cerâmica já é bastante utilizado no exterior, mas ainda é pouco empregado no Brasil. O adoquim pode conter ou não aditivos e deve ser sinterizado em elevadas temperaturas para obter melhores propriedades técnicas. Uma vantagem do pavimento intertravado de cerâmica em relação ao fabricado com concreto é dispensar o uso de corantes, pois esses produtos cerâmicos possuem um aspecto rústico bastante valorizado no mercado, além de inúmeras colorações naturais que podem variar de vermelha a cinza. As cores variam de acordo com o tipo de argila utilizada na massa para a fabricação dos produtos (CANDIDO et al., 2013).

Segundo Ferreira et al. (2019), com o avanço do setor cerâmico no Brasil é cada vez maior o interesse pelo desenvolvimento de novos produtos cerâmicos. Dentre esses produtos, o adoquim apresenta-se como um produto inovador, que pode ser utilizado em larga escala, além de possuir inúmeros tipos de aplicações. O adoquim também possibilita, durante seu processo de fabricação, que sejam adicionados na massa cerâmica, resíduos e outros materiais alternativos, como o chamote, provenientes da própria indústria cerâmica ou de outras indústrias que venham a fornecer esses resíduos ou materiais.

Para a aplicação do adocum na pavimentação também podem ser utilizados alguns tipos de peças complementares para garantir uma melhor utilização do produto, como mais facilidade no encaixe e também para proporcionar a infiltração de água de forma mais eficiente. Essas peças são fabricadas com o mesmo material e com as mesmas características do adocum, diferindo em relação a ele apenas no formato e nas dimensões.

Em relação à legislação técnica, o Brasil ainda não possui normas técnicas que tratam especificamente do piso intertravado cerâmico ou adocum. Dessa forma, enquanto essas normas não forem criadas, é necessário o uso da legislação vigente de outros países que já possuem normas que tratam sobre o assunto. Dentre esses países, há os Estados Unidos, cujas normas foram elaboradas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Desse modo, foram utilizadas como parâmetro em relação ao atendimento das propriedades tecnológicas, a norma americana ASTM C902 (2015) que estabelece padrões para a utilização de adocums cerâmicos em locais que possuem circulação de pedestres e tráfego veicular leve e a norma americana ASTM C1272 (2017) que estabelece requisitos para a utilização de adocums em regiões de tráfego veicular pesado, calçadas comerciais e aplicações industriais.

Em relação a essas normas, a classe SX indica que o pavimento está sujeito ao congelamento, a MX se refere a pavimento destinado ao uso externo, onde a resistência ao congelamento não é um fator e a NX relaciona-se a pavimento não destinado ao uso externo, mas que pode ser empregado para uso interno quando protegido de congelamento. As classificações tipos R e F, por sua vez, se referem a pavimentos rígidos e flexíveis, respectivamente. A Tabela 1 apresenta as especificações do adocum conforme essas normas americanas.

Tabela 1 – Especificações técnicas do adocum

Norma	Especificações técnicas (média para 05 unidades)		
	ASTM	RC (MPa)	AA (%)
C902	Classe SX	55,2	8
C902	Classe MX	20,7	14
C902	Classe NX	20,7	Sem limite
C1272	Tipo R	55,2	6
C1272	Tipo F	69	6

Fonte: adaptada de ASTM C902 (2015) e ASTM C1272 (2017).

Dados: RC – resistência à compressão; AA – absorção de água.

3. Materiais e métodos

A matéria-prima utilizada é a massa argilosa coletada em uma indústria cerâmica situada na região de Teresina, capital do Piauí. Após a coleta, a massa argilosa foi armazenada no laboratório de materiais cerâmicos do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM) do Instituto Federal do Piauí (IFPI). Os ensaios de caracterização das matérias-primas e dos corpos de prova queimados foram realizados nos laboratórios do PPGEM do IFPI, exceto o ensaio de resistência à compressão que foi realizado na Universidade Federal do Piauí (UFPI).

3.1. Caracterização da matéria-prima

A massa argilosa foi caracterizada por análise química, com a utilização de um espectrômetro de fluorescência de raios X (FRX) em equipamento modelo Epsilon 3 XL

da Panalytical. As matérias-primas foram moídas e peneiradas até granulometria inferior à peneira de nº 200 (0,075 mm) e colocadas no porta-amostra sobre um filme de prolene.

Houve também a caracterização das amostras por análise de difração de raios X (DRX), com a matéria-prima moída e peneirada até granulometria inferior à peneira de nº 200 (0,075 mm) para identificação das fases cristalinas presentes. Nessa análise foi utilizado o equipamento XRD-6000 da Shimadzu.

Na análise térmica em que é avaliada a perda ou o ganho da massa em função da temperatura e/ou tempo, foi utilizado o Analisador Termogravimétrico TGA-51H da Shimadzu. Nessa análise, foi utilizada uma massa que pesou em torno de 15 mg, com granulometria inferior à peneira de nº 200 e queimada até a temperatura de 1150 °C.

Para a análise da plasticidade das matérias-primas foram determinados o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP) (ABNT NBR 6459, 2016; ABNT NBR 7180, 2016). O limite de liquidez corresponde à máxima quantidade de água que a argila ou a massa cerâmica pode conter para ainda ser moldável. Por sua vez, o limite de plasticidade indica a menor quantidade de água que a argila ou massa cerâmica devem conter para serem conformadas, por exemplo, em uma prensa ou extrusora. Com esses dois limites, foi encontrado o índice de plasticidade (IP) conforme a Equação (1) a seguir.

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

3.2. Preparação das massas cerâmicas

A massa argilosa foi submetida à secagem em estufa à temperatura de 110 °C durante 24 horas. Após a etapa de secagem, ela foi moída em moinho de bolas para reduzir e realizar a desagregação das partículas. Logo após, ela foi peneirada em peneira da ABNT nº 80 (0,180 mm) e foram realizadas as etapas de secagem, queima e caracterização dos corpos de prova queimados.

3.3. Preparação dos corpos de prova

A massa argilosa foi colocada em uma matriz de conformação metálica que apresenta dimensões aproximadamente iguais a 80 mm x 10 mm x 10 mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Logo após, foi realizada a moldagem dos corpos de prova por meio de prensagem uniaxial com intensidade de 35 MPa em prensa hidráulica modelo RP0002, da marca Ribeiro. A Figura 1 a seguir apresenta os corpos de prova após a moldagem.



Figura 1 – Corpos de prova confeccionados por prensagem.

3.4. Secagem e queima dos corpos de prova

A secagem dos corpos de prova foi realizada em estufa a uma temperatura de 110 °C, durante um intervalo de tempo de 24 horas. Após o término da secagem, os corpos de prova foram queimados em forno mufla QUIMIS, nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C. A queima ocorreu por meio de uma taxa de aquecimento constante de 3 °C/min, nos quais os corpos de prova foram mantidos na temperatura patamar durante um período de 30 minutos.

3.5. Caracterização dos corpos de prova queimados

Em relação à retração linear de queima (RLQ), os corpos de prova após a queima, foram medidos com o auxílio de um paquímetro digital e a partir dos valores do comprimento inicial (C_i) e do comprimento final (C_f), ambos medidos em centímetros (cm), foi realizado o cálculo da RLQ por meio da Equação (2) (ZACCARON et al., 2014).

$$RLQ (\%) = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

Com base na norma ASTM C373 (2018) foi realizado o cálculo da absorção de água (AA). Após o resfriamento, os corpos de prova foram secos em estufa a uma temperatura de 110 °C durante 24h. Em seguida, foram pesados em uma balança, medindo-se o peso seco (P_s) em gramas, e, logo após, foram imersos em água destilada durante 24h. A seguir, os corpos de prova foram removidos e pesados novamente, aferindo-se o peso úmido (P_u) também em gramas, de forma a calcular a quantidade de água que cada corpo de prova absorveu durante a realização do ensaio. A absorção de água foi calculada conforme a Equação (3).

$$AA (\%) = \frac{(P_u - P_s)}{P_s} \times 100 \quad (3)$$

De acordo com a norma ASTM C373 (2018) foi realizado o cálculo da massa específica aparente (MEA). A MEA é a relação entre o peso do corpo de prova seco (P_s) em gramas, e o seu volume aparente, que é a diferença entre o peso do corpo de prova úmido (P_u) e o peso do corpo de prova imerso em água (P_i), ambos medidos em gramas. A massa específica aparente foi calculada com base na Equação (4).

$$MEA (\text{g/cm}^3) = \frac{P_s}{P_u - P_i} \quad (4)$$

Segundo a norma ASTM C67 (2018) foi calculada a resistência à compressão (RC) dos corpos de prova queimados, por meio da relação entre a carga de ruptura do corpo de prova (F) medida em newton (N) e a área da seção transversal do corpo de prova (A) medida em mm². A resistência à compressão foi obtida por meio da Equação (5) a seguir.

$$RC \text{ (MPa)} = \frac{F}{A} \quad (5)$$

3.6. Análise microestrutural

A análise microestrutural foi realizada por meio de microscopia óptica, com a utilização do microscópio óptico (MO) modelo CX31, da marca Olympus e do software MotiC Imagens Plus 2.0 ML. Nessa análise foram observados os possíveis poros e defeitos existentes nas amostras após o processo de sinterização. Também foi utilizada a técnica de difração de raios X para determinar as fases cristalinas presentes nos corpos de prova queimados nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C.

4. Resultados e discussão

4.1. Análise química

A composição química da massa argilosa apresentou como componentes básicos o SiO₂ e o Al₂O₃, com predominância de SiO₂, devido à elevada concentração de quartzo na matéria-prima. Houve, também, a presença de um elevado teor de Fe₂O₃, que é o óxido responsável pela cor avermelhada do corpo de prova cerâmico, além do K₂O, que é um óxido fundente que auxilia na redução da temperatura de queima e formação de fase líquida durante a sinterização (CASTRO; SOARES & NASCIMENTO, 2012).

Os demais elementos encontrados no ensaio, como o MgO, são componentes geralmente identificados na argila vermelha, agindo como fundentes, além de serem importantes para proporcionar a melhoria das propriedades físicas e microestruturais da massa cerâmica. A Tabela 2 apresenta a composição química da massa argilosa, com os respectivos percentuais dos óxidos encontrados.

Tabela 2 – Composição química da massa argilosa

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	Outros
Massa argilosa	59,25%	21,44%	9,75%	4,78%	0,69%	1,46%	2,27%	0,36%

Fonte: autor (2020)

4.2. Análise mineralógica

Na análise mineralógica da massa argilosa foram identificados picos de difração de fases cristalinas referentes a caulinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄), dolomita (CaMg(CO₃)₂), moscovita (KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂) e quartzo (SiO₂), o que corrobora com a FRX que detectou a presença de óxidos de silício, alumínio, potássio, cálcio e magnésio.

A caulinita, devido ao seu alto teor de alumínio, tem a função de equilibrar as reações durante a fase de vitrificação da massa cerâmica. A dolomita auxilia na melhoria da resistência mecânica da peça cerâmica. A moscovita age como fundente por apresentar potássio em sua composição. Segundo SOARES et al. (2014), o quartzo desempenha o papel de melhorar a secagem e a saída de gases na queima, minimizar a retração da peça cerâmica e contribuir com a viscosidade da fase líquida formada durante o processo de queima. A Figura 2 apresenta a análise mineralógica da massa argilosa.

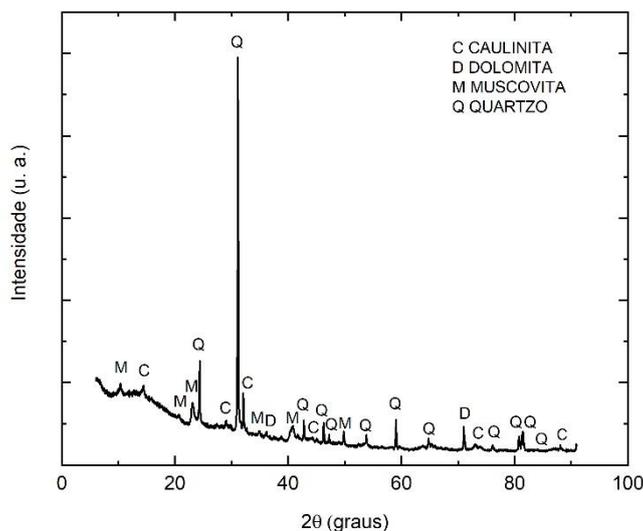


Figura 2 – Análise mineralógica da massa argilosa

4.3. Análise térmica

Na análise térmica observou-se inicialmente um pico a 55,40 °C com uma perda de massa de 1,52%, caracterizada pela perda de água livre. No segundo evento, há um pico presente na temperatura de 520,19 °C com uma perda de massa de 4,01%, caracterizada pela queima de matéria orgânica e a liberação de hidroxila da estrutura dos argilominerais, além da transformação alotrópica do quartzo α em β (SOARES et al., 2014).

Houve também um terceiro evento na temperatura de 874,34°C com uma perda de massa de 3,08%, devido, principalmente, à decomposição da dolomita com a liberação de CO₂, à saída da água de constituição dos argilominerais e à perda da estrutura cristalina da massa argilosa. Houve uma perda de massa total de 8,83%. A Figura 3 mostra a análise térmica da massa argilosa.

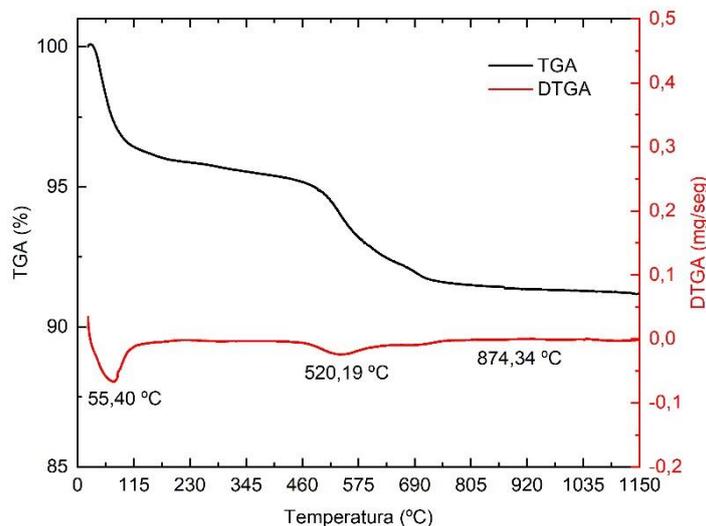


Figura 3 – Análise térmica da massa argilosa

4.4. Análise de plasticidade

A massa argilosa apresentou um IP de 15,59. Conforme CAPUTO (2015), com esse valor de IP, a massa argilosa se classifica como altamente plástica, o que possibilita seu uso em piso intertravado cerâmico, pois essa plasticidade facilita a moldagem, o que permite a

diversificação de formatos e dimensões na fabricação de peças. A Tabela 3 apresenta a análise de plasticidade da massa argilosa.

Tabela 3 – Índice de plasticidade da massa argilosa

Limite de liquidez	Limite de plasticidade	Índice de plasticidade
41,39	25,80	15,59

Fonte: autor (2020)

4.5. Caracterização dos corpos de prova queimados

No cálculo da retração linear de queima foi utilizado uma média de 5 corpos de prova para cada temperatura de queima. Observa-se que com o aumento da temperatura de queima, ocorre um aumento na retração linear de queima devido a um maior fechamento dos poros no corpo de prova, o que torna a massa cerâmica mais densa.

A absorção de água apresentou uma redução, conforme aumentou-se a temperatura, devido à maior densificação das amostras, por haver uma maior formação de fase líquida dos seus constituintes que penetram nos poros e ocasionam, conseqüentemente, uma redução nos números desses poros presentes nos interstícios dos corpos de prova.

Em relação à massa específica aparente, observa-se que com o aumento da temperatura de queima, há um aumento da MEA dos corpos de prova, em virtude da maior vitrificação e densificação das peças, o que está de acordo com os resultados da RLQ e AA, pois quanto maior a densidade do corpo cerâmico menor serão os espaços vazios ou poros presentes no seu interior. Os maiores resultados da MEA ocorreram na temperatura de 1150 °C, visto que nesta temperatura a fase líquida torna-se menos viscosa, facilitando o preenchimento dos poros no interior da peça cerâmica.

Com o aumento da temperatura de queima, houve um elevado aumento na resistência à compressão dos corpos de prova, pois nessas maiores temperaturas, ocorre uma grande redução no número de poros e um elevado aumento na densificação da massa cerâmica, que ocorreram devido às transformações de fase durante a queima, com o surgimento, por exemplo, das fases cristalinas, espinélio e mulita, que justificam o elevado acréscimo de resistência, especialmente a 1150 °C. A Tabela 4 apresenta os resultados referentes aos ensaios tecnológicos dos corpos de prova.

Tabela 4 – Propriedades tecnológicas dos corpos de prova nas diferentes temperaturas

Temperatura	RLQ (%)	AA (%)	MEA (g/cm ³)	RC (MPa)
950 °C	1,26 ± 0,04	10,07 ± 0,13	1,66 ± 0,01	51,56 ± 10,19
1050 °C	5,69 ± 0,17	2,26 ± 0,44	1,67 ± 0,01	89,17 ± 3,12
1150 °C	5,91 ± 0,15	1,51 ± 0,21	1,77 ± 0,06	102,41 ± 9,94

Fonte: autor (2020)

Em relação às normas americanas, considerou-se a classe SX para a norma ASTM C902 (2015) e a classificação tipo F para a norma ASTM C1272 (2017). Diante disso, a temperatura de 950 °C não atendeu às normas, no que se refere à absorção de água e à resistência à compressão. Nas demais temperaturas, 1050 °C e 1150 °C, as propriedades tecnológicas de absorção de água e resistência à compressão foram atendidas em ambas

as normas.

4.6. Análise microestrutural

A análise de microscopia óptica foi realizada para os corpos de prova queimados nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C, com uma ampliação de 100 vezes. Na temperatura de 950 °C, os corpos de prova apresentaram uma coloração mais clara em relação às demais temperaturas com menor formação de fase vítrea, o que indica uma sinterização menos acentuada. A Figura 4 mostra a imagem do MO para a temperatura de 950 °C.

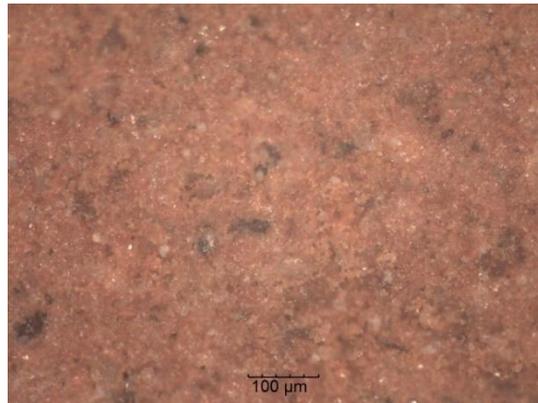


Figura 4 – Imagem do MO do corpo de prova na temperatura de 950 °C

Na temperatura de 1050 °C, os corpos de prova apresentaram uma coloração mais escura em relação à temperatura de 950 °C, devido a maior sinterização dos seus constituintes e uma maior formação de fase vítrea, além de haver uma redução na quantidade de poros. A Figura 5 apresenta a imagem do MO para a temperatura de 1050 °C.

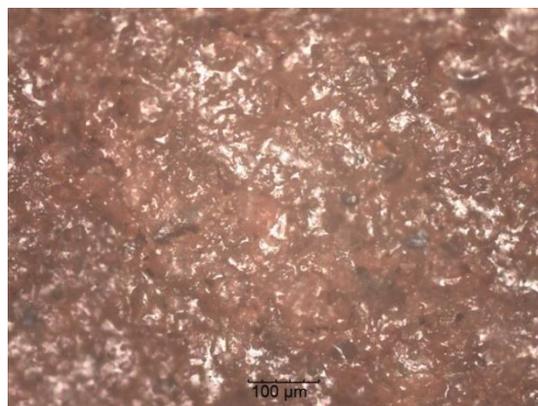


Figura 5 – Imagem do MO do corpo de prova na temperatura de 1050 °C

Na temperatura de 1150 °C, a coloração dos corpos de prova ficou mais escura que a temperatura anterior, devido à elevação da temperatura e a maior sinterização dos constituintes da massa cerâmica. A formação de fase vítrea elevou-se ainda mais nessa temperatura, além de haver uma redução maior na quantidade de poros, justificada pelo aumento de temperatura. A Figura 6 mostra a imagem do MO para a temperatura de 1150 °C.

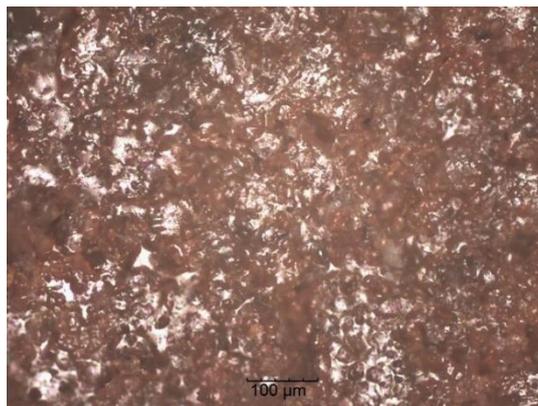


Figura 6 – Imagem do MO do corpo de prova na temperatura de 1150 °C

A análise mineralógica foi realizada nos corpos de prova queimados nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C. Na análise mineralógica a 950 °C foram identificados picos de difração de fases cristalinas, sendo elas a hematita (Fe_2O_3), o ortoclásio (KAlSi_3O_8) e o quartzo (SiO_2). O ortoclásio foi identificado apenas nessa faixa de temperatura, o que justifica a maior AA e os menores valores de RLQ e RC. Nessa temperatura, o potássio presente no ortoclásio não fundiu totalmente, agindo, dessa forma, como material inerte. Dessa forma, não houve contribuição efetiva na formação de fase líquida que é responsável pelo adensamento da peça.

Na temperatura de 1050 °C, por sua vez, houve uma mudança mais significativa nas fases cristalinas identificadas, havendo o desaparecimento da fase cristalina ortoclásio (KAlSi_3O_8), que indica a fusão e, conseqüente, formação de fase líquida do potássio, além do surgimento da fase cristalina espinélio (MgAl_2O_4). Essa formação de fase cristalina que se mistura à fase líquida, ampliando a formação de fase vítrea ou amorfa, ocasiona um aumento na resistência mecânica dos corpos de prova, como foi verificado nos resultados de RC.

Com o aumento da temperatura até alcançar 1150 °C, houve a formação de uma nova fase cristalina, a mulita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$). Com esse aumento, há uma maior formação de fase líquida que preenche os vazios microestruturais da massa cerâmica, auxilia na densificação, reduz a porosidade com o processo de vitrificação e, conseqüentemente, aumenta a resistência dos corpos de prova. A Figura 7 apresenta a análise de DRX das temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C.

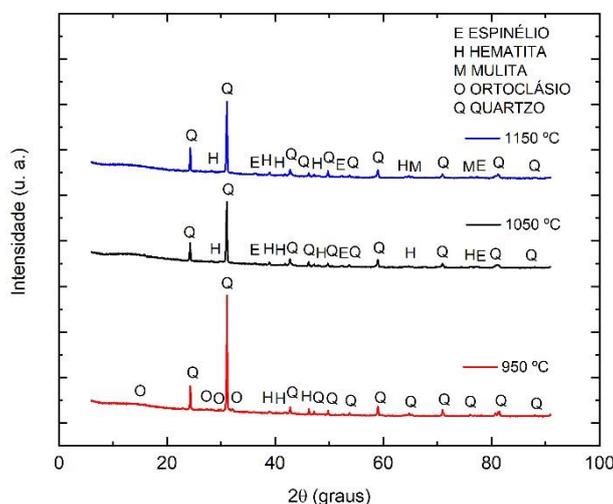


Figura 7 – Análise de DRX das temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C

5. Conclusão

As propriedades tecnológicas foram atendidas em relação às normas ASTM C902 (2015) e C1272 (2017), nas temperaturas de 1050 °C e 1150 °C. Desse modo, o adoquim pode ser utilizado tanto em locais que possuem circulação de pedestres e tráfego veicular leve, como também em regiões de tráfego veicular pesado, calçadas comerciais e aplicações industriais, exceto na temperatura de 950 °C que não atendeu às especificações das normas americanas.

Em relação à influência da temperatura, a partir da temperatura de 1050 °C se torna mais adequada a utilização do adoquim em passeios, tráfego veicular leve e tráfego de veículos pesados devido ao ganho econômico, na medida em que, quando utiliza-se uma temperatura de queima inferior, há uma redução nos custos de fabricação do produto.

Além disso, conclui-se que é viável a utilização do piso intertravado cerâmico, pois além de ser um produto com elevado potencial estético, também possui propriedades tecnológicas adequadas que garantem a durabilidade desse produto, nos diversos tipos de aplicação em que ele é utilizado.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C67: sampling and testing brick and structural clay tile. ASTM, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C373: standard test methods for determination of water absorption and associated properties by vacuum method for pressed ceramic tiles and glass tiles and boil method for extruded ceramic tiles and non-tile fired ceramic whiteware products. ASTM, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C902: pedestrian and light traffic paving brick. ASTM, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1272: heavy vehicular paving brick. ASTM, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6459: solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7180: solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

CABRAL JUNIOR, M. & AZEVEDO, P. B. M. *Potencial técnico e econômico do aproveitamento de resíduo da indústria de cerâmica vermelha.* Cerâmica Industrial. Vol. 22, n. 3, p. 29-38, 2017.

CANDIDO, V. S.; PINHEIRO, R. M.; MONTEIRO, S. N. & VIEIRA, C. M. F. *Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas caulínicas, chamote e argilito.* Cerâmica, v. 59, n. 350, p. 310-316, 2013.

CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações.* 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CARVALHO, J. P. R. G.; AMARAL, L. F.; SILVA, B. M.; DELAQUA, G. C. G.; MONTEIRO, S. N. & VIEIRA, C. M. F. *Development of ceramic paver with ornamental rock waste.* Journal of Materials Research and Technology. Vol. 8, n. 1, p. 599-608, 2019.

CASTRO, R. J. S.; SOARES, R. A. L. & NASCIMENTO, R. M. *Produção de revestimento cerâmico semi-poroso com adição de chamote de telhas.* Matéria. Vol. 17, n. 4, p. 1166-1175, 2012.

FERREIRA, D. S.; GOMES, R. M. M.; ARAÚJO, W. M. P. & SOARES, R. A. L. *Estudo da potencialidade da produção de adoquim com massa cerâmica utilizada em telhas prensadas.* Cerâmica Industrial. Vol. 24, n. 1, p. 40-46, 2019.

HENGL, H. L.; KLUGER-EIGL, W.; LUKACEVIC, M.; BLAB, R. & FÜSSL, J. *Horizontal deformation resistance of paving block superstructures - influence of paving block type, laying pattern, and joint behaviour.* International Journal of Pavement Research and Technology. Vol. 11, n.8, p. 846-860, 2018.

SOARES, R. A. L.; NASCIMENTO, R. M.; PASKOCIMAS, C. A. & CASTRO, R. J. S. *Efeito da adição de calcita oriunda de jazida de argila em massa de cerâmica de revestimento.* Cerâmica Industrial. Vol. 19, n. 3, p. 27-32, 2014.

ZACCARON, A.; GALATTO, S. L.; NANDI, V. S. & FERNANDES, P. *Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização do resíduo.* Cerâmica Industrial. Vol. 19, n. 3, p. 33-39, 2014.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa. À empresa Telhas Mafrense pelo fornecimento do material utilizado nos ensaios. À Universidade Federal do Piauí (UFPI) por possibilitar a realização do ensaio de resistência à compressão e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) pela oportunidade de realização do Mestrado.