

ANÁLISE TÉRMICA DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO NA CERÂMICA VERMELHA

Eduarda Maryanne Fonsêca de Medeiros [1]; Marcondes Mendes de Souza [2]; José Beldson Elias Ramos [3]; Augusto César Fialho Wanderley [4]; Marcelo Gomes de Lira Filho [5]; Isadora Maria Cruz Eneas [5]; Maria Clara Paulino de Amorim[1]; Lavinia Maria Oliveira Araújo Galvão [6].

[1]Discente do curso Técnico Integrado em Mineração, IFRN; [2]Doutor em Engenharia Mecânica, IFRN; [3]Doutorado em Geociências, IFRN; [4] Professor do Curso de Eletrotécnica-IFRN; [5] Discente do curso Técnico Integrado em Geologia, IFRN; [6] Discente do curso Técnico Subsequente em Mineração.

Resumo: O vidro é um material extremamente versátil com propriedades físico-químicas anômalas, devido ao seu uso abundante é responsável por uma quantidade excessiva de resíduos. Portanto, o vigente trabalho realizou uma análise de comparação térmica, nas temperaturas de 900 °C e 1000 °C, da incorporação do resíduo de vidro na indústria cerâmica, de modo a beneficiar não apenas econômica e qualitativamente a indústria cerâmica, como também o meio ambiente. Diante dos testes físicos de retração linear de queima, perda ao fogo, porosidade aparente e absorção de água, conclui-se que a adição do resíduo de vidro é uma alternativa viável para a indústria cerâmica, ambiental, econômica e qualitativamente, auxiliando sobretudo na redução da perda média ao fogo porosidade aparente, principalmente na temperatura de 1000°C. Baseando-se no teste de absorção de água comprovou as formulações cerâmicas na temperatura de 900 °C são recomendadas para climas temperados ou tropical, enquanto as formulações na temperatura de 1000 °C, são indicadas para climas frios e temperados.

Palavras-chave: Mineração, cerâmica, vidro, temperatura, sustentabilidade.

1. Introdução

A mineração exerce uma grande parcela na influência econômica, sendo um dos alicerces da sociedade moderna. Uma de suas ramificações é a indústria cerâmica, a qual estar diariamente presente no cotidiano social, desde a produção de tijolos e telhas até próteses. Portanto, o aperfeiçoamento e sustentabilidade desse setor são extremamente benéficos e necessários para o desenvolvimento da humanidade, no entanto, essa indústria também acarreta produção de uniremos poluentes.

No mesmo âmbito de poluentes a indústria do vidro, o qual é um material extremamente versátil com propriedades físico-químicas anômalas. Em decorrência dessa versatilidade o mesmo é aplicado nas mais diversas áreas, desde fabricação de pratos até placas fotovoltaicas. Seu uso abundante é responsável por uma quantidade excessiva de resíduos, que frequentemente, apesar da sua capacidade de reciclagem, acabam por não retornar a cadeia de produção, segundo Bastos (2023) apenas 20 a 25% do vidro consumido retorna a cadeia produtiva no Brasil.

Portanto, o vigente trabalho tem como principal intuito realizar uma análise de comparação térmica da incorporação do resíduo de vidro na indústria cerâmica, de modo a

beneficiar não apenas econômica e qualitativamente a indústria cerâmica, como também o meio ambiente.

Ademais, a redução dos resíduos e aprimoramento da produção cerâmica a adição do resíduo de vidro é conjuntamente economicamente vantajoso. Devido ao baixo interesse no uso do vidro reciclável e a lei de oferta e da procura, o mesmo pode ser adquirido por valores mais acessíveis em comparação a outros compostos cotidianamente usados pela indústria cerâmica, como quartzo ou feldspato.

2. Fundamentação teórica

> Desde o Egito Antigo, a Grécia, o Império Romano e a China, assim como durante a Idade Média e o Renascimento, a arte de produzir artefatos cerâmicos se desenvolveu muito. Desde a porcelana mais delicada para a confecção de xícaras ou a cerâmica rústica usada para produzir telhas, umas miríades de produtos foram produzidas durante milênios a partir da queima de misturas de diferentes tipos de barro. (ROCHA; SUAREZ; GUIMARÃES, 2014; p.1108).

> O aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como materiais alternativos não é novo e tem dado certo em vários países do Primeiro Mundo, sendo três as principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais; primeiro, o esgotamento das reservas de matérias-primas confiáveis; segundo, o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço e degradam os recursos naturais e, terceiro, a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pelas altas do petróleo. (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002 p. 303).

O teste de absorção de água é responsável por classificar o tipo da cerâmica e determinar os melhores usos na indústria de acordo com a tabela de classificação de absorção média de água da ABNT NBR 15310 (2009).

Tabela 1- Tabela de Classificação de cerâmica vermelha em Função da Absorção de Água.

Climas	% AA
Temperado ou tropical	≤ 20
Frios e temperados	≤ 12
Muito frio e úmido, durante longos períodos, inclusive sujeitos a ciclos freqüentes de gelo e degelo	≤ 7

ABNT NBR 15310 (2009).

> "O controle da retração linear sofrida pelos materiais cerâmicos durante os processos térmicos é de extrema importância, pois, a qualidade do produto se relaciona diretamente com as propriedades dimensionais da peça, consequências das etapas de produção, com início na moldagem e finalização após o processo de queima" (GURGEL et al. 2020).

A avaliação da perda ao fogo é de suma importância para a padronização do material produzido, pois grandes perdas de massa podem fazer com que o produto não atenda às especificações dimensionais estabelecidas, podendo afetar na qualidade do produto. (GURGEL et al. 2020).

3. Metodologia

Para a produção das massas cerâmicas empregadas neste estudo, foram realizados os processos de coleta e amostragem para utilização da argila oriunda do município de Açu- Rio Grande do Norte. Além do composto ligante, o presente trabalho promoveu a incorporação do vidro temperado, proveniente do mesmo estado.

Figura 1- Vidro temperado antes de ser submetido aos processos de cominuição.



Fonte: Autor (2024).

Após a coleta e amostragem, esses compostos não apresentavam uma granulometria adequada para a confecção dos corpos de prova, então foram submetidos à cominuição para reduzir o tamanho das partículas, além de um peneiramento a seco em uma peneira de 200 mesh (#), equivalente a uma abertura da peneira de 0,074 milímetros.

Em seguida, foram elaboradas 4 formulações diferentes de cerâmicas contendo diferentes proporções de argila e vidro, conforme apresentado na Tabela 1. Visando seguir a norma da ABNT NBR 13006 e determinar em qual grupo cerâmico as variações de formulações se encaixam, foram feitas 80 amostras, 20 amostras por formulação, pois serão submetidas a duas temperaturas de sinterização, resultando em uma produção de 10 corpos de prova para cada conjunto de variação.

Tabela 2- Formulações de cerâmicas contendo diferentes proporções de argila e vidro.

Compostos	Argila	Vidro	Água destilada
Formulação 1	**100%**	**0%**	**10%**
Formulação 2	**97%**	**3%**	**10%**
Formulação 3	**95%**	**5%**	**10%**
Formulação 4	**90%**	**10%**	**10%**

Fonte: Autor (2024).

Na confecção dos corpos de prova foram empregados uma argila e adicionado vidro com uma variação de porcentagens de 0%, 3%, 5% e 10%, nas diferentes formulações, o vidro tem função esqueleto para a cerâmica, semelhante ao quartzo, mineral frequentemente ultizado na indústria cerâmica e com composição semelhante, devido à alta concentração de sílica. Ao final, esses materiais somavam-se em aproximadamente 12 gramas, que ao serem adicionados de 10% de água destilada, resultam em 13,2 gramas por amostra.

Após a homogeneização, os compostos ficaram em repouso por 24 horas e posteriormente passaram pela prensagem em uma prensa uniaxial com uma pressão de 2,5 toneladas.

Na sequência, visando retirar a umidade, foram encaminhadas para um forno estufa por mais um período de 24 horas, com temperatura média de 110 °C e depois passaram pelo forno mufla para a sinterização. Com um patamar de 60 minutos e taxa de aquecimento de 10°C/min, o forno atingiu a temperatura adequada e, ao final do processo, ocorreu o resfriamento natural. Essas variações foram empregadas nas temperaturas de 900°C e 1000°C, amostras dispostas nas figuras 2 e 3, nas quais as peças que se encontram na parte superior na menor concentração do resíduo de vidro, concentração na qual aumenta de modo inversamente proporcional a posição dos corpos de prova nas figuras.

Figura 2- Corpos de prova após a sinterização na temperatura de 900°C.



Fonte: Autor (2024).

Figura 3- Corpos de prova após a sinterização na temperatura de 1000°C.



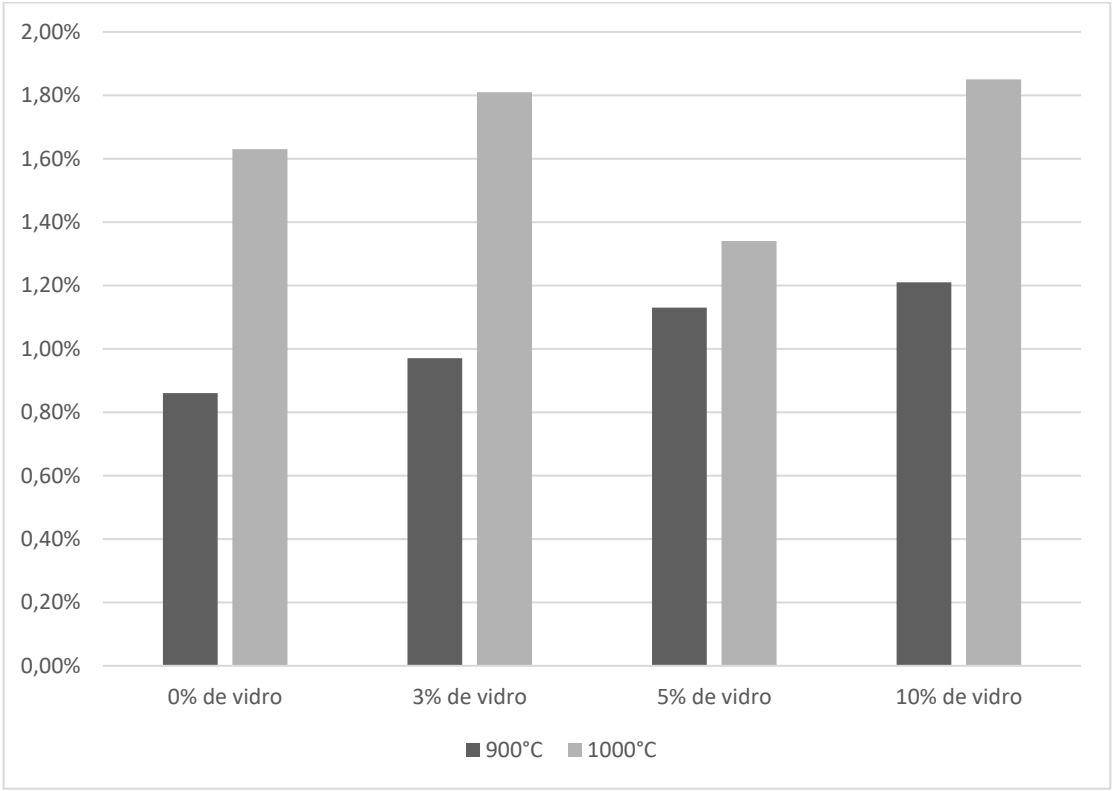
Fonte: Autor (2024).

Ao final da sinterização, os corpos de prova foram submetidos aos testes físicos, objetivando classificar o tipo cerâmico e consequentemente seu melhor uso no âmbito da indústria, de retração linear de queima, perda ao fogo, porosidade aparente e absorção de água, a fim de determinar a qual grupo cerâmico as variações de formulações pertencem.

4. Resultados

4.1 Retração linear de queima

Figura 4- Gráfico de Retração linear média de queima dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 900°C e 1000°C.



Fonte: Autor(2024).

De modo geral, todas as oito variações de formulação e temperatura apresentaram uma retração linear media de queima baixa, sendo inferiores a 2%. Na temperatura mais baixa, 900 °C, foi possível observar que a adição do resíduo de vidro resultou no aumento da retração linear média de perda, por se tratar de um composto fundente, nesse quesito se assemelhando muito ao feldspato, que assim como o quartzo, exerci grande influência na produção cerâmica. Nessa temperatura a retração média foi relativamente baixa, principalmente por se tratar de uma cerâmica vermelha. A argila apresentou uma retração de 0,86% do seu comprimento total, na comparação da média dos corpos de prova antes e depois da sinterização, a comutação da argila com um percentual de 3% de vidro resultou na retração de 0,97%, 0,09% maior em comparação a argila pura, e as retrações foram 1,13% e 1,21%, nas porcentagens de, respectivamente, 5% e 10% de vidro.

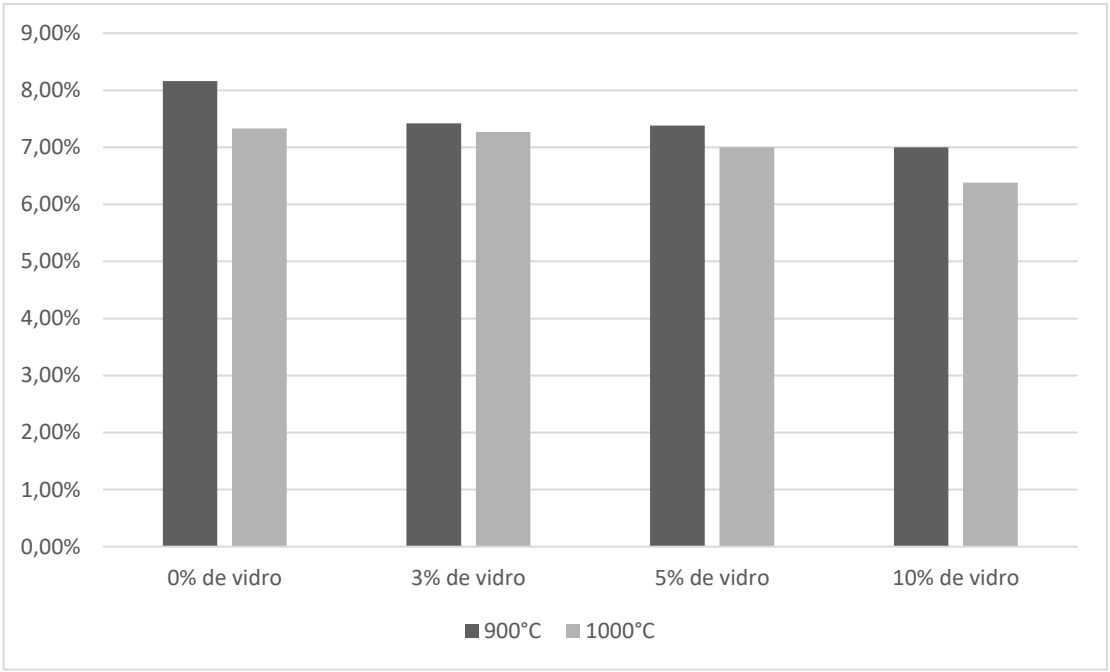


Já na temperatura mais alta, 1000°C, como era esperado, obteve-se uma retração linear mais elevada, decorrente da maior fusão dos compostos conforme a elevação da temperatura. Todas as porcentagens de retração se aproximara de 1%, sendo 1,63% na argila pura, 1,81% no composto ligante com 3% do resíduo, 1,34% com 5% de vidro e 1,85% com 10%.

A porcentagem de 5% apresentou curiosamente a retração linear de queima média de 1,34%, sendo a menor dessa temperatura, uma variável pequena em comparação as demais porcentagens, no entanto, esse resultado pode apresentar indícios que em uma determinada porcentagem o composto de vidro se estabilize e auxilie na redução da retração, em temperaturas mais elevadas.

4.2 Perda ao fogo

Figura 5- Gráfico de Perda média ao fogo dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 900°C e 1000°C.



Fonte: Autor (2024).

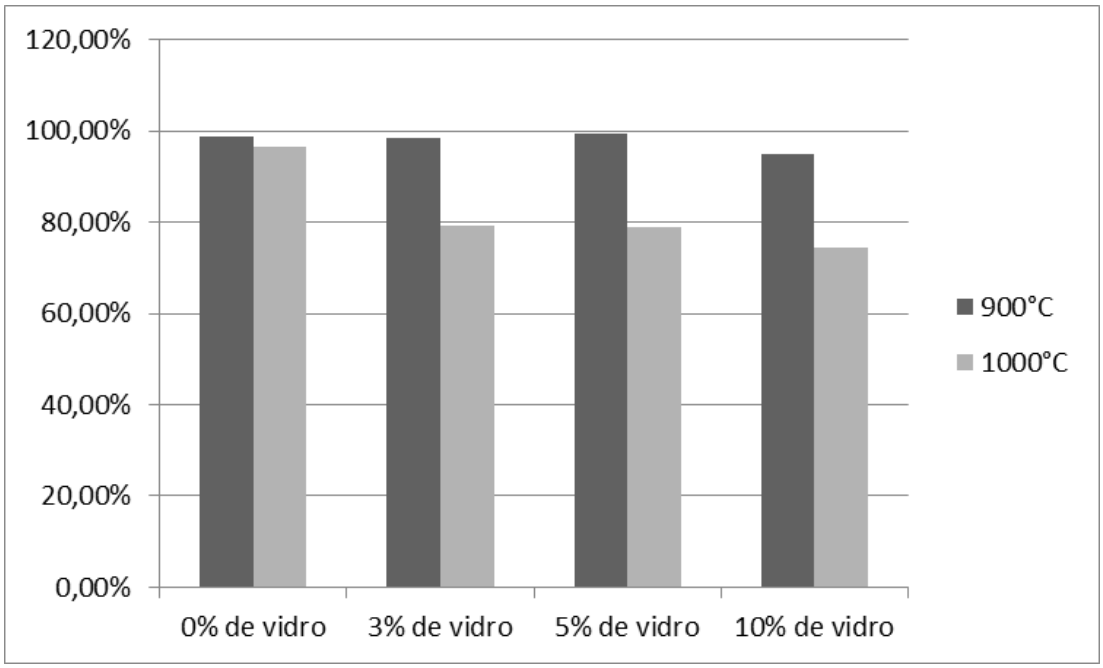
Os testes de perda ao fogo, os quais comparam a perda de peso da peça ao longo dos processos de secagem e sinterização, as formulações apresentaram resultados satisfatórios em decorrência da adição do vidro. A redução de perda ao fogo indica uma diminuição na perda de material durante a sinterização, a qual deveria ser inversamente proporcional ao aumento de temperatura, no entanto, uma possível presença de gases voláteis durante a queima na maior temperature pode ter ocasionado a inversão dos resultados acima apreentados. A perda ao fogo representa também uma perda de material, portanto, a redução desse fator é positive para as indústrias de produção cerâmica, sobretudi na produção de pequena e média escala.

Na temperatura de 900°C a incorporação de 10% do resíduo provocou uma redução de 1,16% em comparação com a formulação com 100% de argila de Açu, sendo mais prudente a adição nessa temperatura. A adição de 3% só vidro resultou na perda de 7,42% e com 5% do

resíduo ocasionou na diminuição de 7,38%. Na temperatura de 1000°C os resultados da adição acarretou emu ma redução de 0,95%, na comparação das formulações de 0% e 10% de vidro, as formulações de 3% e 5% promoveram, respectivamente, 7,27% e 7% de perda média ao fogo. No geral, a perda ao fogo de todas as formulações se mostrou relativamente baixa, mesmo nas amostras com 0% de vidro, sendo inferiores a 9% do peso total dos corpos de prova.

4.3 Porosidade aparente

Figura 6- Gráfico de porosidade média aparente dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 900°C e 1000°C.



Fonte: Autor (2024).

Os testes de porosidade média aparente calcula a quantidade média de poros dentro das amostras, por se tratar de uma cerâmica vermelha, urge a necessidade de um número maior de poros. A comutação do resíduo de vidro provocou uma redução de 0,20% e 3,7%, mutuamente nas porcentagens de 3% e 10% de vidro, na temperatura de 900°C. Ambas as temperaturas, assim como indicado pelo teste de perda ao fogo, a estabilidade associada a adição de 5% de vidro resultou emu ma porosidade aparente maior quando comparado aos 3% e 10% do resíduo.

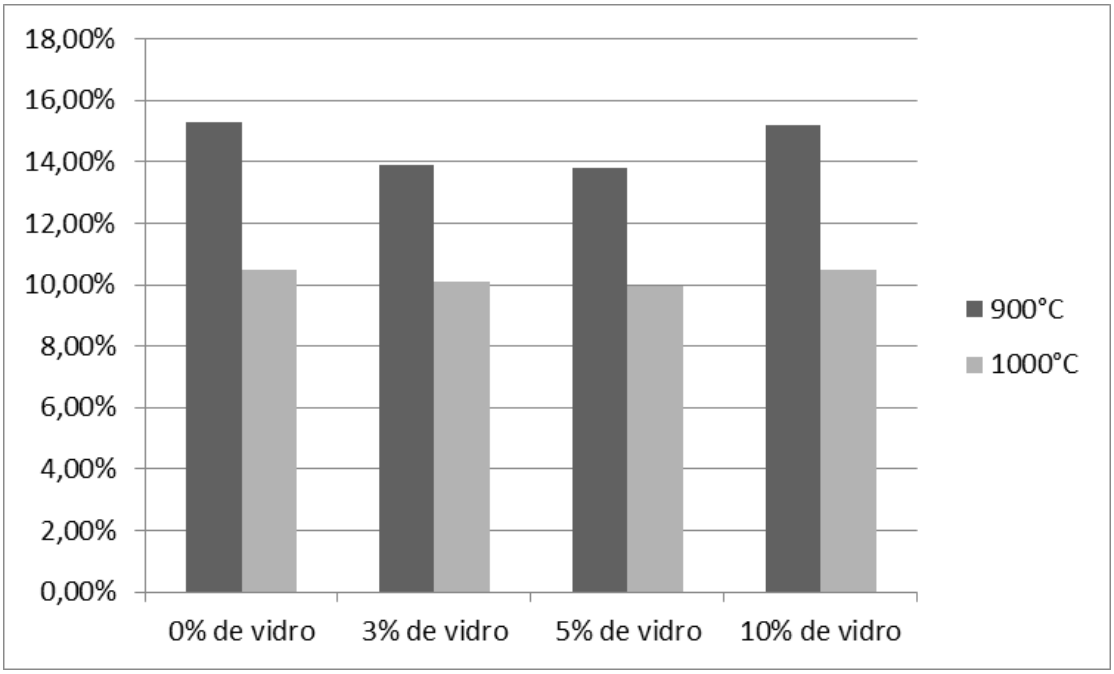
O aumento da temperatura resultou emu ma maior redução da porosidade aparente, em coração ao uso de 0% e 10% do material, na temperatura mais baixa a redução tinha sido de apenas 0,20%, no entanto, na temperatura seguinte essa redução se ampliou para 22%.

Todas as formulações apresentaram um número elevado na porcentagem de poros, mas é possível observar que a presença do vidro em maiores quantidade ajudou na redução desse número, assim, consequentemente uma menor absorção de água nas mesmas.

Com a redução da porosidade e, conseqüente aumento da densidade da peça, a absorção de água reduziu. (TAGUCHI, S. P. et al.,2014).

4.4 Absorção de água

Figura 7- Gráfico de absorção média de água dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 900°C e 1000°C.



Fonte: Autor (2024).

O teste de absorção de água determina o melhor clima no qual o tipo cerâmico irá desenvolver melhores resultados e consequentemente o e uso recomendado para os mesmos, sendo considerado um dos testes mais importantes. Conforme a tabela 1, de absorção de água da ABNT, para telhas, as formulações cerâmicas na temperatura de 900°C são recomendadas para climas temperados ou tropical, tendo como exemplo o clima do Brasil, enquanto as formulações na temperatura de 1000°C, que apresentaram uma menor absorção de água em comparação a temperatura inferior, são indicadas para climas frios e temperados.

5. Conclusões

Conforme os dados apresentados ao longo do presente trabalho conclui-se que a adição do resíduo de vidro é uma alternativa viável para a indústria cerâmica, ambiental, econômica e qualitativamente, auxiliando sobretudo na redução da perda média ao fogo porosidade aparente das peças cerâmicas, principalmente na temperatura de 1000°C. Baseando-se no teste de absorção de água comprovou as formulações cerâmicas na temperatura de 900°C são recomendadas para climas temperados ou tropical, enquanto as formulações na temperatura de 1000°C, são indicadas para climas frios e temperados.

Visando produções futuras, tem-se como objetivo desenvolver a utilização do resíduo de vidro temperado em outras temperaturas e analisar a incorporação específica do vidro proveniente de placas fotovoltaicas.



6. Referências bibliográfica

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15310: **Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13006: **Placas cerâmicas - Definições, classificação, características e marcação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BASTOS, Pietra. Reciclagem de embalagens de vidro reduz a emissão de CO2, diz CEO da Massfix. 2023. Disponível em: **ESG Insights.** Acesso em: 10/09/2024.

GURGEL, J.F.S.; XAVIER, S.C.R.; AMARAL, I.B.C.; ARAÚJO, A.D. et al; Coprocessamento de rejeito do Garimpo Areinha (Diamantina/MG) para produção de cerâmica vermelha. : Revista Matéria, 2020.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, p. 303-313, 2002

TAGUCHI, S. P. et al. Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. **Cerâmica**, v. 60, p. 291-296, 2014.