

ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICOS E MECÂNICOS DE AGREGADO MIÚDO RESIDUAL PARA PRODUÇÃO DE BLOCO DE ANCORAGEM DE CONCRETO

ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF RESIDUAL FINE AGGREGATE FOR PRODUCTION OF CONCRETE ANCHOR BLOCKS

Elias Riffel¹

Marcelo Tadeu Lehmann²

Alexandre Maines³

Pedro Thiago Venzon⁴

RESUMO: A distribuição da água potável é um dos melhores investimentos em saúde pública que pode ser realizado, contribuindo para o controle e prevenção de doenças, hábitos higiênicos e limpeza pública. O abastecimento de água de uma cidade ocorre de forma contínua, por meio de redes de distribuição, compostas por tubulações que transportam água potável de forma eficiente para os consumidores. No entanto, as tubulações estão sujeitas a esforços internos e externos, que precisam ser absorvidos e transferidos para o solo. Dentre os esforços externos, destaca-se a força de empuxo, resultante da mudança de direção do fluxo da água. Para absorver essa força, uma das soluções adotadas é a construção de blocos de ancoragem, que garantem a estabilidade das tubulações. Nesse contexto, o objetivo foi avaliar a utilização do resíduo de captação de água (RCA) gerado pela estação de tratamento de água como substituto do agregado miúdo (areia industrial) natural na fabricação de concreto para produção de blocos de ancoragem na rede de distribuição de água. O trabalho foi delineado por uma pesquisa bibliográfica associada a um estudo de campo para a solução dos objetivos. Os resultados obtidos indicaram que o RCA é uma alternativa sustentável e eficaz para a fabricação dos blocos de ancoragem em sistemas de abastecimento de água, oferecendo benefícios tanto ambientais quanto estruturais.

Palavras-chave: bloco de ancoragem; empuxo hidráulico; construção sustentável.

ABSTRACT: *The distribution of drinking water is one of the most valuable investments in public health, as it plays a crucial role in controlling and preventing diseases, promoting hygiene habits, and maintaining public cleanliness. The water supply of a city occurs continuously through distribution networks composed of pipes that transport drinking water efficiently to consumers. However, the pipes are subject to internal and external forces, which could absorb and transfer to the soil. Among the external forces, the buoyancy force stands out, resulting from the change in the direction of the water flow. To counteract this force, one viable solution is constructing anchoring blocks that ensure the pipes remain stable. We examined the feasibility of utilizing water collection residue (WCR) from treatment plants as a replacement for conventional fine aggregate in concrete production for these blocks. This research combines a bibliographic review with a field study to achieve its objectives. The results indicated that WCR is a sustainable and effective alternative for the manufacturing of anchoring blocks in water supply systems, offering both environmental and structural benefits.*

¹ Mestre em Engenharia de Processos. UNIFE. E-mail: eliasriffel@unifebe.edu.br

² Bacharel em Engenharia Civil. UNIFE. E-mail: marcelo.lehmann@unifebe.edu.br

³ Doutor em Engenharia de Produção. UNIFE. E-mail: alexandremaines@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Ambiental. UNIFE. E-mail: pedro.venzon@unifebe.edu.br

Keywords: anchor block; hydraulic thrust; sustainable construction.

1 INTRODUÇÃO

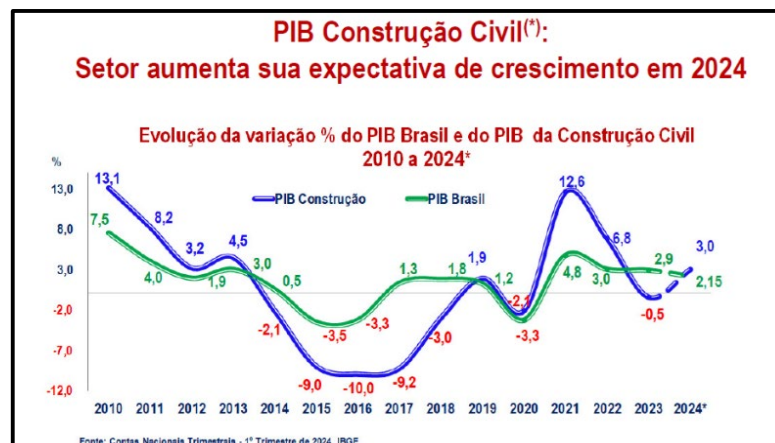
A construção civil é um setor da indústria que envolve grande quantidade de variáveis, sendo desenvolvida em um ambiente mutável e dinâmico, tornando o gerenciamento de uma obra um trabalho complexo (Pereira; Azevedo, 2020).

A construção civil no Brasil enfrenta uma série de desafios que podem moldar o cenário do segundo semestre do ano de 2024. À medida que o país busca fortalecer sua infraestrutura, várias questões desafiadoras surgem, demandando atenção e soluções estratégicas para o setor, oferecendo oportunidades para inovações (FEICON, 2024).

O setor da construção civil no Brasil se destacou entre os setores econômicos no segundo semestre de 2024, impulsionado pela resiliência do mercado de trabalho, novos programas habitacionais e leves reduções na taxa de juros que, aliados ao dinamismo do mercado atual, estimularam o bom desempenho do setor (CBIC, 2024).

Ainda, segundo o mesmo autor, o nível de atividade da construção civil no país se manteve em relação ao primeiro semestre do ano de 2023, sinalizando uma estabilidade no mercado da construção civil. Em função de certos fatores econômicos, o crescimento de 2,3% do PIB da construção civil previsto para o primeiro semestre do ano de 2024 foi revisado e a expectativa do crescimento passou para 3% neste ano, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 - PIB da construção civil



Fonte: CBIC (2024).

De acordo com o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (Brasil, 2024.c), é previsto um aporte de 30,5 bilhões de reais até 2026, destinados ao setor de infraestrutura hídrica, como grandes obras, sistemas de abastecimento de água e iniciativas para revitalizações de bacias hidrográficas no Brasil.

O acesso à água potável é um fator importante para a saúde pública; quando as comunidades possuem acesso à água limpa, a incidência de doenças acaba sendo significativamente reduzida, resultando em menos gastos públicos com tratamentos médicos, como afirmado pela Associação das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto - ABCON SINDCON (2023).

O abastecimento de água de uma cidade é realizado em regime contínuo para a população através das redes de distribuição, sendo constituídas por tubulações e acessórios instalados nas vias públicas, fornecendo, assim, água potável em quantidade, qualidade e pressão adequadas aos consumidores (Heller; Pádua, 2010).

Segundo Tsutiya (2006), as tubulações geram esforços internos e externos que necessitam ser absorvidos e transferidos para o solo, e até mesmo para outras estruturas. Os esforços externos são provenientes da mudança de direção do fluxo do líquido, como uma curva, um tee, reduções e válvulas fechadas ou parcialmente fechadas, assim, a pressão interna não é anulada em todos os sentidos do conduto. A forma mais conhecida para absorver a força resultante desta mudança de direções é a construção de blocos de ancoragem.

O estudo tem como finalidade realizar ensaios experimentais para verificação do agregado miúdo, neste estudo denominado de RCA, como material componente de um traço experimental (TE) de concreto para produção de blocos de ancoragem com aplicação na tubulação de recalque de água para abastecimento urbano. Nesse contexto, indaga-se a seguinte questão problema: quais são os resultados dos ensaios de análise granulométrica e de resistência mecânica do RCA para aplicação no TE de concreto para produção de blocos de coroamento?

Nesse contexto, a pesquisa teve como objetivo geral avaliar a utilização do resíduo de captação de água (RCA) gerado pela estação de tratamento de água como substituto do agregado miúdo (areia industrial) natural na fabricação de concreto para produção de blocos de ancoragem na rede de distribuição de água. Com base no objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) determinar o módulo de finura (MF) por meio da composição granulométrica obtida no agitador de peneiras da série normal do agregado RCA proveniente da estação de tratamento de água; (ii) demonstrar os cálculos da força de empuxo hidráulico (FEH) na tubulação da rede de abastecimento e tratamento de água; e, (iii) realizar análise comparativa entre a força de ruptura por compressão (FRC) com a força de empuxo hidráulico (FEH) em ensaio mecânico de compressão axial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

CONTEXTO HISTÓRICO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A História da humanidade pode ser escrita baseada nas formas pelas quais o homem vem utilizando as águas do planeta, ou seja, a civilização foi dominando os diferentes processos de uso das águas. No decorrer dos séculos, o homem aprendeu a encontrar, tratar, armazenar e distribuir a água para seu próprio consumo (Pinto- Coelho; Havens, 2016). O homem, desde os seus ancestrais simiescos, provocou viver próximo a uma fonte de água qualquer. A civilização humana sempre dependeu e dependerá da água e, obviamente, foram assim com os povos da antiguidade (Rocha, 2016).

Os povos romanos destacaram-se pela construção de grandes sistemas de abastecimento de água, denominados aquedutos. Contudo, o primeiro aqueduto conhecido foi construído por Ezequiel, rei do Judá, em Jerusalém, em 700 a.C. Os aquedutos abasteciam as cidades com a água dos lagos por meio de fontes artificiais. Além disso, essas obras abasteciam as termas (banhos públicos) muito apreciadas pela população da época. Os banhos públicos eram comuns em Roma, por volta de 300 d.C. (Pinto-Coelho; Havens, 2016).

Os primeiros relatos de aquedutos sendo utilizados na Roma antiga foram por volta de 300 a.C. Os romanos desenvolveram extensos sistemas para a distribuição de água para as suas cidades. As águas eram coletadas e armazenadas em cisternas nas partes mais elevadas e distribuídas por meio de gravidade através do sistema de tubulações para os chafarizes das cidades e salas de banhos públicas, e até mesmo para algumas pessoas privilegiadas da sociedade (Cech, 2013). Ainda, conforme o mesmo autor, o sistema de infraestrutura de abastecimento de água da Roma antiga permitiu que tanto as cidades romanas quanto a população crescessem, tornando-se, assim, uma potência nos tempos passados.

No Brasil, o governo federal criou, em 1971, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), como um marco para o setor de água e esgoto, configurando a primeira experiência em todo o país que procurou modificar os índices precários que este setor tinha até então. O PLANASA apresentou os objetivos de erradicar o déficit e promover o equilíbrio entre oferta dos serviços de saneamento e a sua demanda urbana. Além disso, destacou a meta de que 80% da população urbana brasileira fosse atendida com abastecimento de água, e 50% com serviços de esgoto, até 1980 (Instituto Trata Brasil, 2024). De forma sucinta, o histórico do setor de saneamento básico no Brasil pode ser analisado segundo os eventos relacionados no Quadro 1.

Quadro 1 - Evolução dos marcos regulatórios de água e esgoto

Descrição do período	Período
Plano Nacional do Saneamento (Planasa)	1971-1986
Hiato Regulatório	1986-2007
Lei Federal n.º 11445 (Lei do Saneamento)	2007
Política Nacional de Saneamento Básico (Plansab)	2013
Lei Federal n.º 14026 (Novo Marco Legal do Saneamento Básico)	2020

Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2024).

Segundo Vilarinho e Couto (2023), o ponto mais destacado da atualização do marco legal da Lei do Saneamento foram as metas de universalização dos serviços, atendendo 99% da população com água potável e abrangendo 90% com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033. No âmbito da regulação, uma das mudanças mais significativas foi a transformação da Agência Nacional de Águas (ANA) em Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANASB).

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), define-se saneamento como o controle dos fatores do meio físico do ser humano, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. Pode-se também dizer que saneamento é o conjunto de medidas realizadas, visando a preservação das condições ambientais, de modo a melhorar a qualidade de vida da população e facilitar a atividade econômica (Brasil, 2021).

Segundo a Lei n.º 11445 de 2007, atualizada pela Lei n.º 14026 de 2020, define-se saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, além de esgotamento sanitário. A prestação dos serviços é orientada pela visão integrada dos quatro componentes e a sua articulação com políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e a sua erradicação, de promoção da saúde, dos recursos hídricos, de proteção ambiental e de outras áreas de interesse social relevante, destinadas à melhoria da qualidade de vida para as quais o saneamento básico seja fator determinante (Brasil, 2023).

O sistema de abastecimento de água pode ser projetado e concebido para atender a grandes cidades ou a pequenos povoados, variando nas características e no porte das suas instalações. O sistema constitui-se das seguintes etapas: captação da água da natureza, adequação da sua qualidade ao padrão potável, transporte até os aglomerados humanos e fornecimento à população em quantidade compatível com as suas necessidades (Instituto Trata Brasil, 2012).

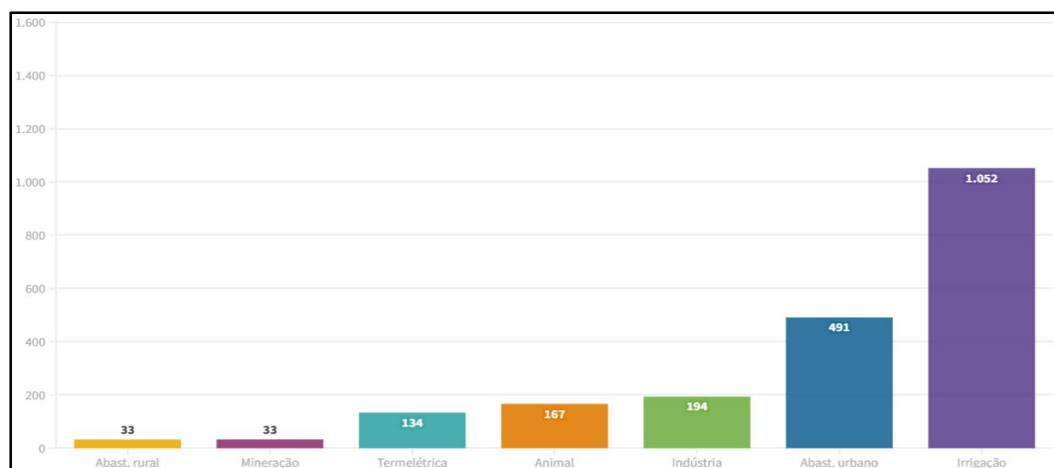
Consoante os dados de 2018 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), cerca de 83,6% dos brasileiros possuem acesso básico ao serviço de abastecimento de água (ANA, 2025).

Os principais usos consuntivos setoriais da água no Brasil são o abastecimento humano (entre urbano e rural) e animal, a indústria de transformação, a mineração, a termoelectricidade e a agricultura irrigada. Atualmente, a retirada total de água no Brasil é de 88,8 trilhões de litros ao ano ($2.816 \text{ m}^3/\text{s}$), sendo 27% de evaporação líquida e 73% por setores específicos (usos setoriais). Dentre os setores, a agricultura irrigada, o abastecimento urbano e a indústria de transformação somam cerca de 85% do total.

A evolução dos usos da água foi expressiva nas últimas décadas - a retirada para os usos setoriais expandiu em 550 bilhões de litros médios anuais entre 1940 e 1980, acelerando para 830 bilhões entre 1980 e 2000 e para 1,30 trilhões entre 2000 e 2021 (Brasil, 2024.b).

A Figura 2 demonstra a evolução dos usos setoriais relativos a 2023.

Figura 2 - Retirada em m^3/s dos usos setoriais



Fonte: Brasil (2024.a)

A demanda de água no Brasil passou por diversas transformações ao longo da história, impulsionadas pela urbanização, crescimento populacional, desenvolvimento industrial e mudanças no estilo de vida da sociedade. A demanda no país vem crescendo continuamente ao longo dos anos, com destaque para o abastecimento das cidades, da agricultura irrigada e da indústria de transformação, que somam cerca de 83% do total. A demanda de água pode sofrer alterações por conta de fatores relacionados a questões econômicas, climáticas ou ambientais. Um dos principais aspectos está relacionado ao crescimento populacional, pois o aumento do número de habitantes resulta em maior necessidade de água, seja para uso direto das pessoas, seja para produção de bens de consumo e serviços (Brasil, 2024.a).

SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Segundo a ABNT (NBR 12218, 2017) o sistema de distribuição de água é definido como o conjunto das tubulações e os seus acessórios, destinado a fornecer água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas.

Heller e Pádua (2010) definem rede de distribuição como a forma com que as tubulações são instaladas, formando assim a rede de condutos interligados entre si e possibilitando diversas derivações para a distribuição de água potável aos imóveis abastecidos.

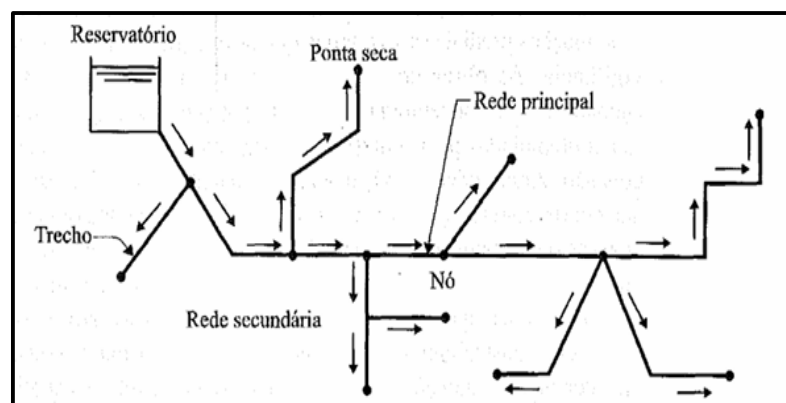
Um sistema de abastecimento de água é constituído por dois tipos de canalizações. A canalização principal, que também é denominada conduto tronco, são tubulações de maior diâmetro cuja finalidade é abastecer as canalizações secundárias, que são tubulações de menor diâmetro e a sua função é abastecer diretamente os pontos de consumo do sistema de abastecimento (Tsutiya, 2006).

As redes de distribuição de água podem ser classificadas com a disposição das tubulações principais e secundárias em redes ramificadas, redes malhadas ou mistas.

2.3.1 Rede de distribuição ramificada

Este tipo de rede é classificado como ramificada quando o abastecimento ocorre por meio de uma tubulação tronco, alimentada por um reservatório e a distribuição é feita diretamente para os condutos secundários, tendo o conhecimento do sentido da vazão em todo o trecho da tubulação (Tsutiya, 2006). A Figura 3 mostrou esta tipologia.

Figura 3 - Rede de distribuição ramificada

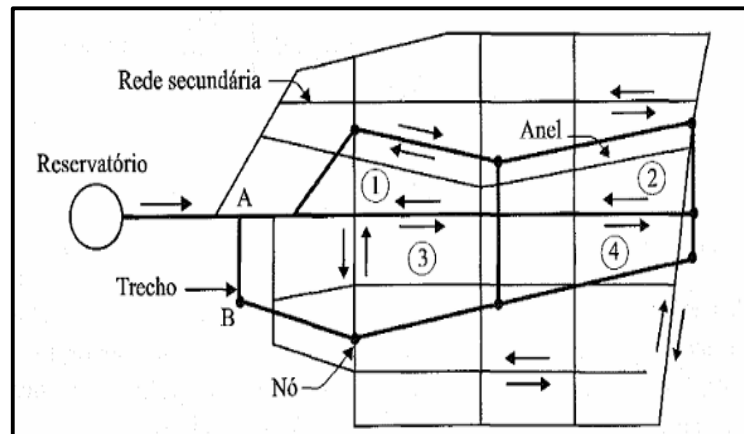


Fonte: Tsutiya (2006).

2.3.2 Rede de distribuição malhada

As redes de distribuição malhadas são constituídas pelas tubulações principais e secundárias formando um tipo de anel entre si, de modo que o abastecimento é feito com qualquer ponto do sistema. Nesse tipo de sistema o sentido da vazão da tubulação é desconhecido (Tsutiya, 2006), conforme representada na Figura 4.

Figura 4 - Rede de distribuição malhada



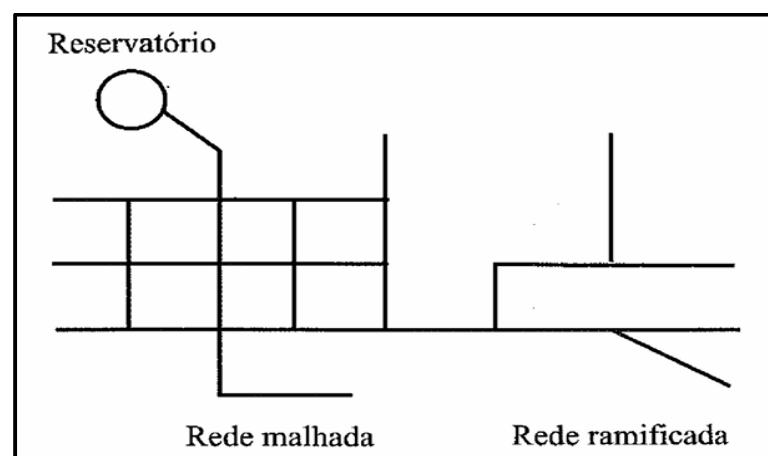
Fonte: Tsutiya (2006).

2.3.3 Rede de distribuição mista

A rede de distribuição mista é a combinação das redes de distribuição ramificadas e as redes de distribuição malhadas no mesmo sistema de abastecimento.

A Figura 5 detalhou a distribuição mista.

Figura 5 - Rede de distribuição mista



Fonte: Tsutiya (2006).

2.4 FORÇA DE EMPUXO

As tubulações de água podem gerar esforços internos e externos. Os esforços internos são absorvidos pela própria tubulação, contudo, os esforços externos provenientes da mudança de direção do fluxo do líquido, como curvas, reduções, válvulas fechadas e até mesmo derivações, não são absorvidas pela tubulação (Tsutiya, 2006). Os principais pontos onde ocorrem os esforços desequilibrantes são as conexões das tubulações realizadas com juntas elásticas (Lasmar, 2010).

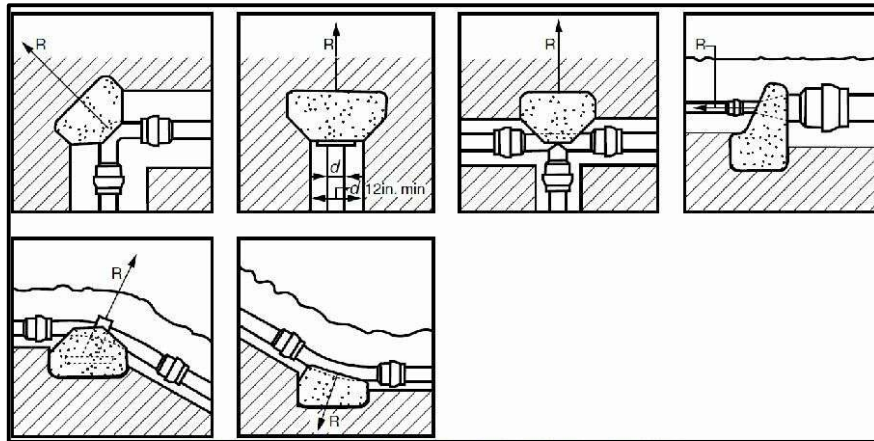
Ainda de acordo com Tsutiya (2006), as tubulações estão sujeitas a alguns tipos de esforços, entre os quais: 20

- a) Tensão tangencial:** Causada pela pressão interna do líquido;
- b) Tensão longitudinal:** Causada pela pressão interna do líquido, quando ocorre mudança de direção ou obstrução do fluxo do líquido;
- c) Tensão longitudinal devido às variações térmicas:** Causada pela mudança de temperatura;
- d) Tensões de compressão e flexão:** Causadas pelo peso próprio da tubulação, peso da água ou por cargas externas;
- e) Tensão de apoio:** causadas pelas reações dos apoios onde a tubulação está assentada.

De acordo com as prescrições da ABNT (NBR 17015, 2022), nas tubulações de água pressurizadas que utilizam juntas elásticas, devem ser executadas ancoragens nas peças aplicadas que geram tensões longitudinais. As ancoragens devem ser de concreto, madeira de lei ou até mesmo em aço.

Ainda como disposto na mesma instrução normativa, para tubulações com diâmetro nominal de até 0,10 m (100 mm) são consideradas ancoragens de pequeno porte, podendo ser executadas com pontaletes de madeira. Para tubulações com diâmetros superiores a 0,10 m (100 mm), devem ser executados blocos de ancoragem de concreto conforme exemplos da Figura 6.

Figura 6 - Exemplos de blocos de ancoragem



Fonte: ABNT (NBR 17015, 2022).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa visa analisar os parâmetros físicos e mecânicos do agregado miúdo proveniente da coleta de água de uma estação de tratamento, neste estudo denominado de RCA, sendo completamente substituído pelo agregado miúdo de um traço de referência (TR) definido e adotado para a fabricação do concreto dos blocos de ancoragem da rede de distribuição de água, tais análises permitiram classificar a natureza aplicada da pesquisa.

Na abordagem relativa ao problema, a pesquisa tem configuração qualitativa, em função da expressividade dos seus conceitos e definições, conforme Gonçalves *et al.* (2014), visando por descrever e decodificar um sistema de significados; em outra parte do todo, a pesquisa também tem perfil quantitativo, expresso pelos índices numéricos que compõem os resultados esperados. Gerhardt e Silveira (2009) avaliam que a pesquisa quantitativa enfatiza os atributos mensuráveis da experiência.

Conforme os seus objetivos, o estudo foi delineado como descritivo, cujo propósito é descrever as características do fenômeno, o estabelecimento da relação entre as variáveis e o descobrimento da existência de associações entre as variáveis (Gil, 2016).

Em relação à coleta de dados, a pesquisa foi estabelecida em conjunto de dois procedimentos técnicos de pesquisa: bibliográfica e estudo de campo.

- Na etapa bibliográfica, foram coletadas informações consolidadas de fontes, como livros, normas técnicas, trabalhos acadêmicos, artigos de periódicos, entre outros. Conforme reforçam Marconi e Lakatos (2017), isso abrange toda a bibliografia já tornada pública.

- O estudo de campo foi configurado pela coleta de amostras do agregado RCA no ponto de captação de água para a rede de abastecimento. Marconi e Lakatos (2017), ainda descrevem que o estudo de campo consiste na observação de fatos e coleta de dados que se presumem relevantes para analisá-los.

3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Segundo Matias-Pereira (2019), população ou universo da pesquisa é a totalidade de indivíduos que possuem as mesmas características definidas para um determinado estudo. Nesta pesquisa, os elementos abordados como população foram representados pelos diversos tipos de agregados, sendo eles agregados graúdos e miúdos.

Ainda segundo Matias-Pereira (2019), amostra é parte da população ou do universo, selecionada de acordo com uma regra ou plano. A amostra pode ser probabilística ou não probabilística. Nesta pesquisa, a amostra foi classificada, sendo o agregado miúdo definido como resíduo de captação de água (RCA).

3.3 INSTRUMENTOS DA PESQUISA

Os instrumentos de pesquisa utilizados na realização da pesquisa consistem na utilização de agitador de peneiras para análise granulométrica do agregado miúdo coletado no desarenador do processo de captação de água, betoneira elétrica para produção de concreto, formas metálicas para ensaios de rompimento dos corpos de prova (CP) e prensa hidráulica para rompimento e análise dos CP.

3.4 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

3.4.1 Coleta do material

O agregado miúdo RCA é um resíduo que está integrado na água captada para tratamento e distribuição no sistema de abastecimento na cidade de Guabiruba–SC, sendo coletada diretamente do Rio Lageado Alto. O material entra no sistema e é descartado em tanques, conhecidos como leito de secagem, quando todo o sistema precisa ser limpo. Na Figura 7, observa-se o resíduo captado no leito do rio.

Figura 7 - Agregado miúdo no leito do rio



Fonte: os autores (2024).

3.4.2 Secagem do material

O método escolhido para a secagem do material foi a utilização de uma estufa, sendo o método mais comum de secagem utilizado, garantindo que a umidade seja totalmente removida do material sem alterar as características físicas das partículas com uma temperatura controlada desde o início da secagem. Após o material ser coletado, ele foi separado em bandejas e deixado para secar numa estufa a 100 °C +/- 5 °C durante 48 horas, como apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Material na estufa



Fonte: os autores (2024).

A secagem do material antes da análise granulométrica é uma etapa fundamental para garantir que os resultados sejam precisos, evitando os desvios nas características do material, sem interferências externas, como a umidade. Segundo a norma técnica ABNT (NBR 17054, 2022), na sua subseção 6.1.1, deve-se secar as amostras durante 24 h ou até massa constante, à temperatura de 105 ± 5 °C. A massa é considerada constante quando a variação entre duas pesagens consecutivas, em intervalo de pelo menos 1h, for inferior a 0,1%.

3.4.2 - Realizar análise granulométrica do material escolhido

Após as 48 horas de secagem do material, foram realizados 10 testes de granulometria conforme a ABNT (NBR 17054, 2022) com as peneiras da série normal: 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 µm; 300 µm, 150 µm e o fundo, com utilização de uma balança digital para as pesagens, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Teste de granulometria



Fonte: os autores (2024).

O módulo de finura (MF), obtido do ensaio de granulometria, é um índice que expressa a finura do agregado miúdo. O valor do módulo de finura é obtido por meio da equação 01.

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Retido acumulado}}{100} \quad (\text{equação 01})$$

Onde: $\Sigma \% \text{ Retido acumulado}$ = somatório do percentual acumulado do material nas peneiras da série normal com as malhas 9,5mm, 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600 µm, 300 µm e 150 µm (descartando o fundo para cálculos).

3.4.4 Elaboração da mistura de concreto

A mistura de concreto, neste estudo denominada traço experimental (TE), foi definida considerando a produção de 9 corpos de prova com volume estimado em 0,0157 m³. O concreto foi calculado para a resistência à compressão (fck) de 20 MPa, sendo utilizado na sua composição o cimento, brita 0, brita 1, areia fina, areia industrial e o RCA, com fator água/cimento = 0,6, conforme dosagem de 1 m³ do traço de referência (TR) apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição do TR

Volume necessário			1,00 m ³		
Cimento (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Areia fina (kg)	Areia Industrial (kg)	Água (kg)
320	370	555	280	640	192

Fonte: os autores (2024).

A quantidade de materiais necessários para a execução do TE foi calculada e desdobrada para o volume amostral, conforme representado na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição do TE

Volume necessário				0,0157 m ³	
Cimento (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Areia fina (kg)	RCA (kg)	Água (kg)
5,00	5,80	8,70	4,40	10,00	3,00

Fonte: os autores (2024).

4.3.5 Execução do TE de concreto

O material foi pesado e, posteriormente, adicionado à betoneira; após o concreto ser misturado, foi realizado o ensaio de *Slump Test* e a produção de 9 corpos de prova para análise posterior da resistência (fck) como apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Corpos de prova



Fonte: os autores (2024).

Na confecção dos CPs, foram utilizadas formas cilíndricas de Φ 10 cm, que após o período de cura em submersão de 28 dias, realizou-se o ensaio de resistência à compressão axial, conforme a ABNT (NBR 5739, 2018).

3.4.6 Rompimento dos CP

Após 14 dias da concretagem dos corpos de prova, foram realizados o rompimento de 2 CPs, para uma análise inicial e verificação prévia da resistência do concreto, que alcançou o valor de 14,75 MPa. Após 28 dias, os 7 CPs restantes foram rompidos para a verificação da resistência final de compressão do concreto, atingindo-se o valor de 20,82 Mpa. Dessa forma, atendendo à determinação normativa para concretos estruturais de Classe I. Os rompimentos foram realizados por meio da prensa Emic SSH300 disponível no Laboratório de Solos e Materiais do Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, como apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Rompimento do CP



Fonte: os autores (2024).

3.4.7 Equação da força de empuxo

O cálculo da força resultante exercida pela tubulação de água pode ser calculado, aplicando o teorema de Euller, porém, no ambiente da construção civil, Tsutiya (2006) afirma que é comum utilizar-se uma expressão simplificada do teorema, conforme descrito na equação 02.

$$r = k \times p \times a \quad \text{(equação 02)}$$

Onde: r = Força de empuxo hidráulico (kgf);

p = Pressão interna máxima (kg/cm²);

a = Seção transversal (externa) (cm²);

k = Coeficiente em função da geometria da peça:

- Flanges, caps e tês: $k = 1$
- Reduções: $k = A'/A$ (A' = seção de menor diâmetro)
- Curvas de ângulo Θ : $k = 2 \sin \Theta/2$
- Curvas de ângulo 90°: $k = 1,414$
- Curvas de ângulo 45°: $k = 0,765$
- Curvas de ângulo 22° e 30°: $k = 0,390$
- Curvas de ângulo 11° e 15°: $k = 0,196$

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DO MÓDULO DE FINURA

A análise granulométrica é um método de ensaio utilizado para determinar o tamanho das partículas de agregados miúdos e graúdos, sendo indispensável tal análise para entender a composição do material. Os testes realizados foram baseados na ABNT (NBR 17054, 2022). Após os ensaios de 10 conjuntos amostrais do RCA e a utilização da equação 01, obteve-se o valor do módulo de finura (MF) médio de 3,53, mostrado no Quadro 3, constatando que o material utilizado classifica-se como uma areia grossa, conforme representado no Quadro 4.

Quadro 3 – Módulo de finura

Testes	MF
Teste 1	3,48
Teste 2	3,71
Teste 3	3,72
Teste 4	3,37
Teste 5	3,69
Teste 6	3,45
Teste 7	3,57
Teste 8	3,48
Teste 9	3,43
Teste 10	3,42
Média	3,53

Fonte: Os autores (2024).

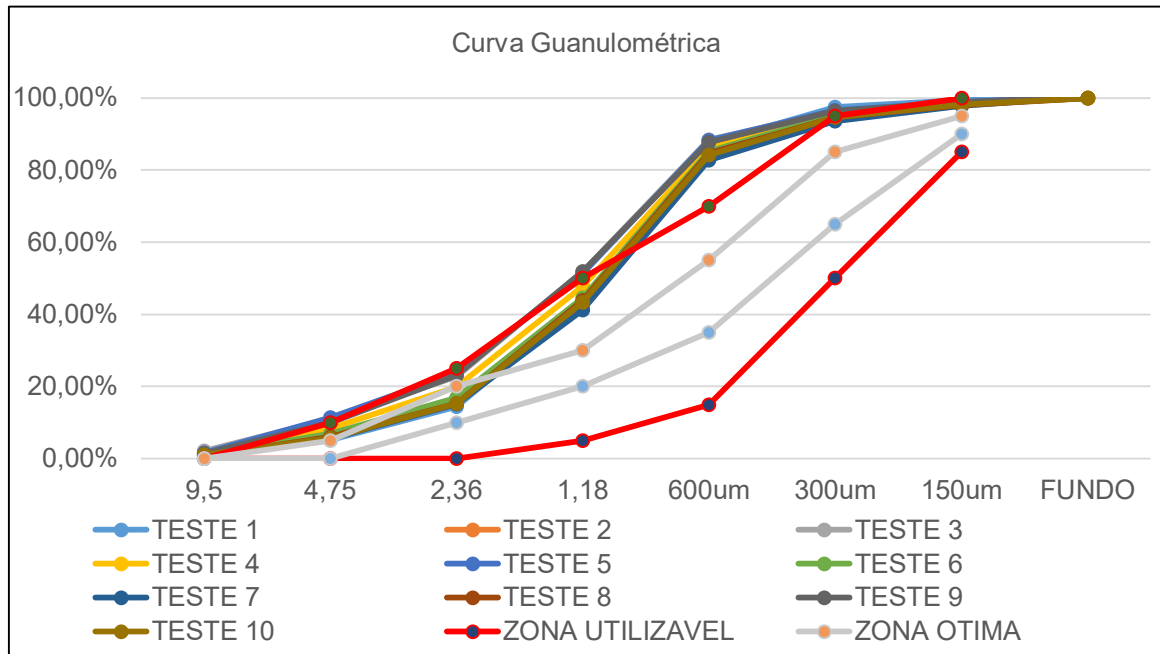
Quadro 4 – Classificação do módulo de finura

Tipos	Módulo de finura (MF)	Utilização
Areia grossa	$MF > 3,3$	Chapisco e concreto
Areia média	$2,4 < MF < 3,3$	Emboço e concreto
Areia fina	$MF < 2,4$	Reboco

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2013).

No Gráfico 1 foi apresentada a curva granulométrica do material ensaiado, onde pode ser observado que o material possui características uniformes em todas as análises granulométricas executadas.

Gráfico 1 - Ensaio de granulometria da amostra



Fonte: autores (2024).

O resultado do ensaio de granulometria do conjunto amostral, pela análise das médias representadas no Quadro 3, indica que o $MF = 3,53$ obtido é característico para a utilização em concreto. Na avaliação do gráfico, considerando os intervalos das zonas ótima e utilizável, foi verificado um desvio apenas na peneira de malha 600 µm. Para as demais malhas de peneiras, o material ficou contido e sobrepôs a zona utilizável, conforme os parâmetros normativos.

4.2 FORÇA DE EMPUXO HIDRÁULICO (FEH)

A força de empuxo é a força que a água exerce sobre os tubos ou conexões do sistema de abastecimento de água e até mesmo a força do movimento da água e a sua pressão de serviço. O empuxo, em termos simples, pode ser compreendido como “força para fora” que a água exerce sobre as superfícies da tubulação.

As principais fontes geradoras de empuxos nas tubulações são as mudanças de direção do fluxo da água, principalmente em elementos que realizam conexões com junta elástica, como um tê ou uma curva. Tais elementos são encontrados nos modelos de abastecimento, como nas redes malhadas e nas redes ramificadas.

De acordo com Lasmar (2010), os esforços resultantes do empuxo hidráulico podem atingir valores extremamente elevados, propensos inclusive a desencaixar os componentes das tubulações, provocando problemas para o abastecimento de água.

Para contexto de cálculo, foi considerada uma situação hipotética com a conexão menos favorável para uma ancoragem de uma curva de ângulo 90° com diâmetro de 200 mm com pressão máxima de 70 mca; utilizando-se a equação 02 e transformando as unidades para o cálculo, obteve-se o seguinte resultado:

Dados:

$$A = 220\text{mm} \rightarrow 22\text{cm}$$

$$P = 0,7 \text{ MPa} \rightarrow 7,15 \text{ kg/cm}^2$$

$$K = 1,414 \text{ (Curvas de ângulo } 90^\circ \text{)}$$

Equação aplicada:

$$r = k \times p \times a$$

$$r = 1,414 \cdot 7,15 \cdot \frac{\pi \cdot 22^2}{4}$$

$$r = 3843,16 \text{ kgf}$$

Assim posto, no resultado do cálculo de empuxo aplicando-se a equação 02 foi determinado o valor FEH = 3.843,16 kgf exercida pela curva. O empuxo hidráulico é dificilmente absorvido pelo terreno, assim, para melhor absorção das forças geradas, aconselha-se a construção de um bloco de concreto para suportar a força solicitante.

4.3 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO

A resistência do concreto é um dos parâmetros importantes que determinam a *performance* e a durabilidade de um elemento estrutural. Ela denomina a capacidade do elemento suportar cargas sem sofrer falhas ou grandes deformações ao ponto de afetar a sua estabilidade estrutural.

A resistência do concreto é medida por meio do teste de compressão axial, f_{ck} , de corpos de prova cilíndricos, especificado pela ABNT (NBR 5739, 2018), em que é avaliada a força máxima que o CP consegue suportar antes de se romper.

Os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão axial após 28 dias de cura do concreto estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise dos CPs

Corpo de prova	Área (mm ²)	FRC (kN)	Resistência à compressão (MPa)	FRC (kgf)
CP 1	7853,98	161,28	20,5	16445,40
CP 2	7853,98	158,49	20,2	16160,91
CP 3	7853,98	156,83	20,0	15991,64
CP 4	7853,98	164,87	21,0	16811,46
CP 5	7853,98	166,70	21,2	16998,06
CP 6	7853,98	168,10	21,4	17140,82
CP 7	7853,98	168,27	21,4	17158,15
Média	7853,98	163,51	20,81	16672,35

Fonte: os autores (2024).

4.3.1 Força de ruptura por compressão (FRC)

A resistência característica à compressão é um valor crítico para os projetos de engenharia civil, determinados a partir de ensaios laboratoriais, cuja verificação garante que o concreto tenha a capacidade necessária para suportar as cargas exigidas.

Conforme a ABNT (NBR 8953, 2015), a resistência característica à compressão que um concreto deve possuir para ser considerado concreto estrutural é a partir de 20 MPa aos 28 dias. As classes de resistências do concreto, que se caracterizam como concreto estrutural, variam desde 20 MPa até 100 MPa.

Após os rompimentos serem realizados, foi obtida a resistência média de 20,82 MPa, assim, o concreto fabricado foi classificado como concreto C20 e a sua classe de resistência grupo I, como pode ser observado na Figura 12. Isso indica que os materiais empregados nas proporções do TE do concreto foram adequadamente dosados e, com o período de cura dos CP atendendo às prescrições normativas, verificou-se a validade da composição do traço como resposta eficiente às ações das cargas previstas.

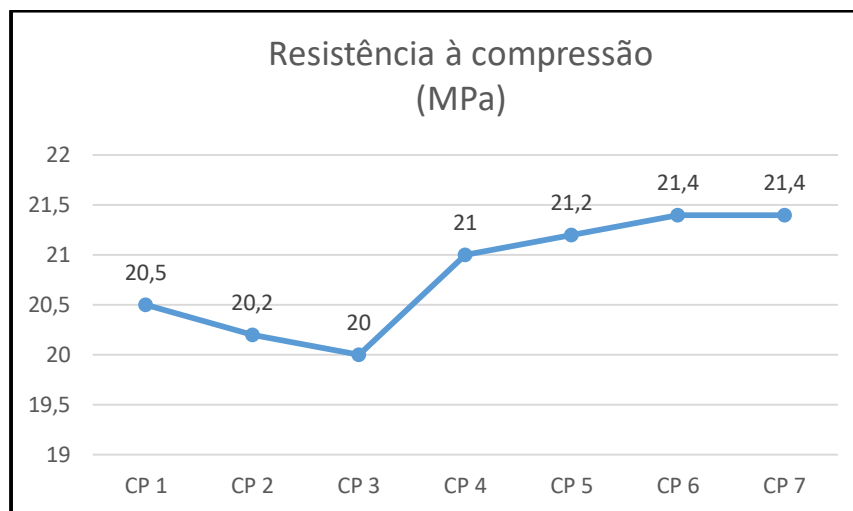
Figura 12 - Grupos de classes de resistência

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT (NBR 8953, 2015).

Ao analisar os resultados obtidos nos ensaios de rompimento efetuados segundo o demonstrado no Gráfico 2, observa-se que o concreto executado atendeu às exigências mínimas estabelecidas pelas normas técnicas vigentes da ABNT (NBR 8953, 2015). Assegurando, assim, os requisitos de resistência à compressão e durabilidade necessários ao comportamento estrutural do bloco de coroamento das tubulações do sistema de abastecimento.

Gráfico 2 - Resistência à compressão (MPa)



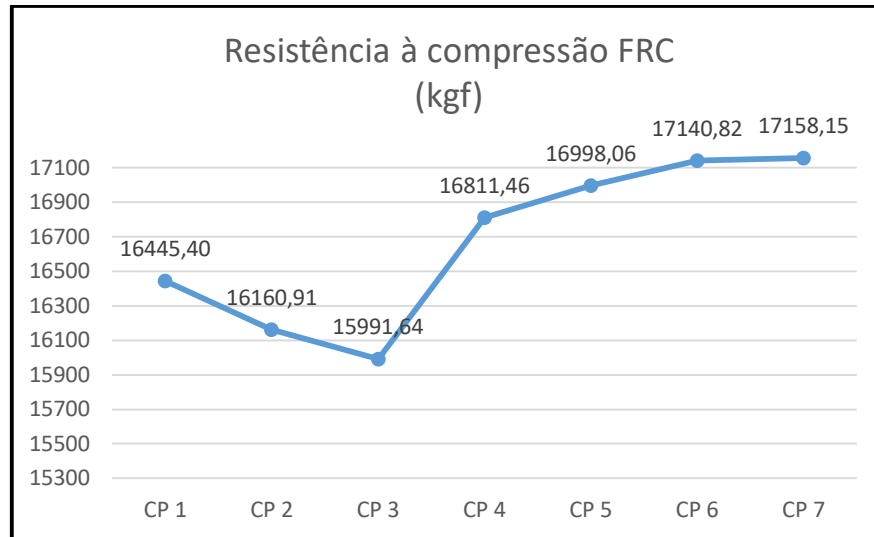
Fonte: os autores (2024).

4.3.2 FRC comparada à FEH

A análise das interações entre a força de empuxo hidráulico FEH e a força de resistência do concreto (FRC) foi essencial para garantir que os elementos resistam aos empuxos sem falhar ou deformar, garantindo assim a estabilidade e a durabilidade da estrutura. Os resultados da aplicação da equação 02 obtidos no item 4.2 do cálculo

de empuxo hidráulico, foram de FEH = 3.843,16 kgf a serem exercidos pela curva 90° com sentido positivo, evidenciando o deslocamento da peça. Podemos observar que a força de resistência mínima que obtivemos nos ensaios de rompimento foi de FRC = 15.991,64 kgf, como pode ser verificado tanto na Tabela 3 quanto no Gráfico 3, validando a expressão $FEH \leq FRC$.

Gráfico 3 - Resistência à compressão (kgf).



Fonte: o autor (2024).

Analisando estes dados, podemos observar que a força exercida pelo elemento seria de apenas 24% do que um bloco de concreto poderia suportar com a força exercida, garantindo, assim, a estabilidade necessária do concreto sem grandes dificuldades, assegurando a integridade do conjunto estrutural ao longo da vida útil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo foi avaliar a utilização do resíduo de captação de água (RCA) gerado pela estação de tratamento de água como substituto do agregado miúdo (areia industrial) natural na fabricação de concreto para produção de blocos de ancoragem na rede de distribuição de água. A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida na terra, além de ser essencial ao desenvolvimento socioeconômico de vários setores que dependem diretamente dos recursos hídricos e dos serviços associados. O saneamento, como área disciplinar, implica na necessidade de preservação dos recursos hídricos para usos múltiplos, além da disposição da água e o seu tratamento para o abastecimento público.

No ambiente contextual do saneamento público, a pesquisa aplicou-se em analisar o desempenho mecânico do concreto fabricado com um resíduo de captação de água (RCA) gerado numa estação de tratamento de afluente como substituto do agregado miúdo (areia industrial) natural na mistura de um concreto estrutural.

A adição de materiais que seriam descartados no traço do concreto é uma prática comum que visa reduzir o impacto ambiental e promover a sustentabilidade ao setor da construção civil. Com um viés econômico aliado à sustentabilidade, o estudo focou na adição do RCA ao traço do concreto utilizado na própria empresa como solução para um problema comum do dia a dia, assim, o RCA que seria descartado em aterros, pode voltar a fazer parte do sistema de abastecimento de água da cidade como um elemento estrutural.

Os resultados obtidos com as análises dos materiais e nos testes de ensaio à compressão realizados indicam que o RCA adicionado junto ao traço como agregado miúdo (areia) garantiram boa resistência ao concreto, observando-se que a resistência necessária para contemplar às normas pertinentes foram atendidas. Esses resultados confirmam que a adição de um material não convencional ao concreto pode gerar impactos significativos para a sustentabilidade na construção civil, podendo-se reutilizar o material que tinha como destino final o descarte.

Em resposta à primeira questão do problema, foi verificado que, ao analisar a curva granulométrica do material, o módulo de finura resultou num valor de 3,53, caracterizado como uma areia grossa.

Ao analisar a segunda questão do problema, a resistência mecânica do RCA foi validada ao serem realizados os rompimentos dos corpos de prova fabricados, cuja resistência mecânica atingiu o valor necessário para ser considerado um concreto estrutural C20.

Considera-se também que, a pesquisa atingiu os seus objetivos ao analisar o desempenho mecânico do agregado RCA substituído ao concreto convencional no parâmetro de força pontual, disponibilizando novas possibilidades e contribuindo de forma eficiente para o meio ambiente numa perspectiva mais sustentável ao setor da construção civil.

A produção do bloco de coroamento é uma solução para o abastecimento de água, contudo, utilizando o RCA na sua composição, consegue-se extrair o máximo potencial econômico e sustentável do agregado, inserindo novamente o material no processo produtivo do abastecimento e tratamento de água, com foco principal em reduzir o consumo dos recursos naturais, minimizar resíduos da construção civil e diminuir o impacto ambiental causado, utilizando o material de forma contínua e sustentável, evitando o desperdício.

Para garantir um desempenho mais elevado e duradouro, recomenda-se aos estudos futuros uma avaliação da possibilidade de ajustar a dosagem de cimento e a dosagem do RCA ao traço, buscando não apenas a atender aos requisitos mínimos, mas também oferecendo uma margem extra de segurança para o elemento estrutural. Além disso, sugere-se também que estudos futuros avaliem se as tensões originadas pelo bloco de coroamento são absorvidas pelo concreto produzido com RCA.

A pesquisa contribuiu de forma efetiva para o segmento da construção civil ao fornecer dados importantes sobre o comportamento da resistência do concreto com adição de um material não convencional, como o RCA.

REFERÊNCIAS

ABCONSINDCON - Associação e Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto. **O que é abastecimento de água e qual a sua importância?**. Acesso em: 8 de set 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Panorama do saneamento no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/saneamento-basico-no-brasil/panorama-do-saneamento-no-brasil-1>. Acesso em: 6 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17015**: Execução de obras lineares para transporte de água bruta e tratada, esgoto sanitário e drenagem urbana, utilizando tubos rígidos, semirrígidos e flexíveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. **Conjuntura recursos hídricos Brasil 2024**: informe anual. Brasília-DF: ANA, 2024.a

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. **Manual dos usos consuntivos da água no Brasil**. 2. ed. Brasília-DF: ANA, 2024.b

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Infraestrutura hídrica no Brasil recebeu investimentos de R\$ 1,6 bilhão em 2023**. Brasília, 18 jan. 2024 (c). Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/infraestrutura-hidrica-no-brasil-recebeu-investimentos-de-r-1-6-bilhao-em-2023>. Acesso em: 8 set. 2024.

BRASIL. **Lei n. 14026, de 15 de julho de 2020**. Altera as Leis n. 9.984, de 17 de julho de 2000, n. 10.768, de 19 de novembro de 2003, n. 11.107, de 6 de abril de 2005, n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, n. 13.089, de 12 de janeiro de 2015 e n. 13.529, de 4 de dezembro de 2017. Atualiza o marco legal do saneamento básico.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico temático serviços de água e esgoto**: visão geral. Brasília-DF: SNSA, SNIS, 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS.

Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021. Brasília-DF: MDR, SNS, 2021.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Desempenho Econômico da Construção Civil no 1.º**

semestre de 2024 e nova projeção de crescimento **Construção cresce 3,5% no 2.º trimestre de 2024, superando expectativas econômicas**. Brasília, CBIC, 2024.

CECH, Thomas V. **Recursos hídricos**: história, desenvolvimento, política e gestão. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

FEIRA INTERNACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL - FEICON. **Desafios das empresas de construção civil na área de infraestrutura**: perspectivas para 2024. Disponível em: <https://www.feicon.com.br/pt-br/blog/construtoresengenheirosprojetistas/desafios-das-empresas-de-construcao-civil-na-area-de-infraestrut.html>. Acesso em: 9 nov. 2024.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

GONÇALVES, Mônica Lopes *et al.* **Fazendo pesquisa**: do projeto à comunicação científica. 4. ed. Joinville: Editora Univille, 2014.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valtér Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Guia do saneamento**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Manual do saneamento básico**: entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2012.

LASMAR, Ibrahim. **Ancoragens de tubulações com juntas elásticas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2010.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MATIAS-PEREIRA, José. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

PINTO-COELHO, Ricardo Motta; HAVENS, Karl. **Gestão de recursos hídricos em tempos de crise**. Porto Alegre: Artmed, 2016.

PEREIRA, Lohana Lopes, Azevedo, Bruno Freitas de. O impacto da pandemia na construção civil: o papel da gestão no cenário atual. **Revista Boletim do Gerenciamento**, Rio de Janeiro, n. 20, p. 71-80, 2020.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**, 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.

ROCHA, Aristides Almeida. **Histórias do saneamento**. São Paulo: Blucher, 2016. *E-book*.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VILARINHO, Cíntia Maria R.; COUTO, Eduardo de Aguiar do. Saneamento básico e regulação no Brasil: desvendando o passado para moldar o futuro. **Revista Digital de Direito Administrativo**, Ribeirão Preto, v. 10, n. 2, p. 233-257, 2023.