

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
CAMPUS CAJAZEIRAS

SAYRO RHUAN SANTOS LUNA  
SIGNEY EVERTON EDIVAL DE SOUSA

**ESTUDO DO COEFICIENTE DE MIGRAÇÃO NO CONCRETO EM CORPO DE  
PROVA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL POR FILLER CERÂMICOS**

Cajazeiras-PB  
2023

SAYRO RHUAN SANTOS LUNA  
SIGNEY EVERTON EDIVAL DE SOUSA

**ESTUDO DO COEFICIENTE DE MIGRAÇÃO NO CONCRETO EM CORPO DE  
PROVA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL POR FILLER CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof.Dr.Robson Arruda Dos Santos.

Cajazeiras-PB  
2023

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

L961e Luna, Sayro Rhuan Santos.  
Estudo do coeficiente de migração no concreto em corpo de prova com substituição parcial por filler cerâmicos / Sayro Rhuan Santos Luna, Signey Everton Edival de Sousa. – 2023.  
  
23. : il.  
  
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.  
  
Orientador(a): Prof. Dr. Robson Arruda dos Santos.  
  
1. Construção civil. 2. Concreto alternativo. 3. Filler de cerâmica. 4. Sustentabilidade. I. Sousa, Signey Everton Edival de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. III. Título.

## **CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

# **ESTUDO DO COEFICIENTE DE MIGRAÇÃO NO CONCRETO EM CORPO DE PROVA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL POR FILLER CERÂMICOS**

**SAYRO RHUAN SANTOS LUNA**

**rhuan.luna@academico.ifpb.edu.br**

**SIGNEY EVERTON EDIVAL DE SOUSA**

**signey.sousa@academico.ifpb.edu.br**

**ROBSON ARRUDA DOS SANTOS**

**robson.santos@ifpb.edu.br**

### **RESUMO**

A questão ambiental está cada vez mais em pauta no mundo atual, no qual a conscientização da população e das empresas sobre a importância do meio ambiente tem aumentado a preocupação com a sustentabilidade. Deste modo, este estudo visou elaborar concretos produzidos com baixo consumo de ligante, no qual parte do cimento Portland é substituído por filler cerâmico, utilizando os princípios de empacotamento de partículas para otimizar o teor de vazios em misturas de concreto simultaneamente à incorporação desse filler cerâmico. O presente estudo se trata de uma pesquisa descritiva, com aplicação e de abordagem quantitativa, no qual se fez por meio de quatro etapas, que são: caracterização dos materiais; definição de porcentagem de vazios e dos elementos do traço; montagem, moldagem e cura dos corpos de prova; ensaios de migração de cloretos não estacionário, determinação da absorção de água por capilaridade e de resistência à compressão axial. Deste modo, evidenciou-se que a adição de RTM ao concreto pode influenciar sua resistência à compressão, com a adição de cal hidratada potencializando esse efeito, além disso, o empacotamento eficiente dos agregados e o controle preciso da dosagem do concreto mostraram-se importantes para o desenvolvimento das propriedades mecânicas. Conclui-se então que essas descobertas contribuem para o avanço no conhecimento sobre a utilização de materiais alternativos na produção de concreto, visando a sustentabilidade e a redução de impactos ambientais.

**Palavras-Chave:** Coeficiente de migração; Concreto; Filler cerâmico.

### **ABSTRACT**

The environmental issue is increasingly on the agenda in today's world, in which awareness of the population and companies about the importance of the environment has increased concern about sustainability. Thus, this study aimed to develop concrete produced with low binder consumption, in which part of the Portland cement is replaced by ceramic filler, using particle packing principles to optimize the void content in concrete mixtures simultaneously with the incorporation of this ceramic filler. The present study is a descriptive research, with application and a quantitative approach, in which it was done through four stages, which are: characterization of the materials; definition of percentage of voids and trace elements; assembly, molding and curing of specimens; non-stationary chloride migration tests, determination of water absorption by capillarity and resistance to axial compression. Thus, it was shown that the addition of RTM to concrete can influence its compressive strength, with the addition of hydrated lime enhancing this effect. for the development of mechanical properties. It is then concluded that these discoveries contribute to the advance in knowledge about the use of alternative materials in the production of concrete, aiming at sustainability and the reduction of environmental impacts.

**Keywords:** Migration coefficient. Concrete. Ceramic filler.

## 1 INTRODUÇÃO

A questão ambiental está cada vez mais em pauta no mundo atual, no qual a conscientização da população e das empresas sobre a importância do meio ambiente tem aumentado a preocupação com a sustentabilidade (RIBEIRO, 2017). A construção civil é uma das atividades que mais impactam o meio ambiente, devido ao consumo de recursos naturais e a geração de resíduos sólidos (GOMES *et al.*, 2021).

O concreto é um material de construção amplamente utilizado e versátil, que pode ser encontrado em quase todas as estruturas de construção. No entanto, o concreto também pode ser um dos principais responsáveis pelo impacto ambiental das construções, pois a produção de cimento, um dos componentes principais do concreto, é responsável por cerca de 5% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (NAJAFI; MIRZAEI; TABATABAIE, 2016).

A redução do impacto ambiental do concreto é, portanto, um tema de importância crescente. Uma das maneiras de reduzir o impacto ambiental do concreto é aumentar sua sustentabilidade, que pode ser melhorada de várias maneiras, incluindo a redução do consumo de matérias-primas, a utilização de materiais reciclados/reutilizados e a melhoria da eficiência energética na produção e na aplicação do concreto (SIMÕES, 2017).

A utilização de materiais reciclados/reutilizados é uma das maneiras mais eficazes de se aumentar a sustentabilidade do concreto, no qual os materiais reciclados podem ser usados como componentes em concretos de alto desempenho, reduzindo assim o consumo de matérias-primas e o impacto ambiental (NASCIMENTO, 2020).

Deste modo, este estudo visou elaborar concretos produzidos com baixo consumo de ligante, no qual parte do cimento Portland é substituído por filler cerâmico, utilizando os princípios de empacotamento de partículas para otimizar o teor de vazios em misturas de concreto simultaneamente à incorporação desse filler cerâmico.

O filler é um pó extremamente fino que pode ser obtido a partir de materiais de origem natural ou materiais processados inorgânicos, que é amplamente utilizado como material de enchimento para concreto e argamassa, aumentando assim, a compactação através de uma melhor distribuição granulométrica, melhorando as propriedades de trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, exsudação capilar e tendência à fissuração (SEQUEIRA; GHISLENI, 2020, CAMPOS *et al.*, 2019).

Com isso, decidiu-se utilizar o filler cerâmico, visto que o material cerâmico se trata de um material de fácil acesso, e que em muitas das vezes, infelizmente, são despejados de forma inadequada na natureza pela construção civil, o que tornaria sua reutilização importante para a natureza.

Desta forma, ao ser feita uma determinada substituição do filler cerâmico pelo cimento Portland, será utilizada os princípios de empacotamento de partículas, que conforme apresentado por Oliveira *et al.* (2000 apud CASTRO; PANDOLFELLI, 2009, p. 25), se trata:

O estudo do empacotamento de partículas pode ser definido como o problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos por partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente.

Assim, se tem a relevância deste estudo, pois com a aplicação do filler cerâmico no concreto, foi feita a reutilização do material cerâmico e com isso, reduz o impacto ambiental pelo reaproveitamento desse resíduo, que seria despejado na natureza. Além disso, a utilização desses tipos de materiais na composição do concreto pode contribuir com características que podem ajudar no desempenho dele em determinados ambientes.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos necessários para compreender os fenômenos que embasam a metodologia utilizada e as análises realizadas neste trabalho.

## 2.1 Emissão de CO<sub>2</sub> pela indústria do cimento

A indústria do cimento é uma das principais fontes de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na economia global. A produção de cimento é um processo intensivo em energia que envolve a calcinação do calcário, liberando CO<sub>2</sub> como subproduto. Essa emissão de CO<sub>2</sub> contribui significativamente para o aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera e, consequentemente, para o aquecimento global.

A fabricação do clínquer, principal componente do cimento, através do tratamento térmico, proporciona a queima da mistura de minerais em altas temperaturas, resultando em uma alta liberação do gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Esse processo tem um impacto significativo no efeito estufa, responsável por regular a temperatura na atmosfera. O clínquer é apontado como o principal responsável, contribuindo com mais de 91% das emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao concreto.

Essas emissões podem variar de acordo com fatores como o tipo de forno utilizado. Segundo Damineli (2013), a produção de uma tonelada de clínquer pode emitir entre 825 e 1150 kg de CO<sub>2</sub>. Essa ampla faixa de variação evidencia a relevância de considerar as tecnologias empregadas na indústria do cimento como uma forma de reduzir seu impacto ambiental.

Para mitigar o impacto ambiental da indústria do cimento e reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub>, várias estratégias têm sido propostas e pesquisadas. Uma das abordagens promissoras é a captura e armazenamento de carbono (CCS). Conforme mencionado pela AIE, "a implementação da CCS na indústria do cimento poderia reduzir as emissões em até 20% até 2050".

A substituição parcial do clínquer de cimento, principal componente do cimento, por materiais alternativos de baixo carbono também é considerada uma opção viável para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> na produção de cimento e melhorar sua sustentabilidade ambiental. Estudos têm demonstrado que a substituição de parte do clínquer por escórias de alto-forno, cinzas volantes e pozolanas pode reduzir significativamente tais emissões associadas ao processo de fabricação do cimento. Essas alternativas têm potencial para contribuir com a redução do impacto ambiental da indústria do cimento.

## 2.2 Teoria do empacotamento de partículas

A teoria do empacotamento de partículas é definida como o uso de partículas de tamanhos e formas diferentes, em que as partículas menores preenchem os espaços vazios entre as partículas maiores. Esse processo se repete para partículas cada vez menores, resultando em um sistema em que os vazios são significativamente reduzidos. No caso do concreto, "quanto menor o volume de vazios entre as partículas, menos água é necessária para conferir fluidez ao sistema e permitir a sua moldagem" (DAMINELI; PILEGGI; JOHN, 2017).

A redução dos vazios proporcionado pelo empacotamento resulta na minimização da porosidade e, consequentemente, na manutenção ou aumento da resistência e durabilidade do concreto. Isso leva a uma maior eficiência na produção, uma vez que esses parâmetros são diretamente influenciados pela relação água/cimento (*a/c*) (LONDERO, 2016).

No estudo teórico e experimental do empacotamento de partículas, existem duas abordagens principais: a abordagem discreta, que considera as partículas individualmente, e a abordagem contínua, que trata as partículas como distribuições contínuas. Ao longo do tempo, várias teorias e modelos foram desenvolvidos, utilizando expressões matemáticas. Entre eles, os modelos mais destacados e amplamente estudados são o modelo de Furnas (abordagem discreta) e o modelo de Andreasen (abordagem contínua).

Uma análise comparativa entre esses dois modelos revelou que ambos convergem matematicamente para uma mesma abordagem, conhecida como modelo de Alfred ou Andreasen modificado. Esse modelo representa um aperfeiçoamento das abordagens anteriores propostas por Furnas e Andreasen (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009).

### 2.2.1 Modelo de Furnas

O modelo de Furnas é uma abordagem discreta para o estudo do empacotamento de partículas. Ele considera as partículas individualmente, tratando-as como objetos discretos em um sistema. Nesse modelo, as partículas são posicionadas em um espaço tridimensional, levando em consideração seus tamanhos, formas e interações entre si.

Furnas comprovou que a distribuição de máxima densidade de empacotamento para partículas de diferentes tamanhos segue uma progressão geométrica. Essa descoberta permitiu que ele generalizasse sua teoria para qualquer mistura contendo vários diâmetros discretos, como demonstrado na Equação 1 (OLIVEIRA, 2013).

$$CPFT = 100 * \left( \frac{D_P^{logr} - D_S^{logr}}{D_L^{logr} - D_S^{logr}} \right)$$

Sendo:

- CPFT: Porcentagem Acumulada Passante de Finos;
- DP= Refere-se ao diâmetro da partícula em análise durante o processo de empacotamento.
- DS= representa o diâmetro da menor partícula presente no empacotamento.
- DL= corresponde ao diâmetro da maior partícula presente no empacotamento.
- r = indica a razão entre o volume das partículas retidas em uma determinada malha de peneira e o volume da malha imediatamente inferior a ela. Essa razão fornece informações sobre a distribuição das partículas em diferentes tamanhos.

### 2.2.2 Modelo de Andreasen e Andersen

No modelo de Andreasen, a distribuição de partículas é abordada como distribuições contínuas, levando em consideração que os diâmetros podem ser encontrados em distribuições reais de partículas. Andreasen propõe que o empacotamento ideal de partículas ocorre quando há condições de similaridade entre duas partículas com tamanhos muito diferentes. Essa condição de similaridade define a distribuição de tamanhos das partículas em termos de uma lei de potências, expressa pela equação:

$$CPFT = 100 * \left( \frac{D_P}{D_L} \right)^q$$

Onde:

q= Coeficiente de empacotamento.

Em relação ao coeficiente de empacotamento, Andreasen propôs que seu valor estivesse entre 0,33 e 0,50 para alcançar a máxima densidade de empacotamento. Porém, Oliveira (2013) sugere que o coeficiente  $q = 0,37$  proporciona o máximo empacotamento teoricamente possível, assumindo que DS (tamanho de partícula mínimo) seja igual a zero, o que não é aplicável na prática. Portanto, em sistemas reais, é necessário utilizar o menor valor possível para DS a fim de maximizar o empacotamento.

### 2.2.3 Modelo de Alfred

Também conhecido como Modelo de Andreasen Modificado. Esse modelo é uma síntese dos modelos de Furnas e Andreasen. Proposto por Dinger e Funk (1993), após conduzirem uma série de estudos sobre modelos de empacotamento, demonstrando que os modelos de Furnas e Andreasen convergem para uma única equação denominada de modelo de Alfred. Essa convergência representa uma unificação dos conceitos desses dois modelos e contribui para uma compreensão mais abrangente do empacotamento de partículas, expressa pela equação:

$$CPFT = \left( \frac{D_P^q - D_S^q}{D_L^q - D_P^q} \right)$$

Onde:

- CPFT: Porcentagem Acumulada Passante de Finos;
- DP = Refere-se ao diâmetro da partícula em análise durante o processo de empacotamento.
- DS = representa o diâmetro da menor partícula presente no empacotamento.

- DL = corresponde ao diâmetro da maior partícula presente no empacotamento.
- q = Coeficiente de empacotamento.

### 2.3 Adições minerais

Ao longo dos anos, a produção de concreto tem evoluído e se modernizado, graças à adição de novos componentes em sua estruturação, como minerais, aditivos químicos e fibras. Segundo Aïtcin (2000), o desenvolvimento desses concretos é resultado de uma nova ciência do concreto e dos aditivos, bem como do uso de aparatos científicos sofisticados para observar a microestrutura e a nanoestrutura do concreto.

A utilização de adições minerais na produção de concreto tem sido influenciada por fatores econômicos e ambientais. Essas adições podem ser usadas como complemento ou substituição parcial ao cimento, resultando em concretos com propriedades e características melhoradas. Entre os fatores que têm impulsionado o uso de adições minerais, destacam-se a reciclagem de subprodutos industriais, a redução de emissões perigosas lançadas na atmosfera durante a produção do cimento, a preservação das matérias-primas e a economia de energia. Como resultado desses esforços, temos concretos ecologicamente corretos (FERRARIS, OBLA; HILL, 2001 *apud* CASTRO; PANDOLFELLI, 2009).

Adições minerais são materiais silicosos insolúveis finamente moídos, com origem natural ou de subprodutos industriais. Quando acrescentadas ao concreto, provocam efeitos químicos e físicos na microestrutura do material (MEHTA; MONTEIRO, 2014 *apud* SCHAMALZ, 2018). Essas adições são classificadas em três tipos: material pozolânico, material cimentante e filler.

Os benefícios do uso das adições minerais são evidentes tanto no estado fresco quanto no estado endurecido do concreto. Eles podem variar em função da quantidade utilizada, das condições de cura e da composição química, mineralógica e granulométrica das adições. É relevante destacar que os efeitos das adições minerais no concreto estão mais relacionados ao tamanho, forma e textura de suas partículas do que à sua composição química. O principal objetivo das adições é proporcionar a formação de um concreto com menor permeabilidade, ou seja, com uma maior capacidade de evitar a infiltração de água nos poros capilares (FONSECA, 2010). Essa característica é fundamental para garantir a durabilidade e a resistência do material, uma vez que a presença de água nos poros pode levar a processos de deterioração, como a corrosão de armaduras e a degradação da matriz de cimento.

O uso de adições minerais em materiais cimentícios tem demonstrado proporcionar diversas melhorias em suas características técnicas, uma vez que essas adições modificam a estrutura interna desses materiais. Dentre os aspectos positivos resultantes, destaca-se o aumento da resistência do concreto no estado endurecido, assim como a melhoria de sua durabilidade, como evidenciado pela redução da porosidade capilar, diminuição de fissuras de origem térmica e aumento da resistência a ataques por agentes agressivos.

Além desses benefícios técnicos, é importante ressaltar os impactos positivos do uso de adições minerais em termos ambientais, uma vez que essa prática contribui para a redução da quantidade de material cimentício utilizado, bem como do consumo energético e das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera (FONSECA, 2010). Essa abordagem, portanto, representa uma forma sustentável de melhorar as propriedades dos materiais cimentícios, levando em consideração tanto os aspectos técnicos quanto os ambientais.

### 2.4 Absorção

A absorção de água pelo concreto é um processo físico no qual o material retém água em seus poros e condutos capilares, conforme descrito por Petrucci (1998). A determinação desse processo pode ser feita por meio de um ensaio simples, no qual o concreto é imerso em água até que seus poros estejam completamente saturados. A quantidade de água absorvida é calculada pela diferença entre o peso seco e o peso saturado do concreto. É fundamental ressaltar que a absorção de água pelo concreto pode impactar suas propriedades, como resistência e durabilidade, tornando-se um aspecto importante a ser considerado em sua formulação e uso.



## 2.5 Durabilidade

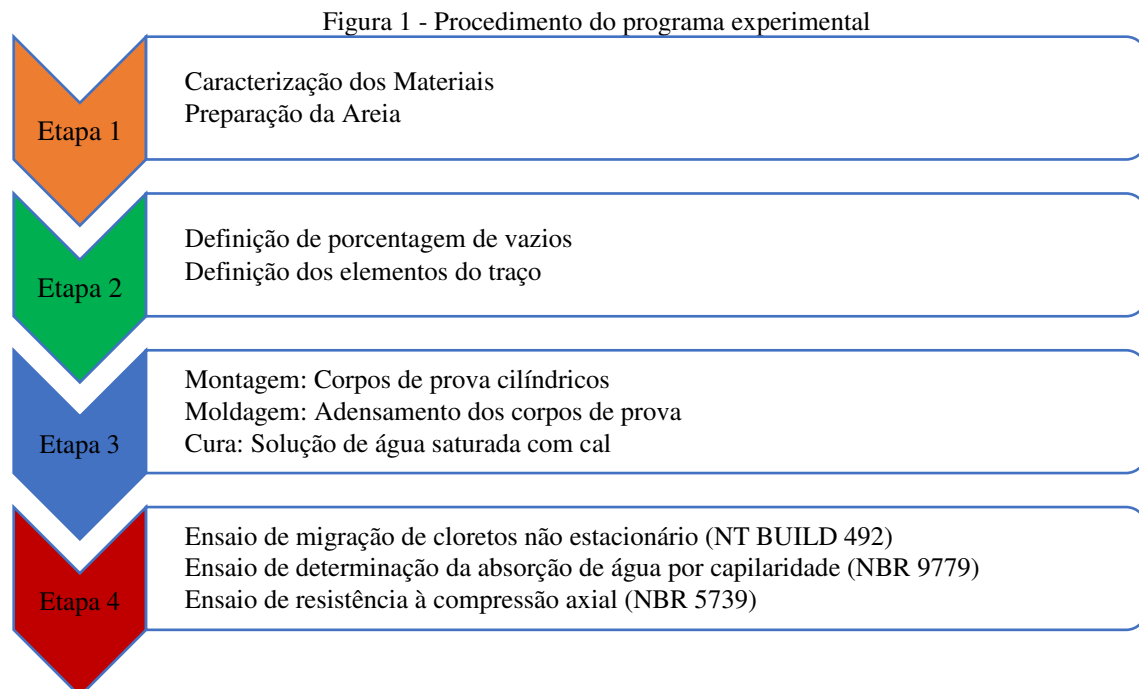
A durabilidade é a capacidade de um material resistir aos efeitos adversos das intempéries, ataques químicos, abrasão e outros processos de deterioração. No caso do concreto, isso significa preservar sua forma, qualidade e capacidade original quando exposto ao ambiente para o qual foi projetado. É importante reconhecer, porém, que nenhum material é totalmente durável de acordo com essa definição. Conforme observado por Mehta e Monteiro (2008), um material atinge o fim de sua vida útil quando suas propriedades se deterioram a ponto de seu uso se tornar inseguro e antieconômico.

A durabilidade do concreto é influenciada por vários fatores, que incluem a qualidade dos materiais utilizados em sua composição, o processo de mistura e cura, e as condições ambientais às quais o concreto está exposto. Para aumentar a durabilidade do concreto, é essencial utilizar materiais de alta qualidade, seguir as recomendações adequadas de mistura e cura, e proteger o concreto de condições ambientais adversas. Além disso, a realização de uma manutenção regular pode ajudar a prolongar a vida útil do concreto, mantendo-o em boas condições ao longo do tempo.

## 3 MÉTODO DA PESQUISA

O presente estudo se trata de uma pesquisa descritiva, pois tem como objetivo a geração de conhecimento para aplicação prática e imediata através da coleta de dados, no qual irá dirigir a solução de problemas específicos (LUKOSEVICIUS; GUIMARÃES, 2018). É uma pesquisa aplicada, e em relação aos seus procedimentos, se trata de uma pesquisa experimental, em que foi feito experimentos em laboratório de forma controlada para chegar aos objetivos almejados (CHIZZOTTI, 2018).

A abordagem utilizada para tal pesquisa é de cunho quantitativo, visto que, a abordagem quantitativa (PITANGA, 2020) se dá por meio dos dados numéricos referente aos ensaios feitos em laboratório, com a presença de tabelas e quadros para a sua representação, dividido em quatro etapas alinhados com os objetivos do projeto, apresentado na Figura 1.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A primeira etapa abrange os ensaios de caracterização de materiais granulares utilizados na produção de argamassas de concreto, como cimento, agregados miúdos e graúdo, e o filler cerâmico, alguns deles obtidos na região de Cajazeiras-PB, como areia, brita e o Cimento CP V, e outra parte obtida em João Pessoa-PB, como aditivos minerais, sendo necessário o uso de transporte para a

entrega desse material.

Desta forma, para a produção do concreto foi escolhido para utilização o cimento Portland tipo V de alta resistência inicial (CP V-ARI), constituído de 90% a 100% de clínquer com sulfatos de cálcio, podendo conter de 0% a 10% de material carbonático, conforme especificado pela NBR 16697 (ABNT, 2018).

O resíduo de tijolo moído (RTM) foi preparado por trituração e moagem de resíduos da região de João Pessoa-PB. Em relação aos agregados utilizados, foram compostas de diferentes granulometrias, com agregados miúdos do tipo areia fina, areia média e areia grossa, e os agregados graúdos por brita, com Diâmetro Máximo Característico (DMC) igual a 9,5 mm. Além disso, foi utilizado o aditivo superplastificante GCP ADVA 525, a base de policarboxilato. Em relação às armaduras empregadas no concreto, foram barras de aço-carbono, tipo Gerdau CA-50, nervuradas e com diâmetro nominal de 6,3 mm.

Na segunda etapa foram determinados os traços utilizando os conceitos do fenômeno do empacotamento de partículas, montando os corpos de provas com e sem a substituição do concreto por filler cerâmico.

O processo de empacotamento de partículas desempenha um papel crucial na busca por um controle preciso na dosagem do concreto. Nesse sentido, uma abordagem eficaz foi implementada por meio do software Q-Mix, cujo desenvolvimento é atribuído a Santos (2022). Esse software se vale do modelo Andreasen Modificado para realizar cálculos das curvas granulométricas. Procedendo à introdução dos dados essenciais no programa, obtiveram-se os valores do CPFT, conforme ditado pelo modelo Andreasen Modificado. A partir desse ponto, entrou-se na fase de combinação linear dos agregados, explorando minuciosamente todas as combinações possíveis. O processo de cálculo concluiu com a identificação da proporção ideal dos agregados, baseada na minimização do desvio, representado pelo RSS (Residual Sum of Squares).

Na terceira etapa houve a preparação e moldagem das amostras submetidas ao Índice de Consistência e Densificação conforme NBR 13276 de 2016 (ABNT, 2016a) e NBR 5738 de 2016 (ABNT, 2016b), respectivamente. Sendo feito com a ajuda de uma betoneira e dos moldes disponíveis em laboratório de materiais de construção civil do IFPB *Campus* Cajazeiras, para mistura de materiais.

No que diz respeito ao preparo, cura e moldagem dos corpos de prova, a sequência adotada para a mistura do concreto foi a seguinte: Inicialmente, 100% do cimento e 80% da água foram introduzidos na betoneira, seguidos de 20% restantes da água e a totalidade do aditivo superplastificante. Posteriormente, os agregados foram gradualmente incorporados, começando pelo agregado graúdo, seguido pelas areias grossa, média e fina, cada uma sendo adicionada gradualmente. Ao longo de um período de 3 a 4 minutos, a betoneira permaneceu em operação, assegurando que a mistura atingisse uma consistência homogênea e coesa.

Após a conclusão desse processo de mistura, foram moldados um total de 6 corpos de prova cilíndricos, com dimensões de (10 x 20) cm, bem como 6 corpos de prova cúbicos, com dimensões de (8 x 8 x 8) cm. Cada um desses corpos de prova foi confeccionado com a inclusão de duas barras de aço, que possuíam um cobrimento de 1,5 cm. Isso resultou em uma área exposta de aço equivalente a 3 cm em cada corpo de prova, enquanto a área de aço embutida em cada barra era de 6,25 cm<sup>2</sup>.

Após um período de 24 horas a partir da moldagem, os corpos de prova passaram por um processo de desmolde, seguido por sua devida identificação. Em seguida, foram submetidos a um processo de cura através de imersão em água saturada com hidróxido de cálcio. Esse procedimento de cura foi executado com a finalidade de assegurar uma hidratação adequada do concreto, contribuindo para o desenvolvimento pleno de suas características mecânicas.

Após o processo de cura, a última etapa consiste na aplicação do ensaio de migração de cloretos não estacionário (NT BUILD 492), o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade (NBR 9779), e o ensaio de resistência à compressão axial (NBR 5739). Seguidos da seguinte forma:

### 3.1 Ensaio de migração de cloretos estacionário (NT BUILD 492)

Neste ensaio se aplicou um potencial elétrico em seções do corpo de prova, colocados em um recipiente com cloreto de sódio (NaCl), usado como solução catódica, e também uma solução de 0,3 N

Hidróxido de Sódio (NaOH), usado como solução anódica, mantido durante todo o teste. Após o decorrido tempo do ensaio, as amostras foram rompidas axialmente, em que foi aplicada uma solução de Nitrato de Prata em uma das seções da amostra recém-dividida, com intuito de evidenciar a profundidade de penetração por processo colorimétrico.

### 3.2 Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade (NBR 9779)

Neste ensaio utilizou-se 03 (três) corpos de prova de concreto, um de referência sem a presença do RTM, outros dois com substituição de 60% de cimento por RTM e adição de 5 e 10% de cal hidratada. Após a confecção dos mesmos, foram levados à estufa com temperatura de  $(105 \pm 5)$  °C até constância de massa, entre períodos de 24h de permanência na estufa, não exceder 0,5% do valor obtido. Após isso, os corpos de prova ficaram em temperatura ambiente para resfriá-los e determinadas suas massas.

Após, fez-se uma marca no corpo de provas de 0,5cm acima da sua face inferior, pegou-se um recipiente de profundidade considerável e acrescentou-se 3 fios horizontalmente em paralelo, em que os corpos de prova ficaram sobre estes fios para não haver contato direto com o recipiente, em seguida, foi adicionado água até a marcação feita nos corpos de prova.

Feito isso, foi determinada a massa dos corpos de prova com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água. Para serem feitas as determinações das massas, os corpos de prova foram previamente enxugados e levadas a balança, após pesagem voltavam imediatamente ao recipiente o qual se acrescentava água quando necessário (estavam abaixo da marcação). Após a última pesagem, os corpos de prova foram rompidos para que fosse possível verificar a distribuição de água em seu interior.

### 3.3 Ensaio de resistência à compressão axial (NBR 5739)

O ensaio de compressão axial dos corpos de provas cilíndricos foi realizado nas idades de 7 e 28 dias, através da prensa hidráulica do IFPB, *Campus Cajazeiras*.

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA

### 4.1 Caracterização dos materiais

#### 4.1.1 Cimento e RTM

A Tabela 1 apresenta as composições do CP V-ARI e do RTM utilizadas no ensaio de massa específica, realizado de acordo com a norma NBR 16605 (ABNT, 2017). Os resultados obtidos mostraram uma média de 3,04 g/cm<sup>3</sup> para o cimento e 2,61 g/cm<sup>3</sup> para o RTM.

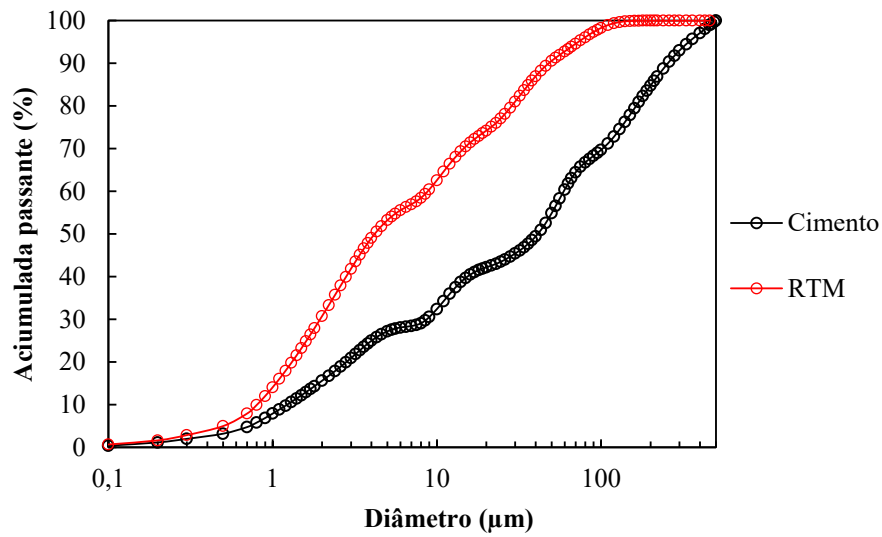
Tabela 1 – Composição dos Óxidos (%) para o CP V-ARI e RTM.

CP V-ARI												
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	CaO	BaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>
22,11	3,99	3,41	1,97	0,96	0,43	0,37	62,25	0,09	0,64	3,51	0,03	-
RTM												
64,24	18,25	9,68	1,82	1,65	1,40	1,10	0,86	0,28	0,19	0,15	0,14	0,09

Fonte: Autoria própria (2023).

Além disso, foi conduzido o ensaio de granulometria a laser em todos os finos, utilizando o equipamento CILAS 1090 SECO, com uma faixa de análise de 0,10 µm a 500,00 µm e 100 classes de tamanho. Os resultados deste ensaio são ilustrados na Figura 2.

Figura 2 – Granulometria a laser dos finos.



Fonte: Autoria própria (2023).

#### 4.1.2 Agregados

No presente estudo, adotou-se a seguinte classificação para as frações granulométricas: a areia grossa correspondeu à fração retida na peneira de 1,2 mm, a areia média compreendeu as partículas passantes pela peneira de 1,2 mm e retidas na peneira de 0,6 mm, e a areia fina foi designada para as partículas passantes na peneira de 0,6 mm. Os ensaios realizados são detalhados na Tabela 2.

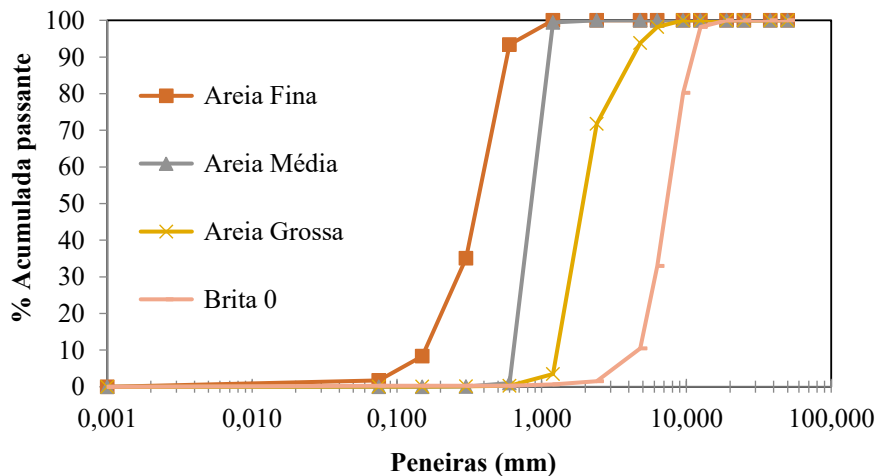
Tabela 2 – Ensaios normalizados utilizados.

Propriedades	Material	Norma
Granulometria	Agregados	NBR 17054 (ABNT, 2022)
Massa específica	Agregado miúdo	NBR NM 52 (ABNT, 2002)
Massa específica	Agregado graúdo	NBR NM 53 (ABNT, 2009)

Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 3 são apresentadas as curvas granulométricas e na Tabela 3 o resumo das massas específicas calculadas dos agregados empregados no concreto.

Figura 3 – Curvas granulométricas dos agregados.



Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 3 – Massa específica dos agregados.

Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Brita 9,5
2,66 g/m <sup>3</sup>	2,64 g/m <sup>3</sup>	2,62 g/m <sup>3</sup>	2,63 g/m <sup>3</sup>

Fonte: Autoria própria (2023).

#### 4.1.3 Dosagem do concreto

##### *Características dos Traços*

Foram realizados um total de 4 traços de concreto, sendo um deles o traço de referência, no qual nenhuma adição foi utilizada. Os traços com Resíduo de Tijolo Moído (RTM) não apresentaram variação na porcentagem de substituição, que foi fixada em 60% de ligante em relação ao resíduo cerâmico. A quantidade de cal adicionada foi definida com base no valor de referência do cimento, que foi de 380 kg/m<sup>3</sup>, nos níveis de 5% e 10%.

Na Tabela 4, é apresentado o consumo dos materiais por metro cúbico de concreto, contemplando os quatro traços. Esses valores fornecem informações importantes sobre a proporção dos materiais utilizados em cada traço, permitindo uma análise comparativa dos consumos de cimento, resíduo cerâmico, cal e agregados em cada mistura de concreto.

Tabela 4 – Consumo dos materiais de cada Traço.

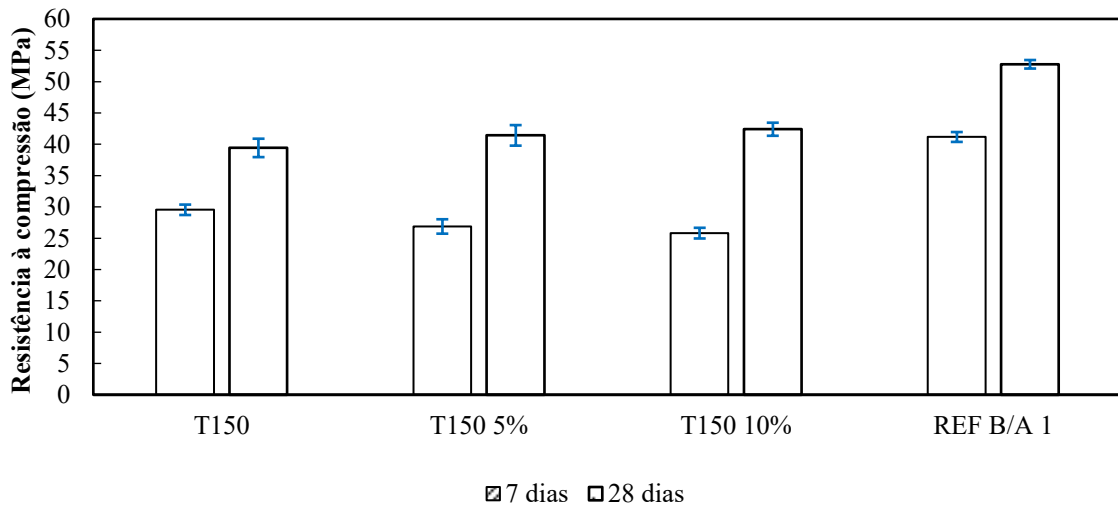
Concretos	Consumo em kg/m <sup>3</sup>							
	Cimento	RTM	Cal hidratada	Areia fina	Areia média	Areia grossa	Brita	Água
T150	152,58	233,71	-	220,18	587,17	112,02	919,38	167,84
T150 5%	151,31	231,76	19,15	218,35	582,28	111,09	911,72	166,44
T150 10%	150,06	229,85	37,99	216,55	577,47	110,17	904,19	165,07
REF	380,11	-	-	218,56	574,92	109,28	902,76	190,06

Fonte: Autoria própria (2023).

#### 4.2 Resistência a compressão

Na Figura 4 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados aos 7 e 28 dias.

Figura 4 – Resistência à compressão dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria (2023).

Ao analisar a resistência à compressão dos diferentes traços de concreto aos 28 dias, foram observados resultados significativos. O concreto de referência, composto por 100% de cimento e esqueleto granular empacotado, superou em 33,8% a resistência do concreto T150, que utilizou 59,9% menos cimento.

A introdução de adições no concreto teve um impacto direto em sua resistência. Dentre os traços que utilizaram o material pozolânico RTM (Resíduo de Tratamento de Minério), aquele que incorporou 10% de cal (T150 10%) obteve os maiores valores de resistência. Esse fato evidencia a atividade pozolânica do RTM, pois a adição de cal hidratada reagiu com o material desde as primeiras idades, justificando o excelente desempenho em termos de resistência. Essa mesma relação de adição de cal em concretos com pozolanas também foi observada em estudos anteriores realizados por Diniz *et al.* (2022), Fonseca *et al.* (2022).

É importante ressaltar que mesmo o concreto T150, sem a adição de cal hidratada, alcançou valores elevados de resistência, em torno de 40 MPa. Além da atividade pozolânica, esse resultado demonstra a eficiência do refinamento dos poros na matriz cimentícia por meio do empacotamento dos agregados e finos. Essa eficiência foi corroborada anteriormente no trabalho de Santos *et al.* (2021), que também utilizou o mesmo RTM e parâmetros de dosagem.

Por meio da aplicação do software Stat Plus, realizou-se uma análise estatística utilizando o teste de Tukey para comparar as resistências médias entre cada traço, como ilustrado na Figura 4.

Figura 5 – Teste de Tukey para resistência à compressão dos concretos.

	T150	T150 5%	T150 10%	REF
T150		Red	Red	Green
T150 5%			Red	Green
T150 10%				Green
REF				
Possui diferença significativa			Não possui diferença significativa	

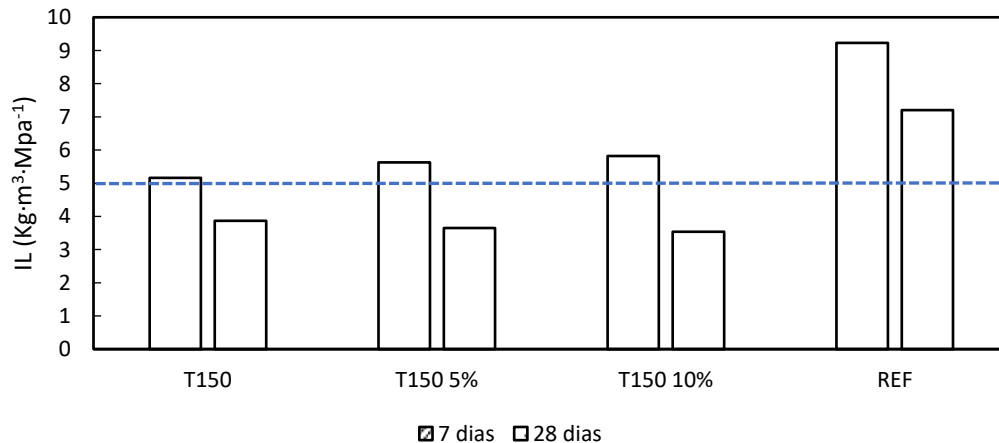
Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com os resultados do teste de Tukey (Figura 5), não foi encontrada diferença significativa entre os traços com resíduo de tijolo moído (RTM), independentemente da adição de cal hidratada. Portanto, a inclusão de 10% de cal hidratada não apresentou um efeito significativo na resistência mecânica dos traços de concreto.

#### 4.3 Índice de ligante

Com base nos resultados dos ensaios de compressão, foi realizado o cálculo do índice de ligante para cada traço nos períodos de 7 e 28 dias, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Índice de Ligante por traço



Fonte: Autoria própria (2023).

Conforme ilustrado na Figura 6, o índice de ligante de cada traço representa a quantidade de cimento em  $\text{kg/m}^3$  necessária para atingir 1 MPa de resistência. Um índice de ligante menor indica uma mistura de concreto mais eficiente. Comparando com o estudo de Daminieli (2013), o autor menciona que concretos com índice de ligante de até  $5 \text{ kg/m}^3\text{MPa}$  são considerados altamente eficientes.

Observa-se que nenhum dos traços alcançou alta eficiência nos primeiros 7 dias, sendo o traço T150 o mais eficiente, com um índice de ligante de aproximadamente 5,16. Em relação à eficiência dos traços aos 28 dias, o T150, T150 5% e T150 10% atingiram alta eficiência de acordo com o estudo de Daminieli (2013), destacando-se o T150 10%, com um índice de ligante de aproximadamente 3,54.

Portanto, a eficiência dos índices de ligante foi positiva para todas as substituições. A análise estatística da eficiência dos ligantes é apresentada na Figura 6.

Figura 7 - Teste de Tukey para eficiência do ligante

	T150	T150 5%	T150 10%	REF
T150				
T150 5%				
T150 10%				
REF				
Possui diferença significativa		Não possui diferença significativa		

Fonte: Autoria própria (2023).

Os traços de concreto com adição de resíduo de tijolo moído (RTM) mostraram-se notavelmente mais eficientes, sendo o T150 10% o mais destacado. Esse traço apresentou uma melhora progressiva, alcançando um aumento de 51% em sua resistência em comparação com o traço de referência REF, que não continha RTM. Esses resultados demonstram um desempenho superior aos encontrados por Santos *et al.* (2021) em concretos com RTM, ressaltando a eficácia da adição de 10% de cal hidratada nesse processo.

#### 4.4 Migração de cloretos

Após a finalização do ensaio de migração de cloretos, seguindo a norma NT Build 492, foram obtidos os resultados para os quatro traços, conforme apresentado na Tabela 5.

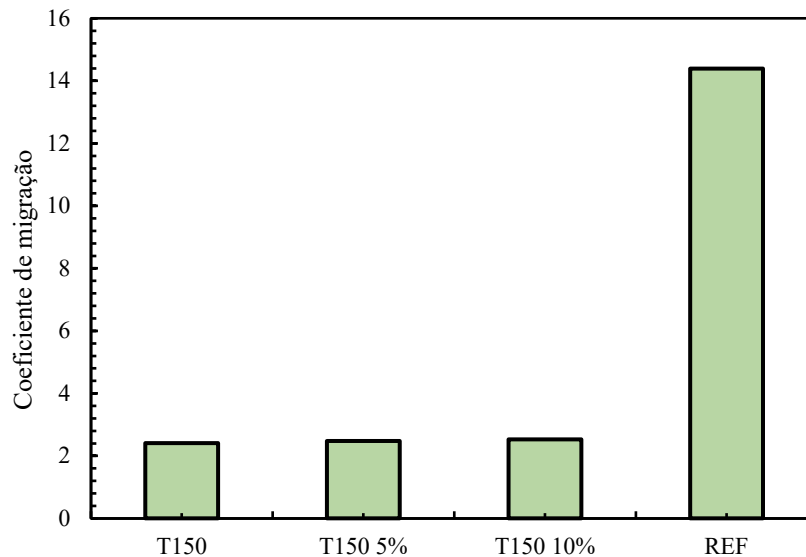
Tabela 5 - Resultado do ensaio de migração para os traços

Concreto	Tensão	Média T	L	Xd	Dnssm	Desvio padrão
Referência	25	27,25	27,25	24,4	14,3961473	0,690845349
T150	30	27	50	5,9	2,40923989	0,034624918
T150 5%	30	26,85	50	5,9	2,47584813	0,061041972
T150 10%	25	26	50	5,4	2,52647133	0,079476623

Fonte: Autoria própria (2023).

Observa-se que os corpos de prova do T150; T150 5% e T150 10% apresentaram médias de profundidade menores em comparação com o traço de Referência, como ilustrado na Figura 8. Isso resultou em valores menores do coeficiente de migração, indicando o efeito positivo do uso de adições na substituição parcial do cimento. O traço T150; T150 5% e T150 10% demonstraram uma redução de cerca de 83% em comparação ao concreto de referência.

Figura 8 – Coeficientes de migração dos íons cloretos nos corpos prova das argamassas estudadas.

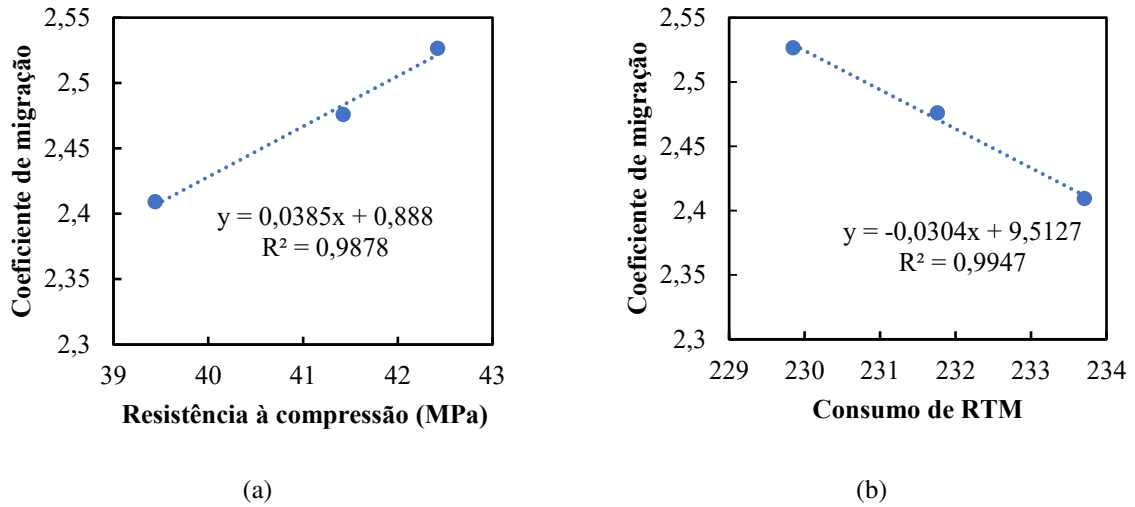


Jerônimo *et. al.*, (2018), que também estudaram RTM verificaram que a substituição parcial do cimento pelo resíduo retardou o ingresso de íons cloreto nos concretos, confirmando o efeito de fixação dos cloretos na matriz através da formação de sal de Friedl. O ensaio de migração rápida no estado não estacionário, apesar do pouco tempo de ensaio e aplicação de tensão, consegue registrar o efeito da fixação dos cloretos na matriz, como mostra a Figura 8, com os concretos T150, T150 5 e T150 10 com coeficientes de migração cerca de 5 vezes menor em relação ao concreto de Referência.

Para entender melhor quais variáveis apresentaram efeito significativo na migração de cloretos, foram plotadas algumas correlações, apresentadas na Figura 9.

Figura 9 – Relação do coeficiente de migração com a resistência mecânica e consumo de RTM.

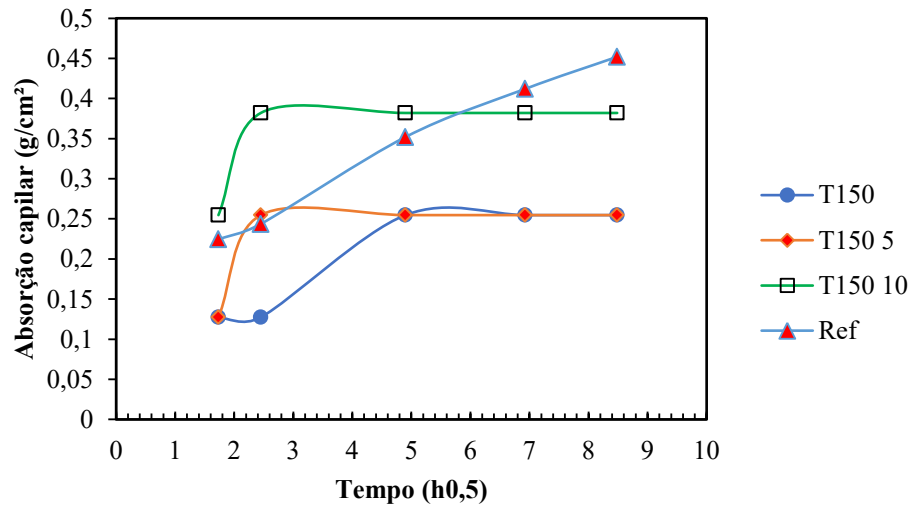




Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 8 (a) e (b) mostra que a capacidade de ligação dos aluminatos do RTM prevaleceu na resposta da migração de cloretos, visto a redução da migração com o aumento do teor de RTM. O aumento da migração com o aumento da resistência mecânica é explicado pela composição dos concretos, o concreto T 150 10, com maior resistência mecânica, possui menos RTM, visto a adição de 10% de cal. Ribeiro et al. (2012) e Dia et al. (2021) também obtiveram resultados semelhantes com concretos com pozolanas.

Figura 10 –Ensaio de absorção dos concretos

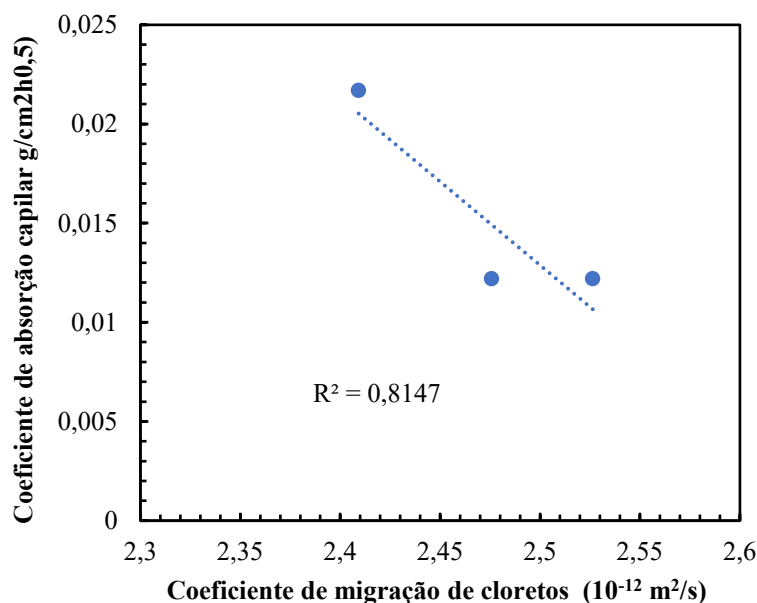


Fonte: Autoria própria (2023).

Pelo resultado da absorção dos concretos na idade de 90 dias verifica-se que os concreto com RTM apresentam uma microestrutura densificada, com destaque aos concretos com adição de cal hidratada, pois a partir da segunda medida de absorção não houve acréscimo de ganho de massa, enquanto o concreto de referencia apresenta ganho de massa ate a última medida em 72h de ensaio.

A Figura 11 mostra a correlação entre o coeficiente de absorção capilar e o coeficiente de migração de cloretos. Esperava-se que a diminuição do coeficiente de absorção diminuísse também o coeficiente de migração, mas observando a Figura 10, constata-se o contrário, o que confirma que a migração de cloretos é determinada pelo teor de RTM no concreto.

Figura 11 – Relação do coeficiente de absorção capilar com o Consumo de Migração



Fonte: Autoria própria (2023).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que a caracterização dos materiais utilizados na pesquisa, incluindo o cimento e o Resíduo de Tijolo Moído (RTM), revelou suas composições e características granulométricas, fornecendo informações importantes para a análise dos resultados, sendo que, as dosagens dos concretos foram feitas pelo software Q-Mix. O cálculo do índice de ligante para cada traço mostrou a quantidade de cimento necessária para atingir uma determinada resistência, em que esses resultados auxiliam na avaliação da eficiência dos concretos.

Os ensaios de resistência à compressão realizados aos 7 e 28 dias demonstraram que o concreto de referência, composto apenas por cimento e esqueleto granular empacotado, apresentou uma resistência significativamente maior em comparação com os traços que utilizaram o RTM como adição. No entanto, a adição de 10% de cal hidratada aos traços com RTM resultou em um aumento notável da resistência, indicando a atividade pozolânica do material.

O empacotamento eficiente dos agregados e finos no concreto T150, sem a adição de cal hidratada, contribuiu para a obtenção de valores elevados de resistência à compressão. A análise estatística dos resultados por meio do teste de Tukey revelou que não houve diferença significativa entre os traços com RTM, independentemente da adição de cal hidratada, isso indica que a inclusão de 10% de cal não teve um efeito significativo na resistência mecânica dos traços de concreto.

Os corpos de prova com adições de T150, T150 5% e T150 10% apresentaram profundidades médias menores em comparação com o traço de Referência. Isso indica que o uso dessas adições na substituição parcial do cimento teve um efeito positivo na redução da migração de substâncias indesejáveis através do concreto. Essa redução foi significativa, com os traços T150, T150 5% e T150 10% apresentando uma redução de, aproximadamente, 83% em comparação com o concreto de referência.

Em suma, os resultados da pesquisa indicam que a adição de RTM ao concreto influencia sua resistência à compressão, com a adição de cal hidratada potencializando esse efeito. Além disso, o empacotamento eficiente dos agregados e o controle preciso da dosagem do concreto mostraram-se importantes para o desenvolvimento das propriedades mecânicas. Esses resultados contribuem para o avanço no conhecimento sobre a utilização de materiais alternativos na produção de concreto, visando a sustentabilidade e a redução dos impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Mapeamento Tecnológico do Cimento, 2014.** Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>>. Acesso em: agosto de 2023.
- ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pilares da sustentabilidade, 2014.** Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/aindustria-do-cimento-e-o-desenvolvimento-do-brasil/>>. Acesso em: agosto de 2023.
- ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Programa Setorial da Qualidade de Cimento Portland, 2015.** Disponível em: <<http://pbqph.cidades.gov.br/download.php>>. Acesso em: agosto de 2023.
- ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, **Coprocessoamento, contribuição efetiva da indústria do cimento para a sustentabilidade, 2012.** Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/cms/wpcontent/files\\_mf/folder\\_coprocessoamento\\_2012.pf/](http://www.abcp.org.br/cms/wpcontent/files_mf/folder_coprocessoamento_2012.pf/)>. Acesso em: agosto de 2023.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry.** 2018.
- AGUIAR, José Eduardo de. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis.** 2006. 173 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- AÏTCIN, P.C. Cements of yesterday and today: concrete of tomorrow. **Cement and Concrete Research.** Canadá, v. 30, n. 9, pág. 1349-1359, 10 jul. 2000.
- ARRUDA, R. **Dosagem e desempenho de concretos com elevadas substituições de cimento por filer de resíduos cerâmicos frente a corrosão de armaduras.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, set. 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 17054:** Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 5738:** Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2016b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

CAMPOS, M. A. *et al.* Utilização de fíler cerâmico e sílica ativa na composição de argamassa com baixo teor de cimento. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 9876-9890, 2019.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, v. 55, p. 18-32, 2009.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. Cortez editora, 2018.

DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes:** controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DAMINELI, B.L; PILEGGI, R. G; JOHN, V. M. Influência do empacotamento e dispersão de partículas no consumo de cimento de concretos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, 2017, v.10, n. 5, p. 998-1024.

DIAS, L. V., SOARES, S. M., SALVADOR FILHO, J. A., Ferreira, F. G. S. Avaliação da migração de cloretos em compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com pó de vidro. **Revista ALCONPAT**, p. 61-75, 2021.

DINGER, D. R.; FUNK, J. E. Particle packing IV – computer modelling of particle packing phenomena. **Interceram**, v. 42, n. 3, p. 150-152. 1993.

DINIZ, H. A.A. *et al.* Effects of the use of agricultural ashes, metakaolin and hydrated-lime on the behavior of self-compacting concretes. **Construction And Building Materials**, v. 319, p. 126087, 2022.

FONSECA, G. C. da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil:** uma abordagem epistêmica. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FONSECA, T. V. *et al.* Evaluation of self-compacting concretes produced with ternary and quaternary blends of different SCM and hydrated-lime. **Construction And Building Materials**, v. 320, p. 126235, 2022.

GOMES, C. P. *et al.* Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Advindos da Construção Civil no Brasil: Uma Revisão de Literatura. **Revista de psicologia**, v. 15, n. 55, p. 729-742, 2021.

HELENE, Paulo. ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. V2, Cap. 27, p. 905 -944.

LONDERO, C. **Dosagem de concreto ecológico com base em empacotamento de partículas**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016, 168 f.

LUKOSEVICIUS, A. P.; GUIMARÃES, J. C. Uso do método estudo de caso em pesquisas de gerenciamento de projetos. **Gestão e Projetos: GeP**, v. 9, n. 2, p. 20-35, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto** - microestrutura, propriedades e materiais. 2ª edição. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto, 2014, 782 p.

NASCIMENTO, T. P. A. Aplicação dos indicadores de sustentabilidade em um canteiro de obras: um levantamento dos ganhos ao se fazer uso dos métodos sustentáveis em um canteiro de obras. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, São Luís, 2020, 71 f.

NAJAFI, A.; MIRZAEI, A.; TABATABAIE, M. E. The effect of recycled concrete aggregate on the compressive strength of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 882-889, 2016.

NORDTEST. NT BUILD 492: **Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments**. Espoo, Nordtest, 1999. 8 p.

OLIVEIRA, Caroline Oliveira e. **Análise das propriedades reológicas de materiais cimentícios associando o conceito de empacotamento de partículas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2013, 141 f.

OLIVEIRA, I. R. *et al.* **Dispersão e empacotamento de partículas** – princípios e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: Fazenda Arte Editorial, 2000.

PETRUCCI, Eladio G. R., **Concreto de cimento Portland**. 13. Ed. Ver. Por Vladimir Antônio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

PITANGA, Â. F. Pesquisa qualitativa ou pesquisa quantitativa: refletindo sobre as decisões na seleção de determinada abordagem. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 8, n. 17, p. 184-201, 2020.

RIBEIRO, D. V.; LABRINCHA, J. A.; MORELLI, M. R. Análise da difusão de cloretos no concreto contendo lama vermelha. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 137-152, 2012.

RIBEIRO, M. S. **Contabilidade ambiental**. São Paulo: Saraiva, 2017.

SANTOS, R. A. **Dosagem e desempenho de concretos com elevadas substituições de cimento por fíler de resíduos cerâmicos frente a corrosão de armaduras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

SANTOS, R. A. *et al.* Use of numerical method for optimization of granulometric curves in eco-efficient concrete. **Matéria** Rio de Janeiro, v. 26, 2021.

SCHMALZ, R. **Durabilidade de argamassas submetidas ao ataque de sulfatos: efeito da adição da nanosílica**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018, 149 f.

SEQUEIRA, E. M.; GHISLENI, G. A influência da adição de filler calcário em substituição parcial ao cimento em argamassa estabilizada de revestimento de paredes e tetos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 20-38, 2020.

SIMÕES, A. F. B. S. **Economia circular na indústria cerâmica**. Tese (Mestrado em Gestão Ambiental) - Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2017, 74 f.

**SIMÕES. Y. S. Análise do comportamento a flexão de vigas de aço parcialmente revestidas com concreto produzido a partir do uso de agregados reciclados em situação de incêndio. 2022. 354.** Tese (Doutorado em Ciências - Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas))- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

SAYRO RHUAN SANTOS LUNA  
SIGNEY EVERTON EDIVAL DE SOUSA

**ESTUDO DO COEFICIENTE DE MIGRAÇÃO NO CONCRETO EM CORPO DE  
PROVA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL POR FILLER CERÂMICOS TÍTULO  
DO TRABALHO**

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

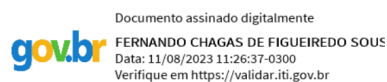
Aprovado em 14 de Julho de 2023

**BANCA EXAMINADORA**



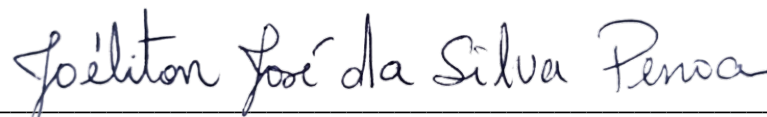
---

Robson Arruda dos Santos – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador



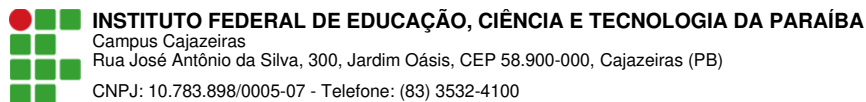
---

Fernando Chagas de Figueiredo Sousa – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1



---

Joéliton José Da Silva Pessoa – E.E.E.P Leopoldina Gonçalves Quezado  
Examinador 2



## Documento Digitalizado Restrito

### TCC

**Assunto:** TCC  
**Assinado por:** Signey Sousa  
**Tipo do Documento:** Anexo  
**Situação:** Finalizado  
**Nível de Acesso:** Restrito  
**Hipótese Legal:** Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)  
**Tipo do Conferência:** Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Signey Everton Edival de Sousa, ALUNO (202022200043) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 14/08/2023 17:13:06.

Este documento foi armazenado no SUAP em 14/08/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 908129  
Código de Autenticação: 816488ac3f

