



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

CLEICIELE MARTINS ALVES

**VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE PORCELANATO COMO
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS**

**PALMAS - TO
2025**

CLEICIELE MARTINS ALVES

**VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE PORCELANATO COMO
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil
do Instituto Federal do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientador: Prof. Me. Evandro Schmitt

PALMAS - TO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

A474v Alves, Cleiciele Martins
 VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE PORCELANATO
 COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO EM
 CONCRETOS / Cleiciele Martins Alves. – Palmas, TO, 2025.
 63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Me. Evandro Schmitt

1. Resíduos de Porcelanato. 2. Sustentabilidade. 3. Propriedades
mecânicas. I. Schmitt, Evandro. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

CLEICIELE MARTINS ALVES

VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE PORCELANATO COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 12 / 12 / 2025

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **EVANDRO SCHMITT**
Data: 24/12/2025 16:23:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Evandro Schmitt
Orientador
IFTO

Documento assinado digitalmente
 **LILIANE FLÁVIA GUIMARAES DA SILVA**
Data: 26/12/2025 12:22:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva
IFTO

Documento assinado digitalmente
 **KARLA CRISTINA BENTES MOREIRA**
Data: 24/12/2025 19:31:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Karla Cristina Bentes Moreira
IFTO

RESUMO

A crescente geração de resíduos da construção civil e a intensa exploração de agregados naturais têm impulsionado o desenvolvimento de alternativas sustentáveis para a produção de concreto. Nesse contexto, o porcelanato destaca-se como um resíduo cerâmico de elevado potencial para reutilização, devido à sua resistência mecânica e baixa absorção de água. Assim, este estudo avaliou o comportamento físico e mecânico de concretos produzidos com substituição parcial da brita por resíduo de porcelanato nos teores de 0%, 10%, 20% e 30%. A metodologia envolveu caracterização granulométrica do resíduo, produção dos concretos com traço 1:2:3 e relação água/cimento de 0,53, além da execução de ensaios de abatimento, resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção de água, conforme normas da ABNT. Os resultados indicaram que a incorporação do resíduo proporcionou aumento do abatimento em comparação ao traço de referência, devido à baixa permeabilidade do porcelanato, embora nenhum traço tenha atendido ao valor normativo mínimo de trabalhabilidade para concretos estruturais. No estado endurecido, os teores de 10% e 20% apresentaram os melhores desempenhos mecânicos, atingindo 20,06 MPa e 20,99 MPa na resistência à compressão aos 28 dias, valores superiores ao do concreto convencional (18,6 MPa). Na resistência à tração por compressão diametral, o teor de 10% destacou-se com 3,14 MPa, sendo o único a superar o valor estimado para concretos da classe C20, enquanto os teores de 20% e 30% apresentaram reduções nessa propriedade. O ensaio de absorção revelou decréscimo progressivo da absorção de água com o aumento do teor de porcelanato, alcançando o menor valor no traço de 30% (0,27%), representando uma redução superior a 67% em relação ao concreto de referência (0,82%). Diante desses resultados, conclui-se que o resíduo de porcelanato apresenta viabilidade técnica para utilização como substituto parcial do agregado graúdo, especialmente nos teores de 10% e 20%, que demonstraram melhor equilíbrio entre propriedades físicas e mecânicas e desempenho superior ou equivalente ao concreto convencional. Além disso, a incorporação do resíduo contribui para a redução dos impactos ambientais associados à extração de agregados naturais e ao descarte inadequado de resíduos cerâmicos, reforçando a importância de soluções construtivas sustentáveis.

Palavras-chave: Resíduo de porcelanato. Sustentabilidade. Substituição de agregado graúdo. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The increasing generation of construction waste and the intense exploitation of natural aggregates have driven the development of sustainable alternatives for concrete production. In this context, porcelain tile stands out as a ceramic waste with high potential for reuse, due to its mechanical resistance and low water absorption. Thus, this study evaluated the physical and mechanical behavior of concretes produced with partial replacement of crushed stone by porcelain tile waste at levels of 0%, 10%, 20%, and 30%. The methodology involved granulometric characterization of the waste, production of concretes with a 1:2:3 mix and a water/cement ratio of 0.53, in addition to performing slump, compressive strength, tensile strength by diametral compression, and water absorption tests, according to ABNT standards. The results indicated that the incorporation of the waste provided an increase in slump compared to the reference mix, due to the low permeability of the porcelain tile, although no mix met the minimum normative workability value for structural concretes. In the hardened state, the 10% and 20% contents showed the best mechanical performance, reaching 20.06 MPa and 20.99 MPa in compressive strength at 28 days, values higher than that of conventional concrete (18.6 MPa). In tensile strength by diametral compression, the 10% content stood out with 3.14 MPa, being the only one to exceed the estimated value for C20 class concretes, while the 20% and 30% contents showed reductions in this property. The absorption test revealed a progressive decrease in water absorption with increasing porcelain content, reaching the lowest value in the 30% mix (0.27%), representing a reduction of more than 67% compared to the reference concrete (0.82%). Based on these results, it can be concluded that porcelain tile waste presents technical viability for use as a partial substitute for coarse aggregate, especially at levels of 10% and 20%, which demonstrated a better balance between physical and mechanical properties and performance superior to or equivalent to conventional concrete. Furthermore, the incorporation of this waste contributes to reducing the environmental impacts associated with the extraction of natural aggregates and the improper disposal of ceramic waste, reinforcing the importance of sustainable construction solutions.

Keywords: Porcelain tile waste. Sustainability. Coarse aggregate replacement. Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organograma da metodologia.....	23
Figura 2 - Porcelanatos recolhidos para a pesquisa.....	24
Figura 3 - Remoção do esmalte (a), fragmentação manual (b) e trituração mecânica (c).....	25
Figura 4 - Fração retida na peneira de 37,5 mm (a), fração retida na peneira 19 mm (b) e frações retidas na peneira de 9,5 mm e 4,75 mm (c)	25
Figura 5 - Corpos de prova no tanque de água.....	29
Figura 6 - Slump Test.....	30
Figura 7 - Ensaio de resistência à compressão	30
Figura 8 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Materiais e respectivas quantidades para cada traço de concreto.....	27
Tabela 2 - Quantidade de corpos de prova para cada teor de substituição.	28
Tabela 3 - Comparativo de granulometria do agregado referência e o de substituição.....	32
Tabela 4 - Absorção de água por imersão (%)	38

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Propriedades físicas do porcelanato.....	24
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valor do ensaio de trabalhabilidade	33
Gráfico 2 - Resistência à compressão axial	35
Gráfico 3 - Resistência à tração por compressão diametral.....	37
Gráfico 4 – Comparativo dos resultados de 28 dias	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema de pesquisa.....	13
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 A Construção Civil e a Geração de Resíduos.....	15
2.2 Materiais Cerâmicos e o Porcelanato	16
2.3 Componentes do concreto	17
2.3.1 Cimento	18
2.3.2 Agregado miúdo	19
2.3.3 Agregado graúdo	19
2.4 Propriedades do concreto no estado fresco e endurecido	20
2.4.1 Trabalhabilidade	20
2.4.2 Resistência à compressão	20
2.4.3 Tração por compressão diametral.....	21
2.4.4 Absorção de água.....	21
2.5 Aplicação de Resíduos de Porcelanato no Concreto	21
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
3.1 Caracterização dos materiais.	23
3.1.1 Cimento	26
3.1.2 Agregados.....	26
3.2 Execução do corpo de prova	26
3.2.1 Moldagem.....	27
3.2.2 Cura úmida	28
3.3 Ensaaios	29
3.3.1 Trabalhabilidade	29
3.3.2 Resistência à compressão	30
3.3.3 Tração por compressão.....	31
3.3.4 Absorção de água.....	31
3.4 Análise dos resultados	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Caracterização dos materiais.	32
4.2 Trabalhabilidade	33
4.3 Resistência à compressão	34
4.4 Resistência à tração por compressão diametral.....	36
4.5 Absorção de água por imersão	38

4.6 Análise comparativa dos resultados.....	39
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
5.1 Recomendações para trabalhos futuros	41
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 0% DE SUBSTITUIÇÃO	47
APÊNDICE B – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 0% DE SUBSTITUIÇÃO	48
APÊNDICE C – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 0% DE SUBSTITUIÇÃO	49
APÊNDICE D – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 0% DE SUBSTITUIÇÃO	50
APÊNDICE E – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 10% DE SUBSTITUIÇÃO	51
APÊNDICE F – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 10% DE SUBSTITUIÇÃO	52
APÊNDICE G – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 10% DE SUBSTITUIÇÃO	53
APÊNDICE H – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 10% DE SUBSTITUIÇÃO	54
APÊNDICE I – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 20% DE SUBSTITUIÇÃO	55
APÊNDICE J – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 20% DE SUBSTITUIÇÃO	56
APÊNDICE K – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 20% DE SUBSTITUIÇÃO	57
APÊNDICE L – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 20% DE SUBSTITUIÇÃO	58
APÊNDICE M – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 30% DE SUBSTITUIÇÃO	59
APÊNDICE N– LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 30% DE SUBSTITUIÇÃO	60
APÊNDICE O – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 30% DE SUBSTITUIÇÃO	61

APÊNDICE P– LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 30% DE SUBSTITUIÇÃO	62
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

A construção civil possui um histórico de elevadas taxas de perdas e desperdícios, resultando em um elevado volume de resíduos. A gestão inadequada desses entulhos tem se tornado um problema crescente, principalmente em razão da falta de locais apropriados para o seu descarte. Como consequência, é comum o descarte irregular em terrenos baldios, margens de rios e vias periféricas, o que contribui para deterioração do meio ambiente, e consequentemente da qualidade de vida. Entre os impactos negativos dessa realidade, estão os transtornos no transporte, ocorrência de enchentes, poluição visual e a proliferação de vetores de doenças (Costa *et al.*, 2017).

Diante disso, observa-se um crescimento na busca por técnicas sustentáveis na construção civil, motivado pela necessidade de preservação ambiental. Esse cenário tem impulsionado pesquisas sobre o aproveitamento de resíduos sólidos, especialmente como alternativa à utilização de agregados naturais, que são recursos não renováveis e já apresentam sinais de escassez em algumas regiões. Paralelamente, o aumento na geração de resíduos sólidos intensifica os impactos ambientais, tornando a reciclagem na construção civil uma opção viável para a substituição parcial de agregados na produção de concreto (Fonseca, 2006).

De acordo com a NBR 15116 (ABNT, 2021), os resíduos provenientes da construção e demolição que passam por beneficiamento podem ser transformados em agregado total reciclado, constituído por frações gráudas e miúdas capazes de atender aos requisitos granulométricos necessários para aplicação em concretos e argamassas. Esses materiais, quando submetidos a processos adequados de britagem, peneiramento e limpeza, podem substituir parcial ou totalmente os agregados naturais, desde que cumpram os critérios de qualidade e desempenho estabelecidos na norma

A utilização de resíduos de porcelanato como agregado na confecção do concreto, (através da preparação granulométrica adequada), desponta como alternativa eficiente tanto para reduzir a extração de recursos naturais, como para diminuir o descarte de materiais sólidos no meio ambiente. Ademais, o revestimento cerâmico pode contribuir positivamente para as propriedades do concreto convencionalmente, já que eles apresentam características físicas relevantes de resistência à flexão, a abrasão superficial, alta resistência mecânica, entre outros (Teixeira *et al.*, 2016).

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas e energia, além de ser um dos principais geradores de resíduos em todo o espaço comunitário.

Nesse contexto, a busca por alternativas, como o reaproveitamento de entulhos cerâmicos, é fundamental para diminuir a extração de agregados naturais, o que contribui tanto para a redução dos impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado quanto para a potencial melhoria das características do concreto (Mália; Brito; Bravo, 2011).

1.1 Problema de pesquisa

O cenário atual da construção civil envolve desafios significativos relacionados ao elevado consumo de recursos naturais e à geração crescente de resíduos sólidos. A extração intensiva de agregados naturais, especialmente brita e areia, já demonstra sinais de esgotamento em algumas regiões, ao mesmo tempo em que o descarte inadequado de resíduos, entre eles os provenientes de porcelanato, agrava problemas ambientais, como contaminação do solo, degradação paisagística e ocupação irregular de áreas urbanas. Esse contexto evidencia a necessidade de alternativas que reduzam a pressão sobre os recursos naturais e promovam o reaproveitamento de materiais.

Entre os resíduos gerados pelo setor cerâmico, o porcelanato destaca-se pelo grande volume de descarte e pelas características técnicas relevantes, como elevada resistência mecânica e baixíssima absorção de água. Pesquisas anteriores, como as de Teixeira et al. (2016), Rama (2016) e Queiroz (2021), já demonstraram que resíduos cerâmicos apresentam potencial para substituir parcial ou totalmente agregados convencionais, embora os resultados variem conforme o teor de substituição, o tipo de resíduo e o preparo do material. Esses estudos reforçam que o uso de resíduos cerâmicos pode contribuir para reduzir o consumo de agregados naturais e, simultaneamente, dar um destino adequado a materiais que seriam descartados.

Diante desse panorama, este estudo investiga a possibilidade de incorporação do resíduo de porcelanato descartado na construção civil ao concreto, como substituição parcial do agregado graúdo, avaliando seus efeitos no desempenho físico e mecânico do material. Nesse contexto, a questão que orienta a pesquisa é: o resíduo de porcelanato gerado na construção civil pode ser empregado como substituição parcial do agregado graúdo na produção de concreto, mantendo níveis satisfatórios de desempenho físico e mecânico?

1.2 Justificativa

A construção civil é reconhecida como uma das atividades que mais gera resíduos sólidos no mundo. Estima-se que mais de 50% desses resíduos sejam provenientes de obras,

reformas e demolições, sendo que grande parte é descartada de forma inadequada, o que contribui significativamente para o agravamento dos impactos ambientais (Nascimento; Morais; Lopes, 2022).

Nesse contexto, a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002 (Brasil, 2002), define os resíduos da construção civil como aqueles oriundos de obras, reformas, escavações e demolições, incluindo materiais como tijolos, concreto, madeira, metais, gesso e plásticos, popularmente conhecidos como entulho, calça ou metralha. Esses resíduos, conforme destacam Oliveira et al. (2020), estão entre os principais responsáveis pela geração de lixo no mundo, configurando um problema ambiental de grande proporção, especialmente quando não são devidamente gerenciados.

Diante desse cenário, a gestão adequada dos resíduos torna-se uma etapa fundamental no planejamento das obras, abrangendo ações de coleta, armazenamento, transporte e destinação final apropriada, com o objetivo de preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente.

Paralelamente, o Brasil se destaca no setor mundial de produção de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição em produção e consumo desse material. Entretanto, essa expressiva atividade industrial resulta também na geração de grandes volumes de resíduos, seja por falhas no processo produtivo, durante o transporte ou em decorrência das atividades de construção e reformas (Teixeira et al., 2016).

Segundo Teixeira et al. (2016), a ampliação da indústria da construção civil tem impulsionado o uso intensivo do concreto, o que acarreta elevado consumo de agregados naturais. Nesse sentido, a utilização do resíduo de porcelanato na produção de concreto, em proporções adequadas, surge como uma alternativa para reduzir a exploração desses recursos e, simultaneamente, minimizar o descarte inadequado de resíduos no meio ambiente.

Além disso, a reciclagem desses resíduos possibilita a otimização de materiais, transformando-os em subprodutos com potencial de reaproveitamento e disponibilidade no mercado a preços competitivos. Essa prática sustentável contribui de forma significativa para a mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte irregular e à intensa exploração dos recursos naturais (Cardoso, 2011).

Dessa forma, a utilização de resíduos de porcelanato como substituto parcial do agregado gráudo na produção de concreto configura-se como uma alternativa sustentável, ao promover o reaproveitamento de materiais que seriam descartados e incentivar práticas construtivas mais conscientes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento mecânico, físico e a viabilidade técnica de concretos produzidos com substituição parcial do agregado graúdo por resíduos de porcelanato nas proporções de 0%, 10%, 20% e 30% em massa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as propriedades físicas e mineralógicas dos resíduos de porcelanato como agregado graúdo alternativo, comparando-os com agregados convencionais quanto à sua granulometria;
- Avaliar a consistência e o desempenho mecânico dos concretos produzidos, por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone no estado fresco e, no estado endurecido, realizar os ensaios de resistência à compressão e de tração por compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias, além do ensaio de absorção de água realizado somente aos 28 dias;
- Aplicar análise comparativa dos resultados obtidos, estabelecendo correlações significativas entre os teores de substituição e as propriedades do concreto, determinando o percentual ótimo de substituição para aplicações estruturais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Construção Civil e a Geração de Resíduos

A construção civil é reconhecida como um dos setores mais relevante para o desenvolvimento econômico e social de um país. Entretanto, é apontada como uma das maiores responsáveis pela degradação ambiental, seja pelo alto consumo de recursos naturais, modificação da paisagem ou pela grande produção de resíduos sólidos (Rodrigues, 2010). Os resíduos decorrentes da atividade de construção, popularmente conhecidos como entulho ou metralha, são gerados em todas as etapas do processo construtivo, desde a preparação do terreno até a demolição do edifício (Oliveira et al., 2020).

De acordo a Norma Brasileira NBR 15115 (ABNT, 2004), os resíduos de construção civil incluem materiais resultantes de obras, reformas, reparos, demolições e escavações, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solos, entre outros. A Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002 (Brasil, 2002), classifica o entulho em quatro classes: Classe A - resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados; Classe B - recicláveis para outras finalidades, como papel, plásticos, metais e vidros; Classe C - sem tecnologia viável de reciclagem, como gesso e Classe D - perigosos ou contaminados, como tintas, solventes e resíduos de instalações industriais ou clínicas.

A disposição inadequada do resíduo acarreta diversos problemas ambientais e urbanos. Pinto (1999), afirma que a geração desse material e sua destinação final, quando feita de forma inadequada, podem resultar em impactos ambientais negativos, como: obstrução de vias, comprometimento da qualidade do ambiente e da paisagem local, além dos custos com limpeza, entre outros.

Os problemas ambientais ocasionados por esses entulhos têm se intensificado devido ao crescimento acelerado das cidades brasileiras nas últimas décadas. Esses materiais decorrentes de obras e reformas chegam a representar, em massa, o dobro da quantidade de resíduos domiciliares gerados. Entre os principais fatores que contribuem para esse volume estão a realização de mudanças, ampliações e demolições, bem como falhas nos projetos e nos processos executivos, que levam ao desperdício de materiais. Esse desperdício está frequentemente relacionado a técnicas artesanais, ajustes dimensionais improvisados nos canteiros e à ausência de detalhamento técnico nos projetos (Pinto e Gonzalez, 2005).

Oliveira e Farias (2022) destacam que a degradação ambiental provocada pela construção civil vai além da geração de resíduos. O setor também é responsável pela destruição de áreas verdes para abertura de novos espaços urbanos, consumo excessivo de água, e pela extração de recursos naturais como areia, brita, cascalho e argila, cujas práticas de mineração geram significativos impactos ao meio ambiente. A produção de materiais de construção e o uso desmedido desses recursos tornam o setor um dos mais poluentes do planeta, o que evidencia a urgência da adoção de práticas mais sustentáveis e de políticas públicas que promovam o uso racional de recursos e a correta gestão dos resíduos gerados.

2.2 Materiais Cerâmicos e o Porcelanato

A produção de cerâmica é uma atividade antiga que consiste na criação de artefatos a partir da argila, material que apresenta alta plasticidade quando umedecido, facilitando seu

molde. Logo após a modelagem, o material é submetido à secagem e, em seguida, à queima em temperaturas que podem chegar até 1.000 °C. Esse processo confere rigidez e resistência às peças por meio da fusão de determinados componentes da massa e, em alguns casos, promove a fixação de esmaltes na superfície (ANFACER, 2025).

Entre os diversos produtos cerâmicos, destacam-se os materiais de revestimento, como azulejos, pisos e porcelanatos. Tais materiais apresentam características específicas, como resistência à abrasão superficial, alta resistência mecânica e à flexão (Teixeira *et al.*, 2016).

O porcelanato, especificamente, é composto por uma mistura de argilas, feldspatos, areias feldspáticas, podendo incluir caulins, filitos e aditivos. Seu principal diferencial é a baixíssima absorção de água, inferior a 0,5 %, devido à sua porosidade quase nula. Essa propriedade técnica permite ao porcelanato dominar o mercado de revestimentos, mas também gera uma significativa quantidade de rejeitos industriais, ainda sem destinação adequada. (Teixeira *et al.*, 2016).

A fabricação do porcelanato ocorre por meio das seguintes etapas: dosagem, moagem, atomização, prensagem, secagem, queima e polimento. Cada fase é essencial para garantir baixa porosidade e alta resistência do material, além de conferir estética superior, o que justifica seu amplo uso em ambientes internos e externos (Souza, 2007).

Enquanto a cerâmica comum emprega de dois a quatro tipos de argila, o porcelanato utiliza entre sete e dez. Esse maior número de matérias-primas resulta em um produto mais homogêneo e resistente. As matérias-primas são levadas aos moinhos, onde, com adição de água, são reduzidas a partículas finas, formando a chamada barbotina. Essa pasta é encaminhada ao atomizador, que elimina a umidade e gera o chamado pó atomizado, com grânulos uniformes (Architrends Portobello, 2022).

O Brasil é um dos protagonistas do setor mundial de revestimento cerâmico, com 93 empresas atuantes, ocupando a segunda posição em produção e consumo. Essa posição gera impactos positivos na geração de emprego e oferta de produtos acessíveis, mas também contribui para o aumento de resíduos provenientes de perdas no processo produtivo ou descartes incorretos (Teixeira *et al.*, 2016).

2.3 Componentes do concreto

O concreto de Cimento Portland deve conter cimento, água e agregados, além da possibilidade de contar com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, cujos empregos tornam-se cada vez mais frequentes nos concretos atuais. A proporção entre os

diversos constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para atender simultaneamente às propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o concreto, além das características de trabalhabilidade necessárias para o transporte, lançamento e adensamento, condições estas que variam caso a caso (Helene e Andrade, 2010).

O concreto comum contém cerca de 12% de cimento, 8% de água de amassamento e 80% de agregados por massa. Considerando o consumo anual de aproximadamente 1,5 bilhão de toneladas de cimento, a indústria do concreto utiliza cerca de 9 bilhões de toneladas de areia e rocha e 1 bilhão de toneladas de água de amassamento por ano. Essa cadeia produtiva, que movimenta cerca de 11,5 bilhões de toneladas anuais, é considerada a maior consumidora de recursos naturais do planeta. As projeções indicam que a demanda por concreto poderá atingir de 16 a 18 bilhões de toneladas por ano até 2050, intensificando a pressão sobre os recursos naturais e ampliando os impactos ambientais associados à extração, ao processamento e ao transporte desses materiais (Mehta e Monteiro, 1994).

Do ponto de vista técnico, o concreto possui como principais características a alta resistência à compressão e a durabilidade, qualidades que dependem fortemente da proporção entre água e cimento, bem como da qualidade e resistência dos agregados empregados. Além disso, o desempenho do concreto pode ser influenciado por fatores diversos que se estendem desde a dosagem até as condições de uso na obra (Teixeira *et al.*, 2016).

2.3.1 Cimento

O cimento Portland é um pó fino, composto basicamente de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio, que tem a capacidade de reagir quando em contato com água e endurecer, obtendo uma certa resistência, e mesmo que sejam submetidos novamente à ação da água não se decompõem mais (Rodrigues, 2010).

De acordo com Neville (2016), o processo de fabricação do cimento envolve, inicialmente, a trituração da matéria-prima e a sua mistura em proporções específicas. Em seguida essa combinação é levada em grandes fornos rotativos, com temperaturas que podem atingir 1.400°C, resultando no clínquer, que consiste em esferas parcialmente fundidas. Logo após, o clínquer passa por um processo de resfriamento e recebe a adição de um pequeno teor de sulfato de cálcio e são moídos até se transformarem em pó, originando o cimento, utilizado em todo mundo em obras e reformas.

Por fim, no concreto, o cimento tem a função de unir os agregados, tanto o gráudo quanto miúdo, por meio de uma pasta mais ou menos fluida, dependendo do percentual de água

adicionado na mistura. Nas primeiras horas, a pasta envolve os agregados e apresenta uma característica moldável, mas com o tempo, a mistura endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição. (Helene; Andrade, 2010).

2.3.2 Agregado miúdo

Define-se, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022), agregado miúdo como a areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira de malha 4,8 mm e ficam retidos na peneira 0,075 mm.

O agregado miúdo ao ser misturado com a pasta de cimento, forma a argamassa, responsável pelo preenchimento de vazios entre os agregados graúdos, as armaduras e o espaço vazio ocorrente nas fôrmas de vigas, pilares e demais elementos construtivos. Portanto, a argamassa é responsável por atribuir ao concreto coesão, rigidez e resistência, preparando-o para as cargas dimensionadas (Almeida, 2002 *apud* Sartorti *et al.*, 2019, p. 84).

A forma e a textura dos agregados miúdos têm um efeito significativo na demanda de água da mistura produzida com um determinado agregado, as areias mais finas necessitam de mais água para obter determinada consistência. O excesso de agregado miúdo no concreto reduz a trabalhabilidade e a resistência, pois dificulta o adensamento e a compactação da mistura, principalmente quando combinado com baixos teores de água. (Neville, 2016)

2.3.3 Agregado graúdo

De acordo com Rama (2016), o agregado graúdo é definido como pedregulho ou brita decorrente de rochas instáveis ou mistura desse material, cujos grãos passam por uma peneira com abertura nominal de 15,2 mm e ficam retidos na peneira 4,8 mm.

É importante ressaltar que a resistência exigida para o agregado graúdo é consideravelmente maior do que as resistências normalmente esperadas do concreto. Isso se deve ao fato de que as tensões reais na interface das partículas isoladas no interior do concreto podem ser muito maiores do que a tensão de compressão nominal aplicada (Neville, 2016).

Outrossim, a forma e a textura superficial do agregado graúdo exercem influência direta nas propriedades do concreto, como na trabalhabilidade, na resistência à tração e na aderência com a pasta de cimento endurecida. Partículas que apresentam formato arredondados resultam

em melhor trabalhabilidade, enquanto partículas angulosas e de textura áspera proporcionam maior resistência por apresentarem melhor aderência (Neville, 2016).

2.4 Propriedades do concreto no estado fresco e endurecido

2.4.1 Trabalhabilidade

Neville (2016) afirma que a trabalhabilidade pode ser compreendida como a quantidade de energia interna necessária para produzir o adensamento completo do concreto, sem perda significativa de homogeneidade. Entre os fatores que exercem influência direta sobre essa propriedade destaca-se o teor de água na mistura, visto que, quanto maior a quantidade de água, maior será a facilidade de manipulação e acomodação do concreto.

A trabalhabilidade também pode ser afetada pela incorporação de finos e outras adições minerais na massa, uma vez que sua alta área superficial e a forma dos grãos podem interferir na redução da quantidade de água e na dificuldade de deslizamento das amostras no ensaio de Abatimento do Tronco de Cone, ou *Slump Test*¹, ensaio que mede a consistência do concreto e constitui a principal referência para a estimativa da trabalhabilidade (Almeida, 2017). Helene e Andrade (2010) ressaltam que fatores externos também influenciam, como as condições de transporte, lançamento, características da fôrma, esbeltez dos elementos estruturais, densidade e distribuição das armaduras, dentre outros.

2.4.2 Resistência à compressão

A resistência ao esforço de compressão é a capacidade do concreto suportar as cargas que atuam no sentido de comprimi-lo, sem que ocorra sua ruptura. Essa característica é essencial para garantir a usabilidade do material, sendo medida através de ensaio de compressão axial, que mede a carga máxima suportada de um corpo de prova (E-civil, 2025).

Souza (2007) afirma que quanto maior o fator água/cimento em massa, maior será a porosidade da pasta formada e, portanto, menor será a sua resistência.

¹ Ensaio que mede a consistência do concreto e constitui a principal referência para a estimativa da trabalhabilidade.

2.4.3 Tração por compressão diametral

O conhecimento da resistência à tração do concreto permite estimar a carga para a qual ocorre a fissuração, prevendo a durabilidade da estrutura. Ademais, essa resistência está diretamente relacionada a outras propriedades importantes, como a aderência entre o concreto e as armaduras, bem como a capacidade do concreto em resistir a esforços de cisalhamento, torção, retração e variações de temperatura (Farias *et al.*, 2018).

Além disso, Bastos (2006) ressalta que o concreto é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, porém, apresenta apenas o equivalente a 10% da resistência à tração, comparando com esforço de comprimir.

2.4.4 Absorção de água

A absorção de água é um dos principais parâmetros utilizados para avaliar as características físico-microestruturais do concreto, pois está diretamente relacionada ao volume de poros presentes na matriz cimentícia. Trata-se da propriedade pela qual o material retém água em seus poros e condutos capilares, refletindo sua capacidade de armazenamento hídrico (Souza, 2007). Quanto maior a absorção, maior tende a ser a quantidade de vazios comunicantes, indicando uma microestrutura mais permeável e, portanto, mais suscetível à ação de agentes agressivos e à redução da durabilidade.

2.5 Aplicação de Resíduos de Porcelanato no Concreto

Considerando os desafios ambientais, a substituição de agregados naturais por materiais reciclados provenientes de resíduos da construção civil tem se mostrado uma alternativa viável, especialmente em regiões onde os agregados naturais são escassos. Entretanto, o principal obstáculo reside no custo de preparação desses resíduos, como britagem, classificação granulométrica, controle de impurezas e separação de materiais indesejáveis. Ainda assim, quando os custos de disposição do entulho são considerados, essa alternativa pode se tornar economicamente atrativa (Mehta; Monteiro, 1994).

Outrossim, o elevado consumo de concreto está diretamente relacionado ao crescimento contínuo da construção civil, setor em que essa composição se destaca como um dos materiais mais utilizados. A consequência direta desse cenário é o aumento do uso de agregados naturais,

necessários para a produção do concreto, o que reforça a necessidade de avaliar o impacto ambiental e buscar soluções alternativas (Teixeira *et al.*, 2016).

No estudo de Queiroz (2021), foi analisada a utilização de resíduos de porcelanato como substituto parcial do agregado miúdo em diferentes proporções, o que indicou uma diminuição gradativa da resistência à compressão do concreto conforme o aumento de substituição. Porém, observou-se que o tempo de cura teve influência significativa no ganho de resistência, evidenciando que, quanto maior o período de cura, maior foi a resistência à compressão obtida.

No entanto, na pesquisa de Teixeira et al (2016), as maiores resistências à compressão foram observadas nos traços com maiores teores de substituição do agregado gráudo por chamote de porcelanato. Ainda assim, o concreto com maior percentual de substituição apresentou uma redução de aproximadamente 10% na resistência em relação ao traço de referência.

Quanto à trabalhabilidade, o autor observou que os traços com maior percentual de porcelanato tiveram seus abatimentos reduzidos, no caso do traço com 50% de substituição. No entanto, nos casos dos percentuais de 12,5% e 25%, o abatimento foi ligeiramente maior que o traço sem alteração do agregado gráudo, levando o autor a considerar que essa diferença pode ter ocorrido devido ao fator água/material secos elevado, o que ocasionou uma fluidez maior a massa (Teixeira et al, 2016).

Segundo Rama (2016), a resistência do concreto com porcelanato, mesmo em substituição parcial do agregado gráudo, tende a ser inferior à do traço base (sem substituição). Isso se deve, em parte, à presença de uma camada protetora no material original, que mesmo após o lixamento pode interferir na aderência da pasta de cimento com os agregados alternativos, além disso, o formato irregular do material após o processo de moagem pode comprometer a compactação e a homogeneidade da mistura.

Com a utilização do porcelanato em concretos, o índice de absorção reduz significativamente, isso se deve ao fato do material apresentar uma baixa capacidade de absorção de água. Contudo, o módulo de elasticidade também é afetado, em casos de substituição total da brita 1 por porcelanato, observou uma diminuição de cerca de 9,8% no módulo de elasticidade, o que gera preocupações quanto a possíveis deformações inesperadas na estrutura, exigindo uma análise cuidadosa em projetos que demandem alta rigidez (Rama, 2016).

Evangelista (2006) afirma que a utilização de resíduos deve ser avaliada com base em suas características físico-químicas específicas, e não meramente por critérios econômicos ou

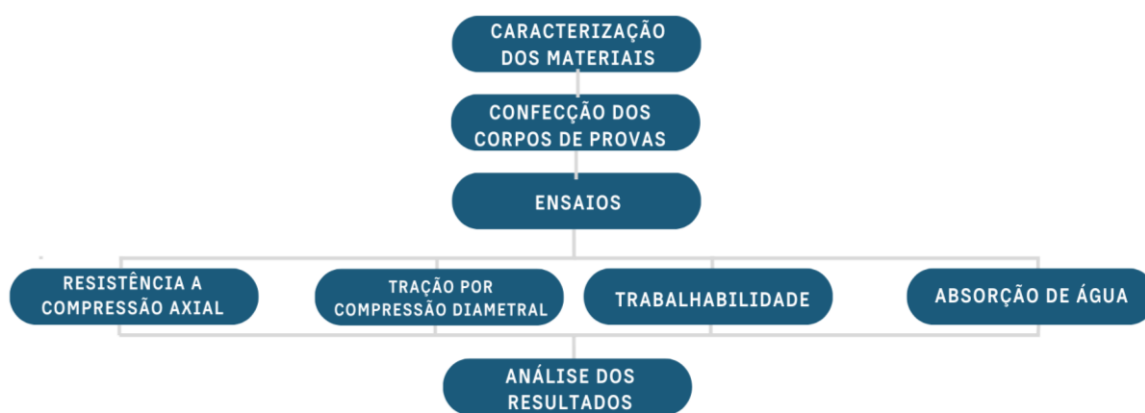
concepções prévias, sendo fundamental que se busque o desenvolvimento de alternativas competitivas e ambientalmente vantajosas

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho apresenta uma abordagem quantitativa, qualitativa e experimental, voltada à produção de concreto com substituição parcial do agregado graúdo convencional por resíduos de porcelanato triturado, nos teores de 0%, 10%, 20% e 30%. As proporções adotadas seguem faixas de substituição investigadas em estudos anteriores sobre o emprego de resíduos cerâmicos como agregados, como o estudo conduzido por Rama (2016), no qual são analisados diferentes níveis de incorporação do material cerâmico ao concreto.

A metodologia empregada nesta pesquisa está representada de forma esquemática na Figura 1, que apresenta, em sequência lógica, as etapas fundamentais do estudo, desde a caracterização dos materiais até a análise estatística dos resultados.

Figura 1– Organograma da metodologia



Fonte: Autor (2025)

3.1 Caracterização dos materiais.

O agregado graúdo substituto (porcelanato) utilizado na produção do concreto foi obtido como material descartado em uma obra da construtora MRV, em Palmas–Tocantins, proveniente de recortes e peças defeituosas que não apresentavam mais possibilidade de uso.

O porcelanato utilizado foi da marca Eliane, fabricado pela Mohawk Revestimentos Cocal do Sul Ltda, sendo comercialmente classificado como Classe A (primeira linha) por atender integralmente aos requisitos dimensionais e estéticos estabelecidos pela indústria

cerâmica. Do ponto de vista técnico, o material se enquadra no Grupo BIa, conforme a NBR ISO 13006 (ABNT, 2020), apresentando absorção de água $\leq 0,5\%$, resistência à flexão ≥ 36 MPa e resistência a manchas Classe 5, de acordo com os ensaios especificados na NBR ISO 10545-13 (ABNT, 2020), conforme ilustrado na Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades físicas do porcelanato

Características	Método de Ensaio	Especificação (ISO 13006)	Resultados
Absorção de Água (%)	ISO 10545-3	$\leq 0,5$	$\leq 0,50$
Carga de Ruptura (N)	ISO 10545-4	≥ 1300	≥ 1400
Módulo de Resistência à Flexão (MPa)	ISO 10545-4	≥ 35	≥ 36
Expansão por Umidade (mm/m)	ISO 10545-10	$\leq 0,6$	$\leq 0,2$
Resistência ao Gretamento (Ciclos)	ISO 10545-11	1	3
Coeficiente de Restituição	ISO 10545-5	$\geq 0,55$	$\geq 0,60$

Fonte: Eliane (2025)

Para a pesquisa foram coletados 50kg de material, todos da mesma marca e classificação, e separados devidamente para que as peças com argamassas no tardo fossem descartadas com a finalidade de não interferir nas características do concreto. Em seguida os materiais foram levados para o laboratório de materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Porcelanatos recolhidos para a pesquisa



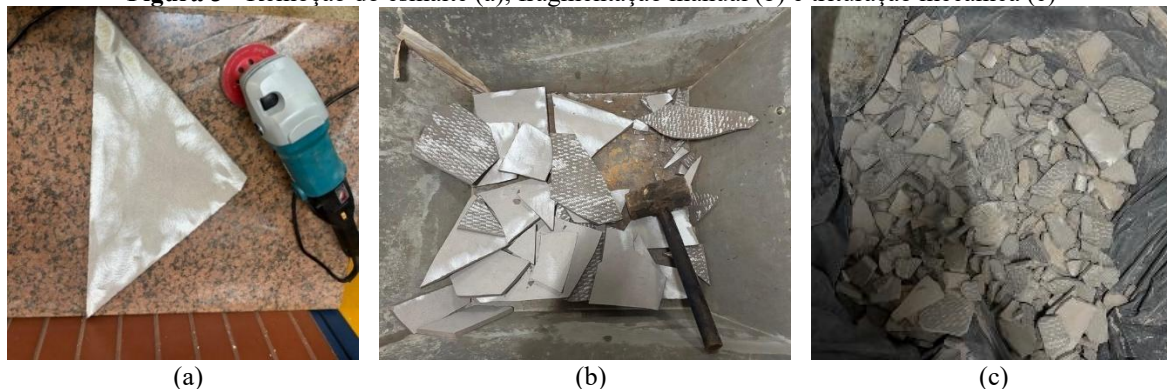
Fonte: Autor (2025)

O porcelanato passou por três etapas de preparação antes de ser utilizado como agregado graúdo substituto no concreto. A primeira etapa consistiu na remoção do esmalte superficial, realizada com uma esmerilhadeira equipada com disco de rebolo, como mostrado na Figura 3(a). Esse procedimento permitiu expor a superfície cerâmica, favorecendo uma melhor interação entre o resíduo e a pasta cimentícia.

Em seguida, as peças foram fragmentadas manualmente com o auxílio de um martelo, reduzindo-as em porções menores para facilitar a trituração, conforme Figura 3(b).

Por fim, o porcelanato já fragmentado foi encaminhado para a trituração mecânica na Máquina de Abrasão Los Angeles utilizada como moinho de bolas, etapa apresentada na Figura 3(c). Esse processo resultou em partículas com granulometria mais uniforme, adequadas ao uso no concreto.

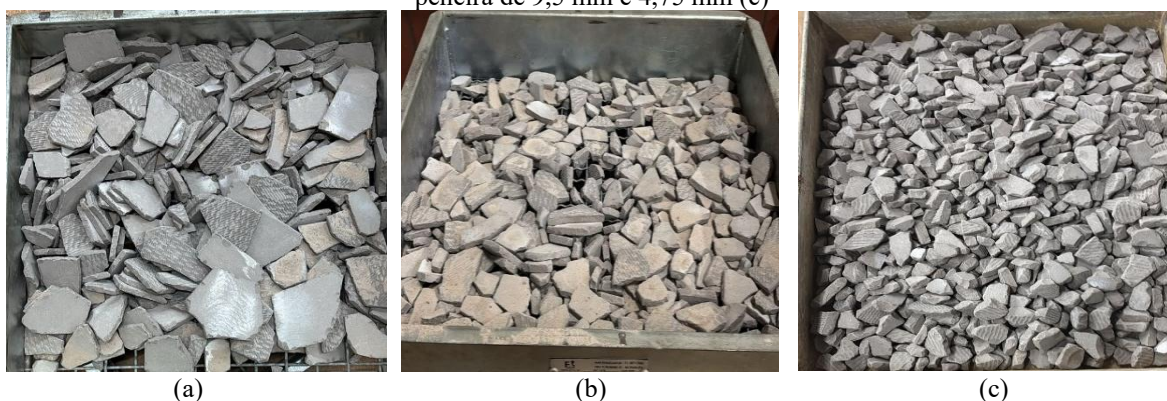
Figura 3 - Remoção do esmalte (a), fragmentação manual (b) e trituração mecânica (c)



Fonte: Autor (2025)

O material foi inicialmente submetido a um ciclo de processamento na máquina com duração de 5 minutos, sendo subsequentemente removido e encaminhado para a etapa de separação granulométrica por peneiramento. As frações retidas nas peneiras de 37,5 mm e 19,0 mm foram coletadas para processamentos secundários independentes. A fração retida na peneira de 37,5 mm foi submetida a um novo ciclo de processamento de 20 minutos para redução do material até que a granulometria final estivesse compreendida entre 9,5 mm e 4,75 mm. Por sua vez, a fração retida na peneira de 19,0 mm foi reintroduzida na máquina para um processamento adicional de 10 minutos, visando alcançar a granulometria desejada, conforme ilustrado nas Figuras 4a, 4b e 4c.

Figura 4 - Fração retida na peneira de 37,5 mm (a), fração retida na peneira 19 mm (b) e frações retidas na peneira de 9,5 mm e 4,75 mm (c)



Fonte: Autor (2025)

Após a moagem do porcelanato, obteve-se o agregado graúdo de material cerâmico que foi utilizado como elemento de substituição na composição do concreto. Posteriormente foi realizado o ensaio de análise de granulometria de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022), onde foi observada a semelhança entre o diâmetro do material reciclado e o da brita 1.

3.1.1 Cimento

O concreto produzido neste trabalho utilizou como aglomerante o cimento Portland composto com escória, do tipo CP II-E. Este cimento é caracterizado pela incorporação de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação, explica a norma NBR 16697 (ABNT, 2018). Sua composição é constituída de 56% a 94% de clínquer com gesso e de 6% a 34% de escória, podendo conter, adicionalmente, até 10% de material carbonático em massa. Devido a essas características, o CP II-E é recomendado para aplicações em estruturas que exijam desprendimento de calor moderadamente lento durante o processo de hidratação (Dutra; Santos; Ruas, 2022).

3.1.2 Agregados

O agregado miúdo utilizado neste estudo foi a areia natural, proveniente do Lago de Palmas. Conforme a NBR 7211 (ABNT, 2022), são considerados agregados miúdos aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e são retidos na peneira de 150 μ m. A caracterização granulométrica desse material foi realizada em conformidade com a norma NBR 16916 (ABNT, 2021).

A brita 1 foi utilizada como agregado graúdo principal para a execução do concreto, disponíveis nas mineradoras da cidade de Palmas-TO. Sua característica granulométrica foi obtida seguindo a norma NBR 17054 (ABNT, 2022).

3.2 Execução do corpo de prova

O traço utilizado para a moldagem do concreto foi executado na proporção de massa de 1:2:3 (cimento:areia:brita), com relação água/cimento de 0,53 e sem utilização de aditivos. Conforme destacado por Sampaio, Souza e Gouveia (2014), esse traço é tradicionalmente empregado na construção civil, pois alia facilidade de execução a um desempenho satisfatório do concreto, atendendo a requisitos de resistência e durabilidade.

O concreto foi produzido com substituição parcial do agregado graúdo por resíduos de porcelanato triturado, nas proporções de 0%, 10%, 20% e 30%. O Tabela 1 mostra a quantidade de cada componente para os traços analisados de acordo com a proporção de substituição.

Tabela 1- Materiais e respectivas quantidades para cada traço de concreto

TRAÇO	SUBSTITUIÇÃO	MATERIAS (KG)				
		CIMENTO	AREIA	BRITA	PORCELANTO	ÁGUA
1	0%	5,00	10,00	15,00	0,00	2,65
2	10%	5,00	10,00	13,50	1,50	2,65
3	20%	5,00	10,00	12,00	3,00	2,65
4	30%	5,00	10,00	10,50	4,50	2,65

Fonte: Autor (2025)

A mistura dos materiais foi realizada em uma betoneira de eixo horizontal com capacidade de 140 litros. A introdução dos materiais ocorreu de forma sequenciada: inicialmente foi adicionado o agregado graúdo, seguido de 80%, equivalente a 2,12 quilogramas de água; posteriormente, foram incorporados o cimento e o agregado miúdo, e, por fim, o restante da água, nos traços com substituição o porcelanato moído foi misturado juntamente com a brita 1. Após os todos os materiais serem inseridos na betoneira, para atingir a homogeneidade ideal o concreto ficou sendo batido por cinco minutos até a massa ser retirada da máquina para a realização do ensaio de abatimento de cone.

3.2.1 Moldagem

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em conformidade com a norma NBR 5738 (ABNT, 2016). Foram utilizados moldes cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. A moldagem foi executada em três camadas, cada uma adensada por 25 golpes aplicados manualmente com o uso de uma haste metálica, conforme os procedimentos estabelecidos pela norma.

A moldagem dos corpos de prova ocorreu para cada percentual de substituição do agregado graúdo, conforme especificado na Tabela 2. Para garantir a uniformidade das condições de ensaio e minimizar interferências externas, os corpos de prova de um mesmo teor de substituição foram moldados com o mesmo traço e no mesmo dia, sendo devidamente identificados com placas de papel. Para cada condição, foram produzidos seis corpos de prova, destinados aos ensaios de resistência à compressão axial (RC), resistência à tração por compressão diametral (RT) e absorção de água (ABS).

Tabela 2 - Quantidade de corpos de prova para cada teor de substituição.

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	IDADE DE CURA (DIAS)	NÚMEROS DE CORPOS DE PROVAS	ENSAIOS
0%	7	2	RC, RT
0%	28	3	RC, RT, ABS
10%	7	2	RC, RT
10%	28	3	RC, RT, ABS
20%	7	2	RC, RT
20%	28	3	RC, RT, ABS
30%	7	2	RC, RT
30%	28	3	RC, RT, ABS

Fonte: Autor (2025)

3.2.2 Cura úmida

Após a moldagem, os corpos de prova foram armazenados em ambiente protegido de intempéries e superfície horizontalmente rígida por um período de 24 horas, conforme estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2016). Posteriormente, foram retirados dos moldes e identificados com pincel permanente e transferidos para os tanques, onde passaram por o processo de cura úmida, em conformidade com a temperatura definida pela norma como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Corpos de prova no tanque de água



Fonte: Autor (2025)

3.3 Ensaios

Os ensaios contemplaram as duas fases do concreto. No estado fresco, avaliou-se a trabalhabilidade. No estado endurecido, foram determinadas as resistências à compressão e à tração aos 7 e 28 dias, enquanto o ensaio de absorção foi realizado exclusivamente aos 28 dias. Todas as análises ocorreram no Laboratório de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas.

3.3.1 Trabalhabilidade

O ensaio de trabalhabilidade do concreto foi realizado conforme a NBR 16889 (ABNT, 2020) imediatamente após a mistura na betoneira, por meio do teste de abatimento do tronco de cone. Inicialmente, o molde foi posicionado sobre uma placa metálica previamente umedecida. O preenchimento ocorreu em três camadas de alturas semelhantes, cada uma adensada com vinte e cinco golpes aplicados pela haste de adensamento. Após o nivelamento da superfície, o molde foi retirado verticalmente, de maneira contínua e sem inclinações.

Para determinar o abatimento, o cone foi colocado invertido ao lado da amostra, permitindo a medição da diferença de altura com o auxílio de uma haste metálica e uma régua, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Slump Test

Fonte: Autor (2025)

3.3.2 Resistência à compressão

Para a realização do ensaio de resistência à compressão axial, os corpos de prova cilíndricos foram retirados da cura úmida com 24 horas de antecedência e submetidos ao processo de retificação, garantindo o adequado assentamento nas placas da máquina de ensaio. Em seguida, cada corpo de prova foi testado individualmente, nas idades de 7 e 28 dias, sob aplicação de carga contínua, até a ocorrência da ruptura no sentido vertical, conforme a Figura 7.

O procedimento foi executado de acordo com os requisitos da NBR 5739 (ABNT, 2018), utilizando-se uma prensa hidráulica normatizada, modelo Universal EMIC, com capacidade de 2000 KN.

Figura 7 - Ensaio de resistência à compressão

Fonte: Autor (2025)

3.3.3 Tração por compressão

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado em conformidade com a norma NBR 7222 (ABNT, 2011). Os corpos de prova cilíndricos foram posicionados na prensa hidráulica no sentido horizontal, como mostra a Figura 8, e avaliados após os períodos de cura úmida de 7 e 28 dias com carga continua até a sua ruptura.

Figura 8 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Autor (2025)

3.3.4 Absorção de água

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado aos 28 dias de idade, seguindo as diretrizes da NBR 9778 (ABNT, 2009). Após o período de cura úmida, os corpos de provas foram submetidos à secagem em estufa por 72 horas, a uma temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, e em seguida, tiveram sua massa determinada (massa seca). Posteriormente, foram imersos em água a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 72 horas, quando suas massas foram novamente aferidas (massa saturada). O cálculo da absorção de água foi realizado subtraindo-se a massa seca da massa saturada, dividindo-se o resultado pela massa seca e multiplicando-se por 100.

3.4 Análise dos resultados

Foi realizada uma análise comparativa com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre o concreto de referência (sem adição de resíduo) e os concretos com diferentes percentuais de substituição do agregado graúdo por resíduos de porcelanato. Essa avaliação foi fundamentada nos resultados dos ensaios experimentais, considerando as

variáveis de desempenho de cada traço. A apresentação dos dados foi realizada por meio de tabelas e gráficos, elaborados com o auxílio do Microsoft Excel, o que facilitou a visualização comparativa dos resultados e a interpretação dos efeitos da substituição nas propriedades do concreto

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos materiais.

Para verificar a viabilidade do uso do porcelanato triturado como agregado graúdo, o material foi submetido ao ensaio de análise granulométrica conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3, na qual é possível comparar a distribuição granulométrica do porcelanato moído com a da brita 1, que foi o agregado graúdo principal utilizado na produção do concreto.

Tabela 3 - Comparativo de granulometria do agregado referência e o de substituição

Peneira (mm)	Brita 1	Porcelanato
75 mm	0,00%	0,00%
37,5 mm	0,00%	0,00%
19 mm	0,00%	0,00%
9,5 mm	93,05%	88,3%
4,75 mm	3,93%	9,66%
Fundo	3,018%	2,04%
Total	100%	100%

Fonte: Autor (2025)

A análise granulométrica comparativa (Quadro 3) confirmou que o porcelanato triturado possui uma distribuição de partículas compatível com a Brita 1, concentrando-se majoritariamente na peneira de 9,5 mm. Contudo, o porcelanato apresentou uma porcentagem maior de partículas na fração mais fina (peneira de 4,75 mm), com 9,66% contra 3,93% da Brita 1. Essa diferença indica que o processo de trituração do resíduo gerou mais finos, o que, por um lado, pode contribuir para um melhor empacotamento da mistura, mas, por outro, pode

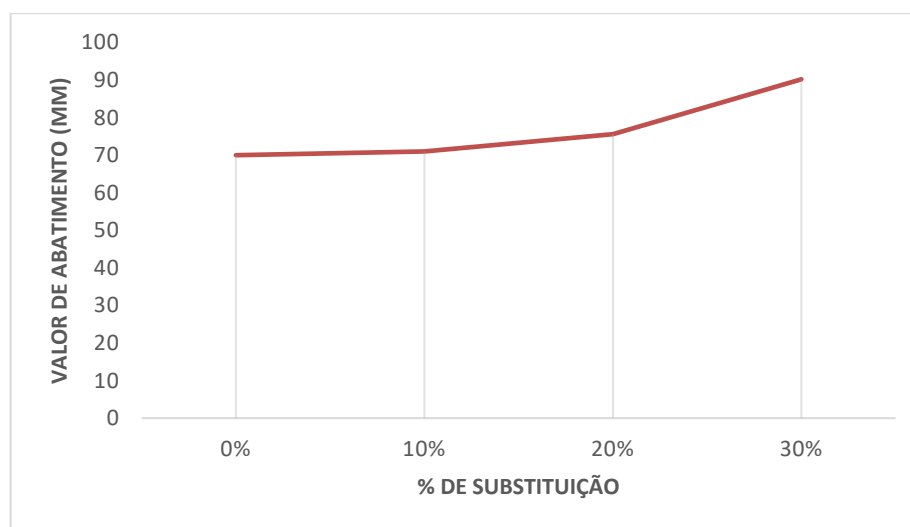
aumentar a área superficial do agregado, exigindo atenção no ajuste da água e aditivos da dosagem.

4.2 Trabalhabilidade

No estado fresco, o concreto foi submetido ao ensaio de abatimento do tronco de cone, procedimento padronizado destinado à avaliação da trabalhabilidade da mistura. A análise dos resultados apresentada no Gráfico 1 evidencia diferenças significativas entre os traços em função do teor de substituição do agregado graúdo por resíduo de porcelanato.

Os resultados demonstram que os traços com 0% e 10% de substituição apresentaram variação mínima, de apenas 1 mm no valor do abatimento, indicando consistências similares. O traço com 20% de substituição registrou incremento de 5,6 mm em relação ao traço de referência, enquanto o traço com 30% apresentou o maior abatimento entre todos, refletindo maior fluidez e favorecendo as etapas de adensamento e moldagem dos corpos de prova.

Gráfico 1 - Valor do ensaio de trabalhabilidade



Fonte: Autor (2025)

Além disso, verificou-se que, conforme aumentou o teor de substituição do agregado graúdo por resíduo de porcelanato, maior foi o valor do abatimento. Esse comportamento é coerente com os resultados apresentados por Roma (2016), cuja pesquisa avaliou substituições de 25%, 50% e 100% de agregado graúdo por resíduos de porcelanato. Segundo o autor, a trabalhabilidade tende a aumentar à medida que maiores porcentagens de resíduos são incorporadas, devido à baixa permeabilidade do porcelanato, que reduz a absorção de água e torna a mistura mais fluida, especialmente quando associada a uma baixa relação água/cimento.

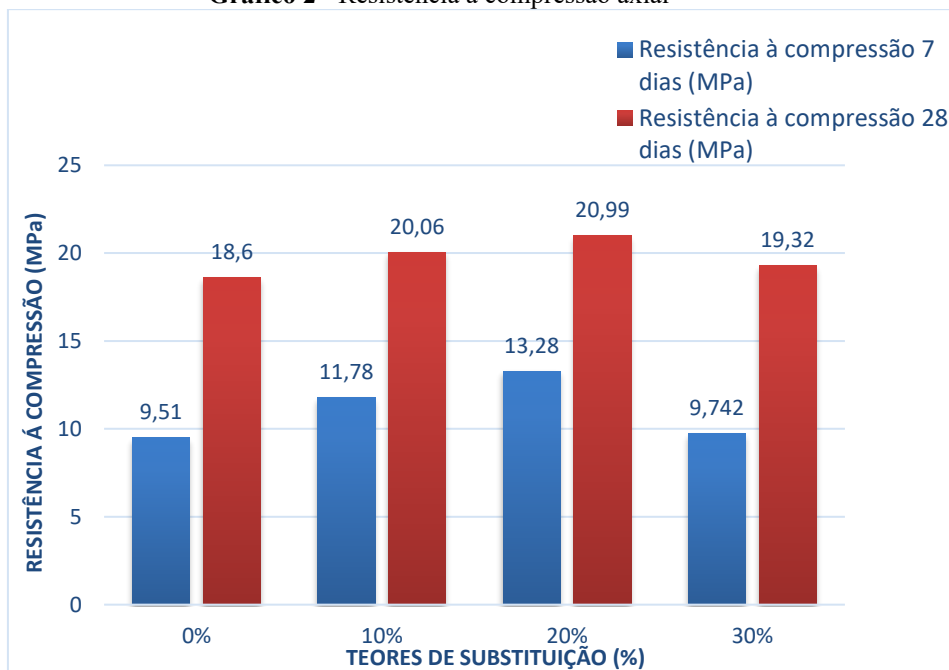
Embora esse aumento de fluidez seja evidente, observou-se que todos os valores obtidos ficaram abaixo da faixa usualmente aplicada a concretos estruturais, que segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015) apresenta, para a classe de consistência plástica normalmente adotada em elementos moldados in loco, abatimentos entre 100 e 160 mm. Dessa forma, apesar da tendência de aumento do abatimento com o acréscimo de resíduo, nenhum dos traços atingiu o nível de consistência recomendado para esse tipo de aplicação, enquadrando-se em uma categoria de menor trabalhabilidade quando comparados aos parâmetros normativos.

A partir dessa interpretação, Roma (2016) destaca ainda que quanto maior a substituição pelo porcelanato moído, menor tende a ser a absorção de água do concreto. Isso indica que a quantidade de água utilizada no traço de referência poderia ser reduzida nos traços contendo porcelanato, minimizando potenciais efeitos sobre a resistência mecânica. Dessa forma, o comportamento observado nos abatimentos está de acordo com estudo do autor, pois o traço com maior nível de substituição apresentou o maior abatimento devido ao menor consumo de água pela mistura.

4.3 Resistência à compressão

Os valores de resistência à compressão obtidos aos 7 e 28 dias para todos os traços encontram-se detalhados nos Apêndices A, B, F, I e J, que reúnem as tabelas completas dos ensaios realizados com a prensa hidráulica. A análise desses dados evidencia variações significativas no desempenho mecânico em função do teor de substituição do agregado graúdo por resíduo de porcelanato.

Constatou-se no Gráfico 2 que o aumento do teor de substituição promoveu, de modo geral, elevação nos valores de resistência à compressão quando comparado ao traço de referência. Os teores de 10% e 20% apresentaram os maiores desempenhos aos 28 dias, alcançando, respectivamente, 20,06 MPa e 20,99 MPa, valores superiores ao do concreto convencional. Já o traço com 30% de substituição, embora tenha apresentado redução em relação aos demais traços com porcelanato, ainda registrou 19,32 MPa aos 28 dias, desempenho estruturalmente aceitável e próximo ao limite mínimo estabelecido pela NBR 8953 (ABNT, 2015), especialmente quando considerado o ganho observado aos 7 dias (9,742 MPa).

Gráfico 2 - Resistência à compressão axial

Fonte: Autor (2025)

A partir da comparação visual dos dados apresentados no Gráfico 2, observa-se que o aumento do teor de substituição por porcelanato, de modo geral, promoveu elevação nos valores de resistência à compressão em relação ao traço de referência. Os teores de 10% e 20% apresentaram os melhores resultados aos 28 dias, superando inclusive o concreto convencional. Em contrapartida, o traço com 30% de porcelanato apresentou redução na resistência em comparação aos demais teores substituídos, configurando o menor valor entre aqueles que utilizaram o resíduo como agregado.

Esse comportamento é compatível com o observado por Queiroz (2021), que avaliou substituições de 10%, 20% e 30% de porcelanato triturado como agregado miúdo. Em sua pesquisa, os traços com 10% e 20% apresentaram resistências próximas às do concreto convencional, enquanto o traço com 30% apresentou os menores valores, reforçando a tendência de queda de desempenho em substituições mais elevadas.

Entretanto, estudo conduzido por Batista (2022), que analisou substituições de 15% e 30% do agregado gráudo natural por resíduos de pisos e revestimentos de porcelanato, apontou comportamento distinto do verificado neste trabalho. Os autores observaram aumento progressivo da resistência à compressão conforme crescia o teor de substituição: o traço com 15% apresentou desempenho semelhante ao concreto convencional, enquanto o traço com 30% registrou acréscimo aproximado de 3 MPa em relação ao de referência. Esses resultados

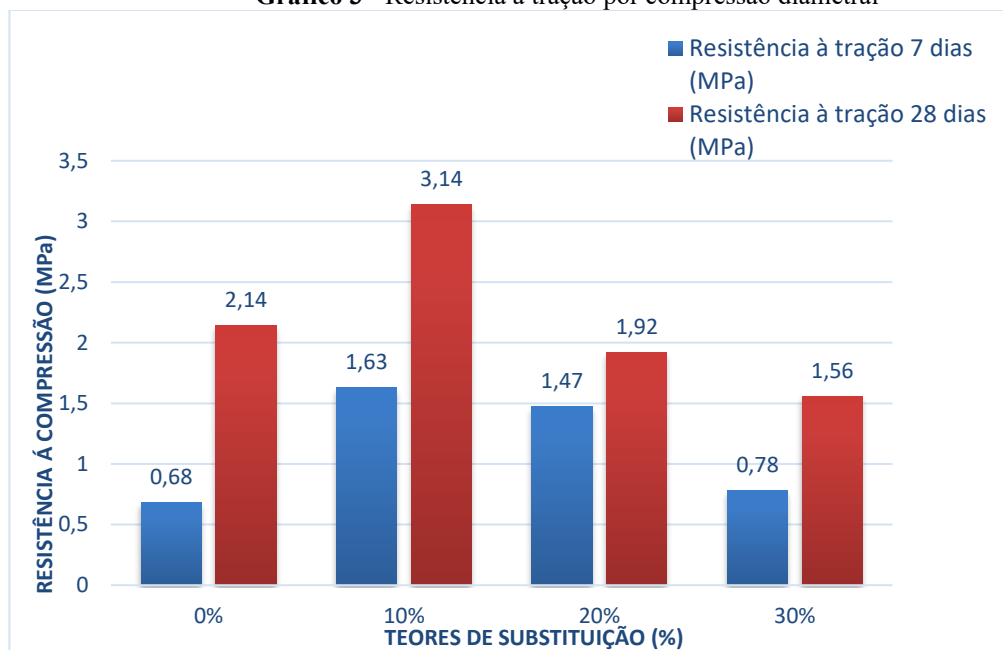
demonstram que fatores como características físicas do resíduo e metodologia de dosagem podem influenciar de forma significativa o desempenho mecânico final do concreto.

4.4 Resistência à tração por compressão diametral

Os valores de resistência à tração por compressão diametral obtidos aos 7 e 28 dias encontram-se sistematizados nos Apêndices C, D, G, H, K, L, O e P, que apresentam as tabelas completas dos ensaios realizados com a prensa hidráulica. A análise desses dados evidencia que o comportamento mecânico do concreto é diretamente influenciado pelo teor de substituição do agregado graúdo por resíduo de porcelanato.

Constatou-se, conforme apresentado no Gráfico 3, que aos 7 dias o traço de referência (0%) atingiu resistência de 0,68 MPa. A incorporação do resíduo promoveu um ganho inicial, de modo que o teor de 10% registrou o maior valor nessa idade (1,63 MPa). Entretanto, a partir desse percentual verificou-se redução gradativa no desempenho, alcançando 1,47 MPa para o teor de 20% e 0,78 MPa para 30%. Esse comportamento indica que substituições mais elevadas tendem a comprometer o desenvolvimento mecânico inicial do concreto.

Aos 28 dias, todos os traços apresentaram incremento de resistência, conforme esperado para concretos em idades avançadas. O traço sem substituição atingiu 2,14 MPa, enquanto os teores de 10%, 20% e 30% registraram, respectivamente, 3,14 MPa, 1,92 MPa e 1,56 MPa. Destaca-se que o teor de 10% apresentou o melhor desempenho entre todos os avaliados, demonstrando ser a proporção mais adequada para potencializar o ganho de resistência à tração no longo prazo, ao contrário dos teores superiores, que mantiveram tendência de redução.

Gráfico 3 - Resistência à tração por compressão diametral

Fonte: Autor (2025)

Do ponto de vista normativo, embora a NBR 12653 (ABNT, 2014) não estabeleça valores mínimos específicos para a resistência à tração, a norma permite estimar essa propriedade de forma indireta a partir do f_{ck} . Para um concreto da classe C20, cujo f_{ck} é de 20 MPa, limite mínimo para uso estrutural, a resistência à tração indireta estimada é de aproximadamente 2,21 MPa.

Ao confrontar esse valor teórico com os resultados experimentais obtidos neste estudo, observa-se que o traço de referência (0%), com 2,14 MPa, apresentou desempenho muito próximo ao valor estimado pela norma. O traço com 10% de substituição, por outro lado, superou amplamente essa expectativa, atingindo 3,14 MPa, evidenciando significativo ganho de resistência à tração. Já os teores de 20% (1,92 MPa) e 30% (1,56 MPa) apresentaram valores inferiores ao patamar indicado para um concreto C20, embora ainda coerentes com a tendência de redução de desempenho observada em teores mais elevados de substituição.

Essa comparação demonstra que teores moderados de substituição, especialmente 10%, podem melhorar a resistência à tração por compressão diametral, enquanto níveis superiores tendem a comprometer essa propriedade.

Os resultados obtidos apresentam coerência com as tendências identificadas no estudo de Rama (2016), o qual constatou redução progressiva da resistência à tração por compressão diametral à medida que se elevavam os teores de substituição do agregado convencional por agregado alternativo. O autor verificou reduções de 0,6% para o teor de 25%, 5,5% para 50%

e 10,1% para 100% em relação ao traço de referência, reforçando que níveis mais elevados de substituição tendem a comprometer gradualmente o desempenho mecânico do concreto.

4.5 Absorção de água por imersão

Como esperado, o aumento do teor de porcelanato incorporado ao concreto tende a reduzir a absorção de água, resultado associado à baixa porosidade e à reduzida capacidade de absorção desse material, conforme identificado em estudos anteriores (Santos, 2019; Nascimento, 2024). Na tabela 5 são apresentados os resultados do ensaio de absorção de água, que permitem avaliar de forma conjunta o comportamento poroso dos concretos produzidos.

Tabela 4 - Absorção de água por imersão (%)

Traços	Massa Seca (Kg)	Massa Úmida (Kg)	Massa Imersa (Kg)	Teor de Absorção (%)
0%	3,63	3,66	2,13	0,82
10%	3,18	3,19	1,28	0,41
20%	3,61	3,62	1,16	0,28
30%	3,68	3,69	1,10	0,27

Fonte: Autor (2025)

Observa-se, a partir dos resultados apresentados na tabela 4, que o aumento do teor de porcelanato no concreto resultou na redução progressiva da absorção de água, sendo que o traço com 30% de substituição apresentou a maior queda, atingindo redução de 67,08% em comparação ao traço de referência. Resultado semelhante foi identificado por Rama (2016), cuja investigação apontou que os teores de 50% e 100% de substituição proporcionaram absorções inferiores às do concreto convencional; entretanto, o traço com 25% não apresentou comportamento satisfatório, registrando o maior valor de absorção entre os analisados.

Santos (2019) avaliou concretos com substituição parcial do cimento por resíduos de polimento de porcelanato (RPP) nos teores de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. O autor constatou que os traços com 10%, 20% e 30% apresentaram reduções relevantes na absorção de água em comparação ao traço de referência, com valores de 4,42%, 8,98% e 5,14%, respectivamente. O traço com 40% de substituição exibiu comportamento semelhante ao concreto padrão, registrando apenas um discreto aumento de 1,83%, enquanto o traço com 50% apresentou o maior valor de absorção entre todos os estudados, alcançando 9,27% acima da referência.

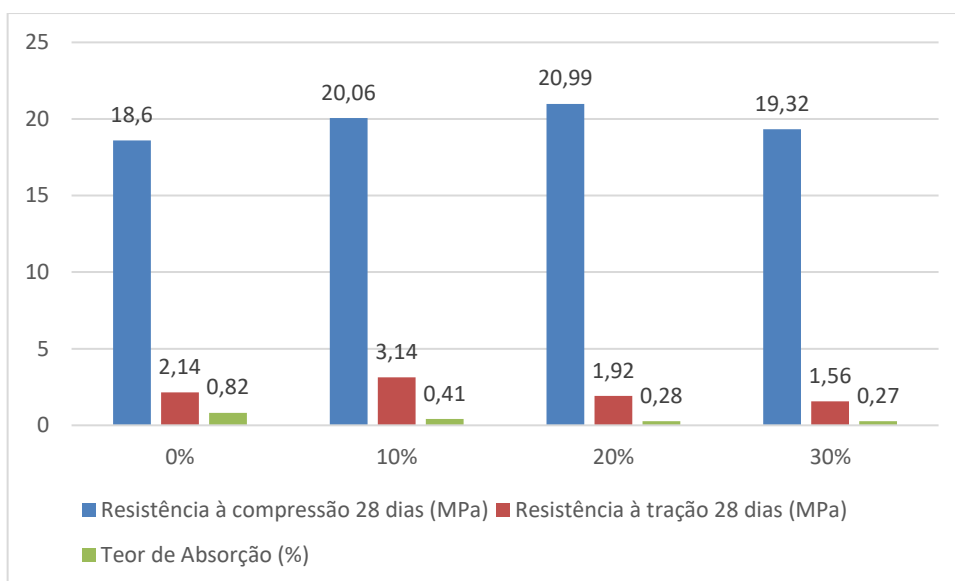
Comportamento semelhante também foi observado por Souza (2007), que identificou redução da absorção de água e da porosidade à medida que aumentava a incorporação de resíduos de porcelanato ao concreto.

Nascimento (2024) também verificou comportamento semelhante ao analisar a substituição parcial da brita por resto cerâmico proveniente de louças sanitárias nos teores de 0%, 10% e 20%. Em seu estudo, o traço com 10% de substituição apresentou redução da porosidade em relação ao concreto de referência, resultado atribuído ao tratamento prévio aplicado ao scrap, que atenua o efeito das faces esmaltadas e melhora a aderência entre o agregado cerâmico e a pasta cimentícia. O autor destaca que pequenas substituições tendem a manter ou até reduzir a porosidade do concreto, desde que o resíduo passe por preparo adequado.

4.6 Análise comparativa dos resultados

Com o objetivo de consolidar os resultados obtidos, foi elaborado um Gráfico 4 comparativos reunindo as principais propriedades avaliadas neste estudo na idade de 28 dias. Essa análise permite identificar o traço com melhor desempenho global, considerando simultaneamente as resistências mecânicas e a absorção de água.

Gráfico 4 – Comparativo dos resultados de 28 dias



Fonte: Autor (2025)

A análise do Gráfico 4 evidencia que os traços com 10% e 20% de substituição do agregado graúdo por resíduo de porcelanato apresentaram os melhores desempenhos mecânicos. O traço com 20% atingiu a maior resistência à compressão, com valor de 20,99 MPa, superando tanto o concreto de referência (18,6 MPa) quanto os demais teores analisados. Já o traço com 10% apresentou resistência à compressão de 20,06 MPa, também superior ao traço sem substituição, enquanto o teor de 30% registrou 19,32 MPa, valor inferior aos demais traços com porcelanato, porém ainda próximo ao concreto convencional.

Quanto à resistência à tração por compressão diametral, o traço com 10% destacou-se com o maior valor registrado, de 3,14 MPa, superando significativamente o traço de referência (2,14 MPa). Em contrapartida, os teores de 20% e 30% apresentaram reduções nessa propriedade, com valores de 1,92 MPa e 1,56 MPa, respectivamente. Em relação à absorção de água, observou-se redução progressiva com o aumento do teor de porcelanato, passando de 0,82% no traço de referência para 0,27% no traço com 30%, indicando menor permeabilidade do concreto. Considerando o conjunto dos resultados, o traço com 10% apresentou o melhor equilíbrio entre resistência mecânica e absorção de água.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou a viabilidade técnica do uso de resíduos de porcelanato como substituto parcial do agregado graúdo na produção de concreto, considerando proporções de 0%, 10%, 20% e 30%. A pesquisa permitiu compreender, de forma detalhada, o comportamento do material no estado fresco e endurecido.

Os resultados demonstraram que o aumento do teor de substituição elevou o abatimento do concreto, devido à baixa absorção de água do porcelanato ($\leq 0,50\%$). Ainda assim, nenhum dos traços atingiu valores de abatimento compatíveis com concretos estruturais, permanecendo todos abaixo do intervalo recomendado pela NBR 8953. O traço de 30% apresentou o maior abatimento, enquanto os teores de 10% e 20% mostraram aumento moderado, porém insuficiente para atender ao parâmetro de consistência.

Quanto ao desempenho mecânico, verificou-se que os teores de 10% e 20% apresentaram resistências à compressão superiores ao traço de referência aos 28 dias, evidenciando que substituições moderadas favorecem o desenvolvimento das propriedades mecânicas do concreto. O teor de 30%, embora apresente redução em relação aos demais traços com porcelanato, ainda registrou valores próximos ao mínimo exigido para concretos destinados a aplicações de menor responsabilidade estrutural.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, o teor de 10% destacou-se como o mais eficiente, indicando melhor interação entre a pasta cimentícia e o agregado cerâmico. Teores mais elevados tendem a prejudicar essa ligação, o que reforça a importância de controlar adequadamente a porcentagem de substituição para evitar perdas significativas no desempenho.

Em relação à absorção de água, a tendência observada foi de redução dos índices conforme aumentou o teor de porcelanato triturado na mistura. Esse comportamento confirma a influência direta da baixa porosidade do porcelanato, que contribui para a menor permeabilidade do concreto e indica um potencial ganho de durabilidade, especialmente em ambientes sujeitos à ação de agentes agressivos.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que o resíduo de porcelanato apresenta viabilidade técnica para aplicação como substituição parcial do agregado graúdo na produção de concretos. Os traços com 10% e 20% de substituição destacaram-se pelo melhor desempenho global, apresentando propriedades físicas e mecânicas superiores ou equivalentes às do concreto de referência. Ambos atenderam aos requisitos normativos de resistência à compressão, ressaltando-se o teor de 20%, que alcançou o maior valor aos 28 dias, correspondente a 20,99 MPa.

Adicionalmente, o traço com 10% de substituição evidenciou o comportamento mais equilibrado entre as propriedades analisadas, ao apresentar o maior valor de resistência à tração por compressão diametral, igual a 3,14 MPa, sendo o único a atender plenamente o critério mínimo recomendado para essa propriedade. Sob essa perspectiva, a utilização do resíduo de porcelanato configura-se como uma alternativa tecnicamente consistente e ambientalmente sustentável, uma vez que contribui para a redução da extração de agregados naturais e para o reaproveitamento de resíduos cerâmicos na construção civil.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

- Avaliar o desempenho do concreto produzido com resíduo de porcelanato sem a remoção do esmalte superficial, analisando os efeitos dessa condição na aderência entre o agregado cerâmico e a pasta cimentícia, bem como nas propriedades de trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade do concreto.
- Investigar o comportamento do concreto com diferentes relações água/cimento, de modo a verificar a influência desse parâmetro no desempenho mecânico e na

trabalhabilidade dos concretos com substituição parcial do agregado graúdo por porcelanato triturado.

- Analisar a utilização de teores intermediários de substituição, como 5%, 15% e 25%, visando identificar com maior precisão o teor ótimo de incorporação do resíduo cerâmico que maximize o desempenho global do concreto.
- Avaliar o efeito da adição de aditivos plastificantes ou superplastificantes nos concretos com porcelanato, buscando melhorar a trabalhabilidade sem comprometer as propriedades mecânicas.
- Desenvolver estudos de viabilidade econômica e ambiental, incluindo análise do ciclo de vida, a fim de quantificar os benefícios do reaproveitamento de resíduos cerâmicos na construção civil, considerando a redução do consumo de agregados naturais e a mitigação dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Grucheska Rayanne da Silva. **Reúso do pó de polimento de porcelanato em concreto**. 2017. 53 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. **História da cerâmica**. Disponível em: <https://novo.anfacer.org.br/historia-da-ceramica>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ARCHTRENDS PORTOBELLO. **História do porcelanato**: entenda tudo e conheça as tendências. Blog Archtrends Portobello, 19 ago. 2022. Disponível em: <https://blog.archtrends.com/historia-do-porcelanato/>. Acesso em: 9 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15115**: agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil: execução de camadas de pavimentação: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR ISO 13006**: placas cerâmicas: definições, classificação, características e marcação. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR ISO 10545-13**: placas cerâmicas: parte 13: determinação da resistência química. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16916**: Concreto — Agregados reciclados — Requisitos. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16917**: Concreto — Agregados reciclados — Classificação. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 17054**: Concreto – Diretrizes para uso de agregados reciclados de resíduos da construção e demolição. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 15116**: agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto — Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 7222**: Concreto – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3 ed. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 8522-1:** Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Parte 1: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

BASTOS, Paulo Sergio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Unesp, 2006. Apostila de disciplina.

BATISTA, Murilo Henrique dos Santos. **Análise da influência da substituição parcial de agregados graúdos por resíduos de pisos e revestimentos de porcelanato nas características físicas e mecânicas do concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário UNIFAFIBE, Bebedouro, 2022. Disponível em: <http://repositorio.unifafibe.com.br:8888/xmlui/handle/123456789/667>. Acesso em: 01 dez. 2025.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 136, p. 95–96, 17 jul. 2002. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=693. Acesso em: 1 jun. 2025.

CARDOSO, Afrodite da Conceição Fabiana. **Estimativa de geração de resíduos da construção civil nos municípios de Criciúma e Içara e estudo de viabilidade de usinas de triagem e reciclagem**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2011.

COSTA, Tiago Luiz da. et al. A produção de blocos de concreto confeccionados com rejeitos da construção civil para execução em alvenaria de vedação: a busca por alternativas sustentáveis. **Percursos Acadêmicos**, Belo Horizonte, v. 7, n. 14, p. 504–518, jul./dez. 2017.

DAMAS, Thyago de Silos et al. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do compósito cimento-madeira utilizando farinha de madeira Pinus com cimento portland**. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DUTRA, Cláudia Emanoelly Costa; SANTOS, Ellem Cristinny Gomes; RUAS, Adriana Xavier Albeiro. Desenvolvimento de bloco ecológico para construção civil em Montes Claros-MG. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 14, n. 1, p. 21–38, jan./jun. 2022. Disponível em: <https://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/7813>. Acesso em: 9 jun. 2025.

ECIVIL. Resistência do concreto à compressão. **Enciclopédia ECivil**. Disponível em: <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-resistencia-do-concreto-a-compressao.html>. Acesso em: 9 jun. 2025.

Eliane. Disponível em: <https://www.eliane.com/produtos/munari-branco-ext-60x60-sc-8057633>. Acesso em: 29 nov. 2025.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge et al. Aplicação de resíduo cerâmico como adição mineral na produção de argamassas e concretos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, n. 03, p. 08-12, 2006.

FARIAS, L. A. et al. **Ensaio de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto**. 2018.

FONSECA, Adriana Pinheiro. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010. cap. 29, p. 906-933.

MACHADO, Carine Ferreira. **Reutilização da casca cerâmica do processo de fundição por cera perdida, como adição em matrizes cimentícias**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MÁLIA, Miguel; BRITO, Jorge de; BRAVO, Miguel Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 117–130, 2011. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/20447>. Acesso em: 10 jun. 2025.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo JM; CARMONA FILHO, Antônio. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Pini, 1994.

NASCIMENTO, Emili Rodrigues do; MORAIS, Denilson Pedro Ferreira de; LOPES, Shara Carvalho. Sustentabilidade na construção civil no Brasil: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, pág. e524111436611, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36611>. Acesso em: 14 jun. 2025.

NASCIMENTO, Gustavo Lira do. **Uso do resíduo cerâmico procedente de louças sanitárias em substituição parcial ao agregado graúdo em concreto**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/36126>. Acesso em: 1 dez. 2025.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, Ernani Michel Lima Cardoso de; FARIAS, Bruno Matos de. **Proposta de reutilização de bloco de concreto como agregado reciclado**. In: ENGENHARIA NA PRÁTICA: construção e inovação. Rio de Janeiro: Editora Epitaya, 2022. v. 4. p. 223–249.

OLIVEIRA, Larissa Jhennifer Concieição. et al. Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil / Waste management: an analysis of the impacts of the generation of tailings in civil construction. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 24447–24462, maio 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9550>. Acesso em: 1 jun. 2025.

PINTO, Tarcísio de Paula; GONZÁLES, Juan Luís Rodrigo. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Manual de orientação, v. 1. Brasília: Caixa, 2005.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Acesso em: 1 jun. 2025.

QUEIROZ, Sidnei Rezende. **Confecção de concreto com adição de resíduos de porcelanato**. 2021. 73 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, Fundação Oswaldo Aranha – UniFOA, Volta Redonda, 2021.

RAMA, Renato Luiz. **Avaliação da influência da adição de resíduo do porcelanato nas propriedades físicas do concreto do grupo ii (c55 a c90) inseridos na atualização da nbr 6118/2014**. 2016, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, Palmas – TO.

RODRIGUES, Raquel dos Anjos. **Avaliação do reuso do resíduo de porcelanato nas propriedades de materiais construtivos**. 2010. 51 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SAMPAIO, Zodínio Laurisa Monteiro; SOUZA, Paulo Alysson Brilhante Faheina; GOUVEIA, Bruno Guida. Analysis of the influence of the sugar cane bagasse ashes on mechanical behavior of concrete. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 7, p. 626-647, 2014.

SANTOS, Humberto Mycael Mota. Uso de resíduo do polimento do porcelanato em concreto como adição e como material cimentício suplementar. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

SARTORTI, A. L.; BABRBOZA, L. da S.; ROCHA, A. F. H.; PASCHALIS, H. Influência do agregado miúdo na resistência à compressão do concreto. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, [S. l.], v. 19, n. 1, 2019. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/11423>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SOUZA, Paulo Alysson Brilhante Faheina de. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007. 232 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

APÊNDICE A – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 0% DE SUBSTITUIÇÃO

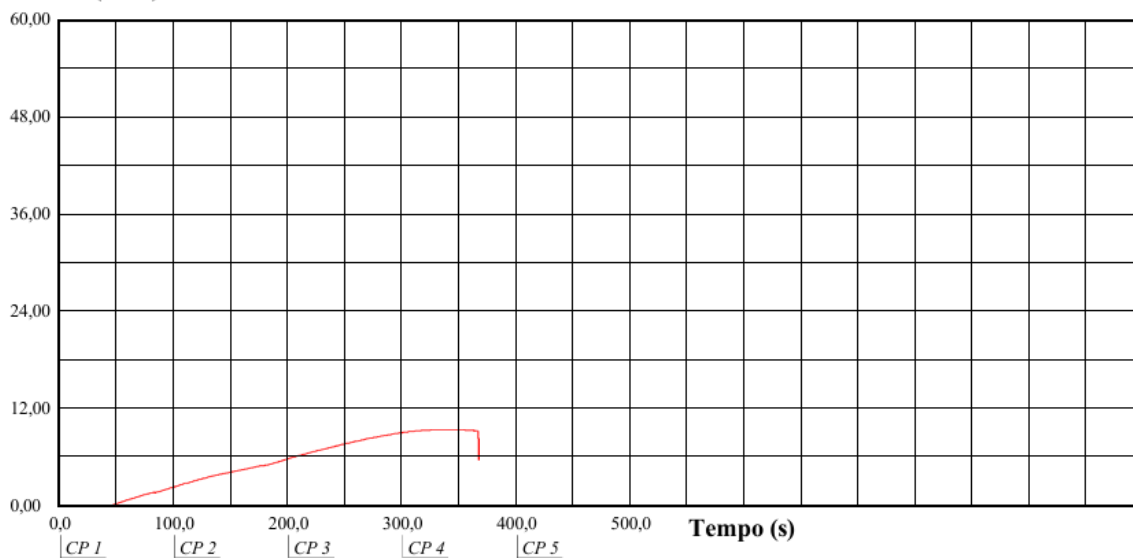
IFTO - Campus Palmas Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **30/10/2025** Hora: **20:52:57** Trabalho n° **2817**
 Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **Compressão concreto 180_OK**
 Ident. Amostra: > Cliente: **Cleiciele** Data de moldagem: **24/10** Idade da amostra: **7 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Compr. Base (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	100	200	74696,4	9,5
Número CPs	1	1	1	1
Média	100,0	200,0	74700	9,511
Coef.Var.(%)	*	*	*	*

Tensão (MPa)



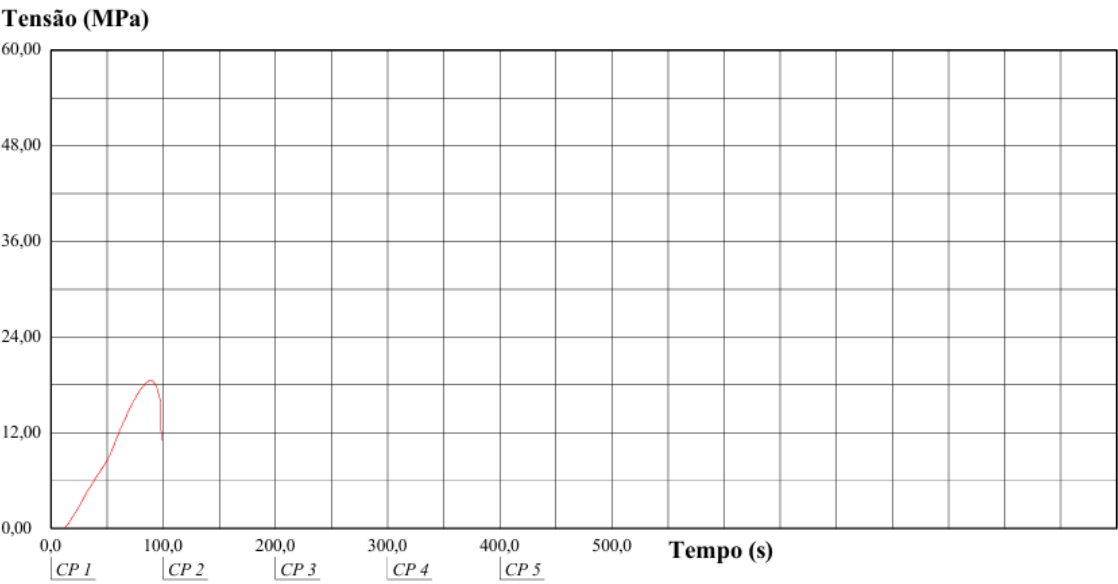
APÊNDICE B – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS PARA
O TRAÇO COM 0% DE SUBSTITUIÇÃO

IFTO - Campus Palmas
Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **-** Data: **21/11/2025** Hora: **17:24:28** Trabalho nº **2855**
Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **Compressão concreto 180_OK**
Ident. Amostra: >Cliente: **Cleiciele** Data de moldagem: **24/10/2025** Idade da amostra: **28 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Compr. Base (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	100	200	146100,7	18,6
Número CPs	1	1	1	1
Média	100,0	200,0	146100	18,60
Coef.Var.(%)	*	*	*	*



APÊNDICE C – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 7 DIAS PARA O TRAÇO COM 0% DE SUBSTITUIÇÃO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **30/10/2025** Hora: **20:24:02** Trabalho n° **2814**

Programa: **Tesc versão 3.01**

Método de Ensaio: **Tração compr diam 180tf_OK**

Ident. Amostra: : > Cliente: **Cleiciele**

Data moldagem: **24/10** Idade amostra: **7 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à Compressão Diametral (MPa)
CP 1	100,00	200,00	21455,35	0,68
Número CPs	1	1	1	1
Média	100,0	200,0	21460	0,6830
Desv.Padrão	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*
Mínimo	100,0	200,0	21460	0,6830
Máximo	100,0	200,0	21460	0,6830

APÊNDICE D – LAUDO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO COM 0% DE SUBSTITUIÇÃO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **21/11/2025** Hora: **17:36:24** Trabalho n° **2858**
 Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **Tração compr diam 180tf_OK**
 Ident. Amostra: >Cliente: **Cleiclele** Data moldagem: **24/10/2025** Idade amostra: **28 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro	Altura	Carga de Ruptura	Resistência à Compressão Diametral
	(mm)	(mm)	(N)	(MPa)
CP 1	100,00	200,00	32012,74	1,02
Número CPs	1	1	1	1
Média	100,0	200,0	32010	1,019
Desv.Padrão	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*
Mínimo	100,0	200,0	32010	1,019
Máximo	100,0	200,0	32010	1,019

Observação: Tração 0% 28 dias

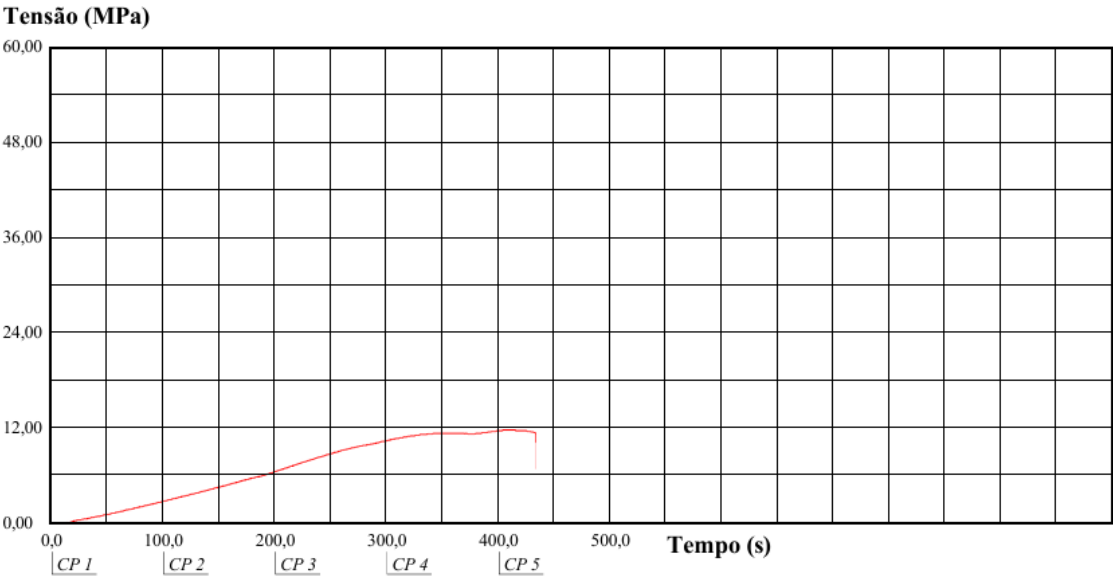
APÊNDICE E – LAUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS PARA O
TRAÇO COM 10% DE SUBSTITUIÇÃO

IFTO - Campus Palmas
Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **20/10/2025** Hora: **19:40:33** Trabalho n° **2795**
Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **Compressão concreto 180_OK**
Ident. Amostra: >Cliente: **Cleiciele** Data de moldagem: **13/10/2025** Idade da amostra: **7 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Compr. Base (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	100	200	92519,1	11,8
Número CPs	1	1	1	1
Média	100,0	200,0	92520	11,78
Coef.Var.(%)	*	*	*	*



Corpo de Prova	Diâmetro	Altura	Carga de Ruptura	Resistência à Compressão Diametral
	(mm)	(mm)	(N)	(MPa)
CP 1	100,00	200,00	46089,27	1,47
Número CPs	1	1	1	1
Média	100,0	200,0	46090	1,467
Desv.Padrão	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*
Mínimo	100,0	200,0	46090	1,467
Máximo	100,0	200,0	46090	1,467

Observação: Tração 20% - 28 dias

Observação: Tração 30% 28 dias