



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
CAMPUS POETA TORQUATO NETO
CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO ALVES DE SOUSA NETO

**A IMPORTÂNCIA DA APLICAÇÃO DO ENSAIO DE RECONSTITUIÇÃO DO
TRAÇO DE CONCRETO EM PERÍCIAS DA ENGENHARIA**

TERESINA
2025

JOÃO ALVES DE SOUSA NETO

A IMPORTÂNCIA DA APLICAÇÃO DO ENSAIO DE RECONSTITUIÇÃO DO TRAÇO
DE CONCRETO EM PERÍCIAS DA ENGENHARIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Estadual do Piauí como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Alisson Rodrigues de Oliveira
Dias

TERESINA

2025

S725i Sousa Neto, João Alves de.

A importância da aplicação do ensaio de reconstituição do traço de concreto em perícias da engenharia / João Alves de Sousa Neto.

- 2025.

47 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Estadual do Piauí-UESPI, Bacharelado em Engenharia Civil, Campus Poeta Torquato Neto, Teresina-PI, 2025.

"Orientador: Prof. Me. Alisson Rodrigues de Oliveira Dias".

1. Construção civil. 2. Dosagem. 3. Inspeção predial. 4. Perícia. I. Dias, Prof. Me. Alisson Rodrigues de Oliveira . II. Título.

CDD 621.4

Ficha elaborada pelo Serviço de Catalogação da Biblioteca da UESPI
Nayla Kedma de Carvalho Santos (Bibliotecário) CRB-3^a/1188

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo cuidado, sustento e por sempre me dar forças durante toda a jornada no curso de Engenharia Civil, sem ele nada disso seria possível, que toda a honra e glória seja dada a Deus.

A minha mãe, Joara, e aos meus avós, Maria de Jesus e João Alves, por sempre estarem presentes, em todas as etapas da minha vida, incentivando, auxiliando de todas as formas possíveis e acreditando no meu progresso, sempre me dando bons conselhos, serei eternamente grato por todos os feitos que nunca poderei retribuir a altura.

Agradeço aos meus tios, Jaubert e Jardiel e primos, Junior, João Emanuel e Olivia, que eu pude contar nesse período, pelos incentivos, conselhos, companhia e auxílio, minha família vai ser sempre a minha prioridade.

Agradeço aos demais familiares que me incentivaram nessa caminhada.

Agradeço aos meus amigos e irmãos da Igreja Presbiteriana do Calvário, que sempre me colocaram em suas orações, pedindo sempre pelo meu crescimento, sem vocês teria sido uma tarefa ainda mais árdua.

Ao Prof. Me. Alisson Dias pela excelente orientação, pelo cuidado e desempenho em sempre entregar qualidade no que faz, pela paciência e compreensão das minhas falhas e faltas, não só durante a realização deste trabalho, mas em todas as disciplinas que tive o prazer de ser seu aluno e aprendiz, agradeço pela atenção durante todo esse processo e pelo conhecimento transmitido com excelência.

Agradeço a Prof. Dra. Yáscara Lopes, por todo auxílio e ajuda durante a fase de laboratório, na qual foi de extrema importância para a conclusão deste trabalho, sempre pronta e atenciosa para suprir minhas necessidades, agradeço imensamente por tudo.

À UESPI e seu corpo docente, por terem me permitido fazer parte desta comunidade, da qual sempre lembrei e que sinto orgulho em fazer parte, agradeço a cada um pela contribuição de todo conhecimento necessário para minha formação pessoal e profissional.

Aos membros da banca examinadora pela oportunidade de prestigiarem esse momento, essa etapa de grande importância em minha vida.

Aos colegas de turma só tenho a agradecer pelo companheirismo durante todos esses anos, pelas dificuldades que passamos juntos, disciplinas e mais disciplinas, pelos projetos, por toda essa vivência que contribuiu para minha formação profissional, com certeza seremos todos grandes engenheiros civis, agradeço a vocês por fazerem parte da minha vida.

RESUMO

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo devido as suas propriedades de resistência muito requeridas na construção de estruturas. Para que atinja as propriedades necessárias, o concreto deve passar por um controle tecnológico durante a sua produção, para que cada etapa seja planejada e executada da forma correta. Uma das etapas que deve ter uma atenção especial, é a dosagem ou traço do concreto, que representa a proporcionalidade entre os materiais constituinte do mesmo. Usualmente, as estruturas passam por avaliações dos seus estados de conformidade, com a finalidade de prever ou corrigir tais problemas que venham a surgir ao longo da vida útil da edificação. A reconstituição do traço permite então, ao responsável técnico por realizar as vistorias, coletar dados do concreto produzido por meio de amostras, e analisar se estão em acordo com a dosagem projetada, com a finalidade de fazer correções ou encontrar possíveis causas para a sua degradação. Dessa forma, a pesquisa tem como objetivo ressaltar a importância da aplicação do ensaio de reconstituição do traço de concreto em perícias de engenharia. Para atingir esse objetivo, foram confeccionados 18 corpos de prova (CP's) em formas plásticas transparentes adotadas para a pesquisa, com concretos constituídos de agregados graúdos, com variação do fator a/c nos teores de 0,6, 0,5 e 0,4. Tais corpos de prova foram submetidos a um processo de calcinação, em que as amostras foram aquecidas a uma temperatura de 900° C durante 30 minutos para acelerar a degradação do material, facilitando as etapas seguintes. Após a queima dos corpos de prova, foi iniciada a análise química por meio do ataque com ácido clorídrico (HCl), com o objetivo de consumir todo o aglomerante, restando apenas os agregados, permitindo assim a comparação entre a massa final e a massa inicial para reconstituição da relação entre aglomerante/agregados. Em seguida, foram coletados os resultados, notando-se uma diferença entre os valores dos traços obtidos que varia de aproximadamente 2,5% a 16,3% dos valores dos traços reais. Os resultados permitiram discorrer sobre a impossibilidade da reconstituição da relação entre água e cimento, uma vez que não há a garantia que todo o volume de água utilizado na produção dos traços reagiu com as partículas de cimento da mistura. Desta forma, concluiu-se que há uma necessidade de controle tecnológico durante a produção do concreto, em específico na etapa de dosagem, e que a metodologia utilizada no trabalho pode ser aplicada na área de perícias de engenharia, por permitir a coleta de dados acerca da dosagem utilizada na produção do concreto.

Palavras-chave: construção civil; dosagem; inspeção predial; perícia

ABSTRACT

Concrete is one of the most widely used construction materials worldwide due to its highly demanded strength properties for structural applications. To achieve the required properties, concrete must undergo technological control during its production, ensuring that each step is properly planned and executed. One critical stage is the mix proportioning or batching of concrete, which determines the ratio of its constituent materials. Structures are typically evaluated for compliance throughout their service life to anticipate or address potential issues. Mix proportion reconstitution enables technical professionals conducting inspections to collect data from concrete samples and analyze whether they align with the designed mix proportions, aiming to implement corrections or identify potential causes of deterioration. This research aims to emphasize the importance of applying the concrete mix proportion reconstitution test in forensic engineering. To achieve this goal, 18 specimens were prepared using transparent plastic molds, with concrete made of coarse aggregates and varying water-cement (w/c) ratios of 0.6, 0.5, and 0.4. These specimens were subjected to a calcination process, where the samples were heated to 900°C for 30 minutes to accelerate material degradation, thus facilitating subsequent steps. Following calcination, chemical analysis was performed by treating the samples with hydrochloric acid (HCl) to dissolve the binder, leaving only the aggregates. This allowed for a comparison between the final and initial mass to reconstruct the binder-to-aggregate ratio. Results showed differences in the obtained mix proportions ranging from approximately 2.5% to 16.3% compared to the actual mix proportions. The findings highlighted the impossibility of reliably reconstituting the water-to-cement ratio since there is no guarantee that the entire volume of water used in the mix reacted fully with the cement particles. Therefore, it was concluded that technological control during concrete production, especially in the batching stage, is essential. Additionally, the methodology employed in this study can be applied in forensic engineering, as it enables the collection of data regarding the mix proportions used in concrete production.

Keywords: civil construction; batching; building inspection; forensic engineering

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	– Designação normalizada, sigla e classe do cimento <i>Portland</i>	20
Figura 02	– Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	22
Figura 03	– Fluxograma do programa experimental	26
Figura 04	– Curva granulométrica da brita	27
Figura 05	– Curva granulométrica do seixo	28
Figura 06	– Curva granulométrica da areia	28
Figura 07	– Caixas plásticas retangulares utilizadas na produção de concreto	30
Figura 08	– Colheres de pedreiro e proveta utilizados na pesquisa	30
Figura 09	– Balança eletrônica utilizada para pesagem dos materiais	31
Figura 10	– Areia pesada de acordo com a dosagem pré-definida	31
Figura 11	– Materiais dosados para produção de concreto	32
Figura 12	– Verificação da trabalhabilidade do traço de concreto produzido	32
Figura 13	– Potes plásticos transparentes utilizados como fôrma	33
Figura 14	– Corpos de prova moldados	33
Figura 15	– CP's moldados e identificados em processo de cura inicial durante 24 horas	34
Figura 16	– Corpos de prova em processo de cura úmida submersos em tanque d'água	35
Figura 17	– Verificação das dimensões do forno mufla para calcinação.....	35
Figura 18	– Corpo de prova submetido ao processo de calcinação em forno mufla	36
Figura 19	– Preparação e identificação das amostras para ataque com ácido	36
Figura 20	– Mistura da amostra com o ácido	37
Figura 21	– Mistura da amostra com o ácido	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas dos agregados graúdos e miúdos da pesquisa	18
Tabela 2 – Consumo de materiais (em g) para cada traço	22
Tabela 3 – Massa das amostras após cura úmida	38
Tabela 4 – Massa das amostras após calcinação	38
Tabela 5 – Relação aglomerante/agregados das amostras	39
Tabela 6 – Comparaçāo traço obtido com traço real das amostras	40
Tabela 7 – Variação em porcentagem dos traços reais com os traços equivalentes	41

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos	17
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	17
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	17
1.3	Metodologia	17
2.0	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Concreto	18
2.2	Materiais Constituintes	19
2.2.1	<i>Cimento Portland</i>	19
2.2.2	<i>Agregados</i>	21
2.2.3	<i>Água</i>	21
2.2.4	<i>Aditivos</i>	22
2.3	Dosagem	23
2.4	Perícias de engenharia na construção civil	24
2.5	Reconstituição do traço de concreto	25
3.0	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	Materiais	27
3.2	Métodos	29
4.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
5.1	Conclusão	43
5.2	Sugestão para trabalhos futuros	44
6.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1.0 INTRODUÇÃO

A engenharia civil ao longo do desenvolvimento das sociedades se mostrou uma área extremamente relevante para o crescimento das cidades, sendo responsável pelo planejamento e execução de obras. A construção civil é um dos setores da engenharia que possui grande impacto na movimentação econômica brasileira, tornando-se uma área de estudos bem relevante (TEIXEIRA, CARVALHO, 2005).

Levando isso em consideração, temos que o concreto é um dos materiais de construção mais utilizado no mundo, tendo como um dos seus constituintes o cimento, que de acordo com o relatório anual realizado pelo Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC) em 2023, atingiu cerca de 33,8 milhões de toneladas produzidas até o mês de junho no Brasil.

O concreto é composto basicamente pela mistura de agregados, cimento e água (BAUER, 2019). As reações químicas que ocorrem no interior do concreto são oriundas da hidratação do cimento, e os produtos gerados por esse processo são os responsáveis por conceder as propriedades mecânicas (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Para garantir que essas propriedades sejam alcançadas, o concreto precisa ser produzido de forma adequada, a partir do estudo do seu traço, garantindo então uma maior vida útil às estruturas. O traço pode ser definido como a indicação da quantidade de cada material que constituirá o concreto. Ele demonstrará a relação entre a quantidade de agregados miúdos, agregado graúdos e cimento que serão utilizados. A falta ou excesso de qualquer um dos elementos poderá acarretar em problemas para as estruturas de concreto, e por isso a indicação da quantidade correta é de extrema importância (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

A avaliação dos estados de conformidade de uma edificação, mediante a aspectos de desempenho, exposição ambiental, utilização e operação ocorre por meio da inspeção predial. A inspeção predial é uma vistoria que possui como uma de suas finalidades, a análise de possíveis causas para a degradação de uma estrutura, detectando falhas na construção ou manutenção da mesma. Essa análise é de suma importância para a realização de laudos periciais que auxiliem na manutenção preventiva, garantindo uma segura utilização da construção (VILLANUEVA, 2015).

O estudo do traço do concreto possui importância na área de perícias de engenharia, quando se faz necessário reunir informações sobre a execução de edificações feitas de concreto que já se desgastaram ao longo do tempo, seja para reconstituições da estrutura, reparos, reformas ou análises periciais no surgimento de manifestações patológicas para avaliar se o concreto foi produzido de forma adequada (GOMIDE, PUJADAS, FAGUNDES NETO, 2009).

Pretende-se nesse trabalho analisar a relevância da aplicação de uma metodologia para

reconstituição do traço de concreto em atividades de perícia na engenharia civil.

1.1 Justificativa

O concreto, devido a sua resistência e ótima trabalhabilidade foi sendo bastante empregado na engenharia civil. Ao longo dos anos, ele foi sofrendo modificações com o intuito de potencializar suas qualidades, sendo associado ao aço para produzir o concreto armado, ou sendo produzido com adições e aditivos que melhoraram sua trabalhabilidade (CARVALHO, 2008).

Caso não seja produzido de maneira adequada, devido a desqualificação da mão de obra, má procedência dos materiais, elaboração de projetos inconsistentes, e em especial a determinação e execução do traço de forma inadequada, o concreto pode sofrer degradações, podendo colocar em risco toda a estrutura (MEDEIROS, ANDRADE, HELENE, 2011). Levando em consideração a falibilidade humana e a degradação do material, vistorias na edificação são realizadas com a finalidade de uma manutenção preventiva, auxiliando na realização de laudos periciais avaliativos (PUJADAS, 2007).

As perícias de engenharia buscam reunir toda informação relevante sobre a estrutura, para identificar possíveis causas para o surgimento dessas manifestações patológicas, como também na tentativa de restaurar estruturas antigas que se encontram em processo de deterioração (GOMIDE et al, 2009). Uma dessas informações a serem destacadas, é o traço do concreto que foi projeto e utilizado na obra a ser avaliada. Uma vez que o traço do concreto é a proporcionalidade entre os materiais constituintes na produção do mesmo, as informações acerca da dosagem utilizada durante a realização de vistorias em edificações, permite ao responsável técnico, identificar possíveis incongruências entre o projeto e o que foi executado em obra, na tentativa de realizar reparos ou identificar causas de degradações na estrutura em análise (SILVA, 2016).

Com base nas informações citadas anteriormente, surge a necessidade de se estudar a importância do desenvolvimento de uma metodologia de reconstituição do traço de concreto para aplicação na área de perícias da engenharia civil.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo geral*

Esse trabalho possui como objetivo geral avaliar a aplicação da metodologia de reconstituição do traço de concreto por meio de ensaios acompanhados de análise química, visando sua utilização na área de perícias na engenharia civil.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Identificar a importância da caracterização e execução adequada do traço de concreto;
- Executar ensaios de calcinação e análise química com ácido clorídrico em corpos de prova para aplicação da metodologia de reconstituição do traço de concreto;
- Comparar os resultados do ensaio de reconstituição do traço com a dosagem projetada;
- Identificar as aplicações da metodologia para coleta de informações e sua utilização em inspeções prediais.

1.3 Metodologia

Para realização deste trabalho foi desenvolvida uma pesquisa aplicada, utilizando do método de reconstituição do traço de concreto, com uma abordagem quantitativa do problema, comparando os números dos resultados obtidos com os valores pré-definidos e uma abordagem qualitativa por meio da avaliação da aplicação de parâmetros encontrados no trabalho. Esta pesquisa pode ser definida como descritiva, por meio da fundamentação teórica baseada em autores relevantes, e exploratória, por meio de uma aplicação experimental em laboratório com base em métodos já desenvolvidos.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo é constituído pelo levantamento teórico com a finalidade de alcançar os objetivos desta pesquisa. Inicia-se com os conceitos fundamentais do material em estudo, prosseguindo para as definições que direcionam ao problema em estudo. Estas informações servem como base para a escolha de uma metodologia a ser utilizada, capaz de analisar com precisão a questão em discussão, além de contribuírem para a análise dos resultados obtidos para a conclusão da pesquisa.

2.1 Concreto

O concreto é uma mistura homogênea de cimento, água e agregados, podendo ou não estarem incorporados aditivos químicos ou adições (BATTAGIN, 2008). Ele possui propriedades relevantes tanto no estado fresco, como no estado endurecido. No estado fresco, o concreto deve possuir uma certa plasticidade que auxilie na sua trabalhabilidade e adensamento; já o estado endurecido, é caracterizado pela resistência à compressão, durabilidade, impermeabilidade, entre outros (NEVILLE, 2016).

Para se obter um concreto com tais características, deve-se estudar e analisar as propriedades dos materiais componentes do concreto, os fatores que são suscetíveis a alterá-las, bem como a proporção correta, a execução cuidadosa da mistura em cada caso, os meios de transporte, lançamento e adensamento, com a finalidade de garantir o atendimento das características exigidas.

A relação de proporção entre os materiais constituintes do concreto é conhecida como dosagem ou traço, sendo de grande importância, pois é a partir do traço, que se é possível obter um concreto mais ou menos resistentes e com suas particularidades especiais (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2021).

Outros fatores a serem levados em consideração na produção do concreto, são a qualidade e a quantidade da água a ser utilizada, pois estão diretamente ligadas às reações químicas que ocorrem na hidratação do cimento. Se essa quantidade, ou a qualidade da água não forem adequadas, a reação poderá não ocorrer completamente, afetando a resistência do concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013). Denomina-se fator água/cimento (a/c), a relação entre a água e o cimento utilizados no traço.

Os materiais a serem utilizados na dosagem deverão ser analisados em laboratório, com o propósito de verificar a qualidade dos mesmos e obter os dados para a elaboração do traço.

2.2 Materiais Constituintes

2.2.1 Cimento Portland

O cimento *Portland* é um produto obtido a partir da pulverização do clínquer, material constituído basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio e sulfatos de cálcio natural, em determinadas proporções (BAUER, 2019). Pode ser considerado também, como um material com propriedades adesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si, de modo a formar um composto compactado (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Durante a sua produção, o cimento pode conter adições de outros componentes, como gesso, escórias de alto forno e materiais pozolânicos, que alteram algumas propriedades do cimento, e interferem diretamente nas propriedades do concreto produzido a partir dele (HELENE, ANDRADE, 2010).

Na área da construção civil, são utilizados cimentos hidráulicos na produção do concreto, que necessitam da água para desenvolverem suas propriedades adesivas. O cimento quando misturado com água, é hidratado, formando uma massa, que ao longo de um processo contínuo de cristalização, endurece, oferecendo resistência mecânica ao produto (NEVILLE, 2016).

A atual norma sobre Cimento *Portland* no Brasil é a NBR 16697 (ABNT, 2018), a qual unifica as normas abaixo relacionadas:

- Cimento *Portland* Comum – CP I e CP I-S (ABNT NBR 5732);
- Cimento *Portland* Composto – CP II (ABNT NBR 11578);
- Cimento *Portland* de Alto-Forno – CP III (ABNT NBR 5735);
- Cimento *Portland* Pozolânico – CP IV (ABNT NBR 5736);
- Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial – CP V ARI (ABNT NBR 5733);
- Cimento *Portland* Resistente a Sulfatos – RS (ABNT NBR 5737);
- Cimento *Portland* de Baixo Calor de Hidratação – BC (ABNT NBR 13116);
- Cimento *Portland* Branco – CPB (ABNT NBR 12989).

A Figura 01 mostra a classificação dos diferentes tipos de cimento *Portland*, de acordo com a NBR 16697.

Figura 01 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento *Portland*.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b –
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b –
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III	ARI ^d	–
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d	–
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c	–
	Não estrutural	CPB	–	

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.
^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.
^c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.
^d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018).

Dentre os tipos de cimento, destaca-se o cimento CP V ARI, que é obtido a partir de uma dosagem de argila e calcário na produção do clínquer associado a um maior tempo nos moinhos, garantindo uma maior finura (ABCP, 2002). Esse processo de produção, resulta em teores elevados de C₃S (silicato tricálcico), acima de 70% e, portanto, a aceleração das reações de hidratação, o que garante uma alta resistência inicial (NEVILLE; BROOKS, 2013). A resistência inicial permite uma desforma e movimentação mais rápida das peças produzidas de concreto (GALVÃO, 2003).

2.2.2 *Agregados*

Os agregados são materiais granulares, sem formato ou volume definidos, com dimensões e propriedades adequadas ao uso para produção de concreto e argamassas, e podem ser classificados como: naturais, britados, artificiais e reciclados (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

As propriedades dos agregados afetam diretamente as características do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido, uma vez que representam cerca de 70 a 80% da sua composição (BASTOS, 2023). A massa específica, granulometria, forma e textura, determinam as propriedades do concreto no estado fresco. Já a porosidade, composição mineralógica, dureza e o módulo de elasticidade estão relacionados com o estado endurecido do concreto (METHA; MONTEIRO, 2014).

A norma brasileira ABNT NBR 7211:2022 estabelece as especificações para classificação e utilização dos agregados, como também os limites para a quantidade de impurezas e substâncias nocivas presentes nesses materiais. De acordo com esta norma os agregados miúdos são descritos como grãos que passam por uma peneira com uma abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos em uma peneira com abertura de malha de 150 μm , enquanto os agregados graúdos atravessam uma peneira com uma abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

2.2.3 *Água*

A água é necessária para produzir uma mistura com trabalhabilidade adequada, e para hidratar o cimento. A sua qualidade afeta diretamente a resistência do concreto e a presença de impurezas pode interferir na pega do cimento (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O fator água/cimento possui uma elevada importância na produção do concreto, já que a resistência a estanqueidade e durabilidade estão ligadas a quantidade de água que é adicionada na mistura. A NBR 6118 (ABNT, 2023) discorre acerca da relação entre o fator água/cimento e a classe de agressividade do ambiente em que a construção está inserida, e por causa disso é necessária a adoção de alguns requisitos mínimos. A norma traz uma tabela, relacionando o fator água/cimento com as classes de agressividade do ambiente, como mostra a Figura 02.

Figura 02 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Deve-se evitar também o excesso de água, pois ela permanece no produto até evaporar, deixando canais capilares e pequenas bolhas; e quanto mais água, maior será o número de vazios, diminuindo a resistência do concreto (YAZIGI, 2009).

A norma responsável por estabelecer os requisitos mínimos para a utilização da água no concreto é a NBR 15900-1 (ABNT, 2009), assegurando a qualidade da água a ser utilizada por meio de sua origem ou através de ensaios que avaliam a adequação.

2.2.4 Aditivos

Aditivos são, em resumo, materiais ou substâncias adicionadas geralmente em pequenas quantidades, para auxiliar a síntese do material bem como para melhorar o processamento, as propriedades e aparência do produto. No caso do concreto, são adicionados geralmente para melhorar a trabalhabilidade, controlar o tempo de pega, controlar o desenvolvimento da resistência, aumentar a resistência contra efeitos térmicos como congelamento, entre outras propriedades (METHA; MONTEIRO, 2014).

Os aditivos possuem uma designação normalizada, e são especificados pela NBR 11768 (ABNT, 2019). Entre algumas de suas classificações, pode-se citar os aditivos plastificantes e

aditivos retardadores de pega.

Os aditivos plastificantes englobam aqueles empregados para a redução da quantidade de água no concreto ou na incorporação de ar na mistura, sendo que os redutores de água minimizam a quantidade de água para se obter uma consistência desejada na argamassa (CUNHA, 2022).

Os aditivos retardadores de pega interagem com os compostos hidratados presentes no cimento, formando uma camada de baixa permeabilidade em torno dos grãos, impossibilitando o progresso da hidratação dos mesmos (ISAIA, 2011).

Os benefícios da utilização do concreto em situações antes não permitidas, fizeram com que o uso de aditivos se tornasse crescente no mercado da construção civil, permitindo melhorias significativas como a redução de custos associados ao adensamento e trabalhabilidade do concreto (NEVILLE, 2016).

2.3 Dosagem

Os concretos são produzidos a partir de traços, estabelecidos a partir da dosagem destes, os quais indicam as proporções dos constituintes a serem empregados na mistura. Apesar de conter indicações normativas para seu emprego, é comum a ocorrência de um descontrole na quantidade de componentes empregados na mistura no cotidiano das obras, não fazendo o uso do controle de qualidade (RECENA, 2011). Partindo da mesma perspectiva, a prática de uma produção sem condições e proporções bem estabelecidas ocasiona a produção de um concreto com uma eficiência baixa, pequena durabilidade e uma possível queda na resistência, afetando, também, a produtividade do canteiro.

Em resumo, existem dois tipos de dosagem, a empírica e a racional. Na empírica a proporção do concreto é realizada arbitrariamente, baseando-se na tradição e conhecimentos prévios do construtor, sendo uma maneira inadequada de proporcioná-lo. Já a dosagem racional, se diferencia da anterior, pois os materiais constituintes e o produto resultante são anteriormente ensaiados em laboratório (HELENE, TERZIAN, 1993).

Devido à falta de uma norma que estabeleça os parâmetros e procedimentos da dosagem do concreto, no Brasil foram desenvolvidos alguns métodos por diversos institutos e pesquisadores. Os métodos mais utilizados são: método ABCP/ACI e o método IPT/USP.

O método ABCP/ACI foi publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento

Portland (ABCP) como uma adaptação do método do *American Concrete Institute* (ACI), realizada pelo engenheiro Públis Penna Firme Rodrigues (1984). O método é baseado em tabelas e gráficos elaborados a partir de informações experimentais, em que os agregados são selecionados segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Já o método do IPT/USP, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo, baseia-se na relação entre a escolha da proporção de agregados e o menor consumo de água possível para se obter um abatimento desejado. Uma análise prévia dos agregados não é necessária, e, após a definição do abatimento requerido, são determinados os teores de argamassa e relações água/cimento mais desejados.

2.4 Perícias de engenharia na construção civil

Toda edificação deve ser planejada para atender as necessidades dos usuários durante um grande período de tempo. Para que esse objetivo seja atingido, é de fundamental importância o planejamento de sistemas de manutenção para corrigir e antever falhas que possam surgir ao longo da vida útil da estrutura (URIAS; GONZALES, 2016).

As falhas decorrentes da falta de manutenção ou falhas na construção vêm causando mortes em grande escala, e são injustificáveis. Para que essa situação possa ser amenizada, são realizadas inspeções prediais, que são vistorias com a finalidade de avaliar os estados de conformidade de uma edificação, mediante aos seus aspectos de desempenho, operação e utilização (NEVES; BRANCO, 2009). Em conjunto, podem ser realizadas perícias, que são exames técnicos especializados, realizado por um profissional legalmente habilitado e qualificado, definido pela NBR 13752 (ABNT, 2024).

Ao ser solicitada uma perícia, uma série de atividades são realizadas, entre elas, a coleta de todo tipo de informação sobre o empreendimento, como especificações de projeto e técnicas construtivas utilizadas, metodologia a ser utilizada na perícia, estudo da documentação, entre outras tarefas que permitem o responsável pela perícia elaborar uma conclusão fundamentada. Para se obter as informações necessárias para a elaboração de um laudo pericial, alguns ensaios são realizados, retirando-se amostras de material, para serem analisados. A partir dos resultados, é possível então fazer uma comparação entre o que foi projetado, e o que realmente foi executado, a fim de contribuir na busca de causas das degradações ou surgimento de manifestações patológicas (PUJDAS, 2007).

Um dos ensaios que pode ser utilizado na ocasião, é o ensaio de reconstituição do traço de concreto, que tem como objetivo a tentativa de a partir de uma amostra material, mensurar a dosagem que foi utilizada na produção do concreto, informação que pode ser perdida ao longo da vida útil da edificação.

2.5 Reconstituição do traço de concreto

Um dos métodos desenvolvidos para a reconstituição do traço de argamassas, é a análise química através do ataque com ácido clorídrico (HCl). Esse método é responsável por determinar o teor de areia e a reconstituição do traço. A amostra de argamassa é submetida a uma solução ácida, com isso transforma-se em duas soluções, uma solúvel com o aglomerante e outra insolúvel com os agregados, fazendo com que seja possível descobrir a relação entre os materiais (MOTTA, 2004).

Apesar da análise química ser muito utilizada, ela possui suas desvantagens. O carbonato presente na amostra é dissolvido com o ataque ácido e na formação de alguns agregados pode-se conter uma parcela solúvel, podendo influenciar no resultado (KANAN, 2008). A solução de ácido clorídrico HCl dissolve o carbonato de cálcio ou magnésio (CaCO_3 ou MgCaO_3) presentes na argamassa deixando apenas o agregado, parte insolúvel; quando o HCl entra em contato com o CaCO_3 reage liberando CaCl_2CO_2 e água, já o agregado fica integro. A proporção do agregado e aglomerante é definida através da diferença entre a massa inicial e a massa final da amostra mais os finos (ALMEIDA, 2019).

Para desenvolvimento deste trabalho, a metodologia de reconstituição do traço, baseada na análise química, será aplicada em dosagens de concreto, em vez de argamassas, com o objetivo de quantificar os agregados miúdos e graúdos presentes no material.

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos estabelecidos neste trabalho, foi realizado um estudo experimental, para aplicação do ensaio de reconstituição do traço de concreto através da confecção de corpos de provas e ataque com HCl.

Primeiramente foi obtida a caracterização dos materiais (cimento, brita, seixo, areia) a serem utilizados. A composição do concreto consistiu em três traços diferentes, variando o fator água/cimento (a/c) e o agregado graúdo, sendo utilizados a brita e o seixo. Foram dosados concretos com fator a/c de 0,4, 0,5 e 0,6, para cada um desses traços foram moldados 3 corpos de prova de brita e 3 corpos de prova de seixo, totalizando 18 corpos de prova de concreto.

O fluxograma a seguir descreve a sequência das etapas para desenvolvimento do trabalho.

Figura 03 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Autor (2024).

3.1 Materiais

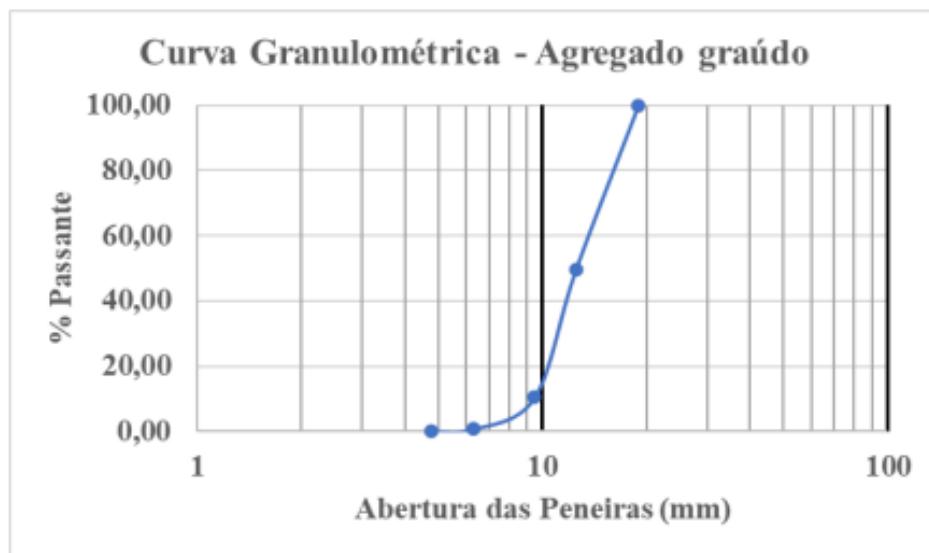
Na produção do concreto para estudo foram utilizados materiais de construção comumente comercializados na cidade de Teresina – PI, tendo em vista a facilidade em obtenção dos materiais e a proximidade das propriedades do produto com os produzidos na região. Foram utilizados os seguintes materiais: cimento, areia, brita, seixo, água e aditivo. Os processos de produção do concreto, confecção dos corpos de prova, cura do concreto foram realizados no Laboratório de Construção da Universidade Estadual do Piauí, no Centro de Tecnologia e Urbanismo – CTU.

Na caracterização dos materiais utilizados na produção do concreto, foram utilizados dados já obtidos por meio de ensaios realizados anteriormente por outros acadêmicos da instituição, devidamente referenciados em norma. O tipo de cimento utilizado foi o Cimento Portland CP V ARI, por ser o cimento comercializado com menor quantidade de adições.

A água de amassamento utilizada na mistura foi proveniente da rede pública de distribuição da região de Teresina-PI, que atende aos requisitos de acordo com a NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

Os agregados graúdos utilizados na pesquisa, foram a brita granítica e o seixo originários da cidade de Teresina/PI, que possuem natureza granítica com a finalidade de comparar os resultados com diferentes materiais, em específico o seixo, material muito consumido na região. A Figura 04 e a Figura 05 mostram a distribuição granulométrica dos agregados graúdos utilizados.

Figura 04 – Curva granulométrica da brita.



Fonte: SILVA (2023).

Figura 05 – Curva granulométrica do seixo.



Fonte: COSTA (2023).

O agregado miúdo utilizado na mistura foi a areia, proveniente de rios. O ensaio granulométrico do agregado foi executado conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e resultou na curva granulométrica mostrada na Figura 06.

Figura 06 – Curva granulométrica da areia.



Fonte: COSTA (2023).

A caracterização dos materiais para se obter as características físicas dos agregados quanto a dimensão máxima característica, módulo de finura, massa específica, massa unitária e material pulverulento também foi obtida por meio de dados já coletados anteriormente. A Tabela 01 mostra os resultados obtidos.

Tabela 01 – Características físicas dos agregados graúdos e miúdos da pesquisa.

Ensaio	Norma Técnica	Areia	Brita	Seixo
Diâmetro máximo característico (mm)	ABNT NBR NM 248:2003	2,36	12,5	12,5
Módulo de finura (adim.)	ABNT NBR NM 248:2003	3,8	3,39	2,44
Massa específica - agregado miúdo (g/cm^3)	ABNT NBR 9775:2011	2,66	-	-
Massa específica aparente - agregado graúdo (g/cm^3)	ABNT NBR NM 53:2009	-	2,62	5,53
Massa unitária agregado solto (g/cm^3)	ABNT NBR NM 45:2006	1,43	1,42	1,43
Massa unitária agregado compactado (g/cm^3)	ABNT NBR NM 45:2006	1,49	1,57	1,47
Material pulverulento (%)	ABNT NBR NM 46:2003	4,5	0,8	0

Fonte: Adaptado de COSTA (2023) e SILVA (2023).

Para o processo de calcinação, utilizou-se um forno mufla com entrada analógica, auto calibração, podendo atingir temperatura de até 1100° C, com capacidade para 1,7 litros.

Na aplicação da análise química com HCl, foi adotado o ácido comercialmente conhecido como ácido muriático, com uma concentração mínima de 8% de HCl.

No processo de secagem final do material, foi utilizada uma estufa com fluxo de ar por convecção natural, controlador de temperatura eletrônico, e com temperatura de trabalho de até 200° C.

3.2 Métodos

Com a finalidade de uma maior variabilidade na análise dos resultados, foram produzidos traços de concreto com relações de a/c equivalentes a 0,4, 0,5 e 0,6, além de alterar as misturas utilizando dois diferentes agregados graúdos, o seixo e a brita.

A Tabela 02 expressa o consumo de materiais utilizados para a produção dos traços.

Tabela 02 – Consumo de materiais (em g) para cada traço.

Fator a/c	Cimento (g)	Areia (g)	Brita (g)	Seixo (g)	Água (g)
0,6 (Traço 1)	250	810	920	-	150
	250	810	-	920	150
0,5 (Traço 2)	340	750	910	-	170
	340	750	-	910	170
0,4 (Traço 3)	460	740	1010	-	180
	460	740	-	1010	180

Fonte: Autor (2024).

As etapas para a produção de cada traço foram as mesmas descritas a seguir. Previamente foi feita a separação e realizada a limpeza dos acessórios a serem utilizados na produção do concreto, para evitar qualquer tipo de contaminação externa ou alterações. Entre os acessórios pode-se citar caixas plásticas retangulares para mistura de massa, colheres de pedreiro e uma proveta para dosagem de água a ser utilizada, como mostrados nas Figuras 07 e 08.

Figura 07 – Caixas plásticas retangulares utilizadas na produção de concreto.



Fonte: Autor (2024).

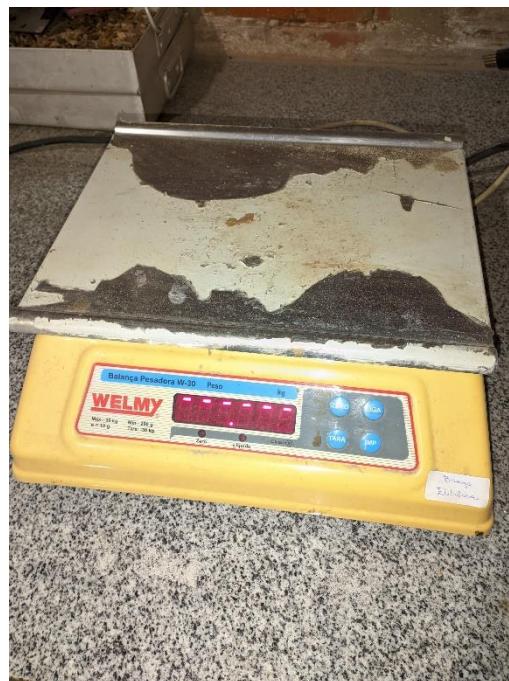
Figura 08 – Colheres de pedreiro e proveta utilizados na pesquisa.



Fonte: Autor (2024).

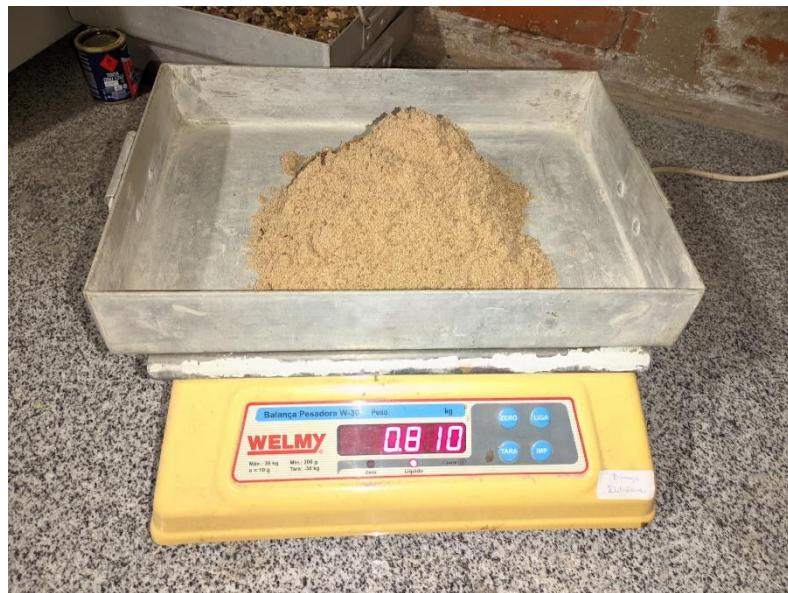
Em seguida foi utilizada uma balança eletrônica, mostrada na Figura 09, para pesagem dos materiais de acordo com os traços definidos anteriormente como exemplificado na Figura 10. Após a medição, os mesmos foram separados em peças metálicas retangulares, mostrados na Figura 11, dando procedimento a produção do traço logo em seguida. A produção de todos os traços seguiu os mesmos procedimentos listados.

Figura 09 – Balança eletrônica utilizada para pesagem dos materiais.



Fonte: Autor (2024).

Figura 10 – Areia pesada de acordo com a dosagem pré-definida.



Fonte: Autor (2024).

Figura 11 – Materiais dosados para produção de concreto.



Fonte: Autor (2024).

Finalizada a dosagem dos materiais, foi feita a produção dos traços nas caixas plásticas. Foi verificada a trabalhabilidade dos traços para melhor adequação na moldagem dos corpos de prova, e em alguns traços foi necessário o acréscimo de aditivo plastificante para atingir a trabalhabilidade desejada. A Figura 12 exemplifica a verificação da trabalhabilidade ideal para a confecção dos corpos de prova.

Figura 12 – Verificação da trabalhabilidade do traço de concreto produzido.



Fonte: Autor (2024).

Para fôrmas dos corpos de prova foram utilizados potes plásticos transparentes e lisos com capacidade para 250 ml. Estas fôrmas foram adotadas ao invés de corpos de prova cilíndricos, devido ao fato de que em inspeções prediais, a amostragem coletada de concreto não é em grande escala, além do fato que o menor volume das formas, permite um maior número de corpos de prova produzidos com um menor volume de concreto, facilitando o desenvolvimento da pesquisa. As fôrmas adotadas podem ser observadas na Figura 13.

Figura 13 – Potes plásticos transparentes utilizados como fôrma.



Fonte: Autor (2024).

Não foi necessária a aplicação de desmoldante, pois as fôrmas não seriam reutilizadas por serem descartáveis. Para melhorar o adensamento, 10 leves golpes foram dados com os moldes sobre uma superfície plana. Os corpos de prova foram moldados como mostrado na Figura 14.

Figura 14 – Corpos de prova moldados.



Fonte: Autor (2024)

Após a concretagem, os corpos de prova foram mantidos em ambiente fechado, durante o processo de secagem nas primeiras 24 horas iniciais. Os traços foram identificados de acordo as variações de a/c e agregados, como a exemplo da Figura 15.

Figura 15 – CP's moldados e identificados em processo de cura inicial durante 24 horas.



Fonte: Autor (2024)

Devido as propriedades do concreto produzido com cimento CP V ARI permitir a retirada das fôrmas em algumas horas, os corpos de prova permaneceram por 24 horas por questões logísticas de tempo para realização da pesquisa. Logo que foram desformados, eles foram colocados em processo de cura úmida por imersão em tanque de água até a data de ensaio aos 21 dias. A Figura 16 mostra o resultado desses processos.

Figura 16 – Corpos de prova em processo de cura úmida submersos em tanque d’água.



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, os corpos de prova foram submetidos à uma alta temperatura no processo de calcinação. Esse processo tem como objetivo principal, remover impurezas e facilitar a degradação do concreto para as etapas seguintes, acelerando a ação do ácido clorídrico com o material.

Figura 17 – Verificação das dimensões do forno mufla para calcinação.



Fonte: Autor (2024)

Em específico, todos os corpos de prova foram submetidos à uma temperatura de 900°C durante 30 minutos em um forno mufla.

Figura 18 – Corpo de prova submetido ao processo de calcinação em forno mufla.



Fonte: Autor (2024).

Após a etapa de calcinação dos corpos de prova, as amostras foram preparadas para o ataque com ácido clorídrico, sendo trituradas manualmente para facilitar as reações do concreto com o ácido, e em seguida foi adicionado o ácido. Para cada amostra, foi adicionado cerca de 400 ml de ácido clorídrico para reagir com o material até atingir aspecto visualmente desejável para os resultados.

Figura 19 – Preparação e identificação das amostras para ataque com ácido.



Fonte: Autor (2024).

Figura 20 – Mistura da amostra com o ácido.



Fonte: Autor (2024).

Após esse processo, as amostras foram levadas à estufa durante 24h a uma temperatura média de 110°C para secagem do material. Passada as 24h, foi realizada a pesagem final de cada amostra que sofreu ataque químico, sendo este o último processo que resultará na obtenção das proporções dos materiais usados na produção do concreto. Para a obtenção da massa do aglomerante, em gramas, foi usada a seguinte fórmula:

$$M_A = M_B - M_C \quad \text{Equação (1)}$$

Sabendo que,

M_A = massa do aglomerante (g);

M_B = massa inicial da amostra após a calcinação no forno mufla (g);

M_C = massa dos agregados que restaram após o ataque com ácido e secagem na estufa (g).

Para comparar a massa dos agregados que restaram após o ataque com ácido com a massa dos corpos de prova após o processo de cura úmida e mensurar a massa da pasta de cimento consumida pelo ácido foi utilizada a seguinte fórmula:

$$N_A = N_B - N_C \quad \text{Equação (2)}$$

Sabendo que,

N_A = massa da pasta de cimento (g);

N_B = massa inicial da amostra após a calcinação no forno mufla (g);

N_C = massa dos agregados que restaram após o ataque com ácido e secagem na estufa (g).

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise química por meio do ataque com ácido

Como já descrito no trabalho, o ataque com ácido tem como objetivo determinar a quantidade de aglomerante e agregados nas amostras de concreto. Quando as amostras são submetidas ao ataque, a parte advinda do aglomerante (CaCO_3) dissolve permitindo a descoberta da proporção através da diferença entre a massa da amostra antes e depois da ação do ácido.

A Tabela 03 mostra primeiramente a massa dos corpos de prova após a cura úmida e antes da etapa de calcinação.

Tabela 03 – Massa das amostras após cura úmida.

AMOSTRAS		TRAÇO 1 (g)	TRAÇO 2 (g)	TRAÇO 3 (g)
TRAÇO COM BRITA	CP 1	630	670	680
	CP 2	620	630	680
	CP 3	630	640	680
TRAÇO COM SEIXO	CP 4	640	630	650
	CP 5	640	640	650
	CP 6	630	650	660

Fonte: Autor (2025).

A Tabela 04 mostra a massa das amostras após o processo de calcinação, antes do ataque com o ácido. Durante a etapa de calcinação dos corpos de prova, duas amostras foram perdidas durante esse processo devido à deterioração demasiada do material na mufla, justificando a ausência dos dados.

Tabela 04 – Massa das amostras após calcinação.

AMOSTRAS		TRAÇO 1 (g)	TRAÇO 2 (g)	TRAÇO 3 (g)
TRAÇO COM BRITA	CP 1	570	620	630
	CP 2	590	590	620
	CP 3	570	600	650
TRAÇO COM SEIXO	CP 4	590	-	610
	CP 5	-	600	590
	CP 6	590	610	620

Fonte: Autor (2025)

A Tabela 05 traz a relação aglomerante e agregados em cada amostra, encontradas depois do ataque com ácido. Os dados das amostras foram organizados seguindo uma siga padrão “CP XY”, onde “X” representa a amostra e “Y” representa o traço utilizado.

Tabela 05 – Relação aglomerante/agregados das amostras.

TRAÇOS	AMOSTRAS	AGLOMERANTE (g)	AGREGADOS (g)	TRAÇO EQUIVALENTE
BRITA	CP 11	70	500	1:7,14
	CP 21	70	520	1:7,43
	CP 31	70	500	1:7,14
SEIXO	CP 41	70	520	1:7,43
	CP 51	-	-	-
	CP 61	70	520	1:7,43
BRITA	CP 12	100	520	1:5,2
	CP 22	90	500	1:5,56
	CP 32	100	500	1:5
SEIXO	CP 42	-	-	-
	CP 52	100	500	1:5
	CP 62	100	510	1:5,1
BRITA	CP 13	120	510	1:4,25
	CP 23	120	500	1:4,17
	CP 33	120	530	1:4,42
SEIXO	CP 43	120	490	1:4,08
	CP 53	110	480	1:4,36
	CP 63	120	500	1:4,16

Fonte: Autor (2025)

Com os dados coletados da amostra após a ação do ácido clorídrico, é possível então estabelecer uma comparação entre o traço equivalente após o ataque com ácido com o traço equivalente do concreto produzido, para então analisar a concordância dos valores obtidos com os valores determinados anteriormente. Através desses valores, também é possível estabelecer uma porcentagem de variação entre o valor do traço real com o traço obtido após o ataque com ácido.

A Tabela 06 mostra os valores comparativos entre os traços reais e os traços obtidos após o ataque com ácido.

Tabela 06 – Comparaçāo traço obtido com traço real das amostras.

TRAÇOS	AMOSTRAS	TRAÇO EQUIVALENTE	TRAÇO REAL
1BRITA	CP 11	1:7,14	1:6,92
	CP 21	1:7,43	1:6,92
	CP 31	1:7,14	1:6,92
SEIXO	CP 41	1:7,43	1:6,92
	CP 51	-	-
	CP 61	1:7,43	1:6,92
BRITA	CP 12	1:5,2	1:4,88
	CP 22	1:5,56	1:4,88
	CP 32	1:5	1:4,88
SEIXO	CP 42	-	-
	CP 52	1:5	1:4,88
	CP 62	1:5,1	1:4,88
BRITA	CP 13	1:4,25	1:3,80
	CP 23	1:4,17	1:3,80
	CP 33	1:4,42	1:3,80
SEIXO	CP 43	1:4,08	1:3,80
	CP 53	1:4,36	1:3,80
	CP 63	1:4,16	1:3,80

Fonte: Autor (2025)

Observando então os valores comparativos dos traços reais com os traços obtidos pelo ataque com ácido, é possível estabelecer uma porcentagem de variação do valor mais próximo ao real com o valor mais distante. Esses dados podem ser observados na Tabela 07.

Tabela 07 – Variação em porcentagem dos traços reais com os traços equivalentes.

TRAÇOS	AMOSTRAS	TRAÇO EQUIVALENTE	TRAÇO REAL	VARIAÇÃO DOS VALORES
1 BRITA	CP 11	1:7,14	1:6,92	3,18%
	CP 21	1:7,43	1:6,92	7,37%
	CP 31	1:7,14	1:6,92	3,18%
1 SEIXO	CP 41	1:7,43	1:6,92	7,37%
	CP 51	-	-	-
	CP 61	1:7,43	1:6,92	7,37%
2 BRITA	CP 12	1:5,2	1:4,88	6,56%
	CP 22	1:5,56	1:4,88	13,93%
	CP 32	1:5	1:4,88	2,46%
2 SEIXO	CP 42	-	-	-
	CP 52	1:5	1:4,88	2,46%
	CP 62	1:5,1	1:4,88	4,51%
3 BRITA	CP 13	1:4,25	1:3,80	11,84%
	CP 23	1:4,17	1:3,80	9,74%
	CP 33	1:4,42	1:3,80	16,32%
3 SEIXO	CP 43	1:4,08	1:3,80	7,37%
	CP 53	1:4,36	1:3,80	8,72%
	CP 63	1:4,16	1:3,80	9,47%

Fonte: Autor (2025)

Os valores dos traços obtidos no final da análise com ácido variaram de aproximadamente 2,5% a 16,3% dos valores dos traços reais.

Foi possível observar através desses valores que as variações aparentemente não possuem alguma ligação direta com as diferenças entre o tipo de agregado utilizado na produção do concreto e nem com o tipo de traço.

Pelo fato de a balança utilizada durante a coleta dos dados em massa possuir aproximação de apenas 2 casas decimais, os valores obtidos são próximos uns dos outros, já que os corpos de prova, apesar de traços e agregados diferentes, possuíam as mesmas dimensões.

Nota-se que apesar da massa final permitir o cálculo da diferença entre o aglomerante consumido e os agregados restantes, não é possível determinar o fator água/cimento utilizado para cálculo dos traços, uma vez que não podemos garantir que toda a água utilizada na produção dos traços reagiu com as partículas de cimento, e tendo em vista também que o processo de calcinação retira não somente a água, mas gases e impurezas do concreto, juntamente com a secagem final na estufa.

Da mesma forma que não há garantia da reação de todo o volume de água durante a hidratação do cimento, não há confirmação exata de que todo o ácido utilizado durante a análise química tenha reagido uniformemente com as amostras de concreto, podendo também justificar a variação dos valores obtidos.

Por se tratar de uma adaptação da análise química para caracterização de argamassas, não foi possível encontrar parâmetros para validar se a variação dos valores finais é aceitável ou não, necessitando de estudos mais criteriosos.

5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Os estudos, as pesquisas e as investigações fazem parte da vida cotidiana dos profissionais da engenharia civil, uma vez que durante todo o exercício da profissão há a necessidade em aplicar os conhecimentos empíricos adquiridos ao longo dos anos em suas atividades diárias por meio dos conhecimentos científicos.

Como evidenciado na pesquisa, a etapa de dosagem do concreto possui extrema importância, uma vez que define a proporcionalidade entre os constituintes do mesmo. Esses valores são específicos e determinados para cada tipo de projeto, necessitando então de um controle tecnológico para garantir que sua execução esteja em acordo com o planejado.

Os valores dos traços obtidos por meio da análise química com o ácido clorídrico, mesmo que não resultando em números exatos, confirmaram que a metodologia utilizada permite obter resultados conclusivos em relação a reconstituição do traço do concreto.

Apesar dos resultados não serem totalmente assertivos, é possível aplicar essa metodologia na área de perícias de engenharia, uma vez que possibilita obter dados do traço de concreto produzido, e a partir dos resultados, fazer uma análise mais criteriosa dos números. É possível aplicar essa metodologia também nas etapas de controle tecnológico do concreto, pois há a possibilidade de ser executada logo após a execução da dosagem, permitindo a análise da variação dos valores.

Espera-se que os resultados desta pesquisa, ao utilizar uma metodologia para a reconstituição do traço de concreto por meio da análise química com ácido clorídrico, contribuam para o desenvolvimento de estudos para melhorar a qualidade da produção do concreto, e auxiliar no controle tecnológico do mesmo, garantindo então que suas propriedades desejadas sejam alcançadas com sucesso, visando a durabilidade deste produto.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Aplicar a metodologia de reconstituição do traço de concreto em conjunto com outros ensaios destrutivos;
- Realizar a caracterização do traço de concreto utilizando a análise granulométrica em conjunto com a análise química com o ácido para definição mais detalhada do traço final;
- Comparar os resultados obtidos na reconstituição do traço de concreto ao variar o tipo de cimento;
- Analisar os resultados obtidos da reconstituição do traço de concreto a partir da produção de uma maior quantidade de amostras, e com aparelhagem que permita resultados mais criteriosos.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, José Carlos Gomes de. Caracterização de argamassas históricas: **estudo de caso do mercado público de Jardim de Piranhas/RN**. 2019. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (2002). **GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**. Boletim Técnico. 7ª ed. São Paulo, 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2022.

_____. ABNT NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. ABNT NBR 13752: **Perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro, 2024.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Unesp, 2023.

BATTAGIN, I. L. S. Módulo de Elasticidade do Concreto - **Normalização, fatores de influência e interface com o pré-moldado**. Concrete Show, 2008, São Paulo.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 6a. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2019.

CARVALHO, João Dirceu. Um pouco sobre a história do concreto. Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, DEC. Universidade Estadual de Maringá, PR, 2008.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EduFSCar, 2021.

COSTA, Laiany Teixeira. **Análise da correlação dos ensaios de esclerometria e resistência à compressão do concreto para agregados da cidade de TERESINA-PI**. 2023. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2023.

CUNHA, Hugo André de Souza. **Avaliação dos teores de aditivos plastificantes em pastas de cimento Portland**. 2022.

GOMIDE, T.L.F e PUJADAS, F.Z.A. e FAGUNDES NETO, J.C.P. **Técnicas de Manutenção e Inspeção Predial – Conceitos, Metodologias, Aspectos Práticos e Normas Comentadas.** Editora Pini, 2006.

GOMIDE, T.L.F.; FAGUNDES NETO, J.C. P.; GULLO, M.A. **Engenharia diagnóstica em edificações.** São Paulo: Pini, 2009.

GOMIDE, T.L.F.; FAGUNDES NETO, J.C. P.; GULLO, M.A. **Inspeção predial total – Diretrizes e laudos no enfoque da qualidade total e da engenharia diagnóstica.** São Paulo: Pini, 2009.

GUIMARÃES, A.T.C., et al. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** In ISAIA, Geraldo Cechella. São Paulo: IBRACON. v. 4, n. 2, pp. 984-1022, 2. Ed., Cap. 30, 2010.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** In: ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON, 2010. cap. 29, p. 905-944.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: Pini, 1993.

IBAPE/SP (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia). **Norma de Inspeção Predial.** São Paulo, 2014.

ISAIA, G.C. **Concreto: ciência e tecnologia.** 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 1902p.

KANAN, M. I. C..**Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos a Base de Cal.** Cadernos Técnicos 8. IPHAN/Programa Monumenta, Brasília, 2008.p 176.

KIHARA, Yushiro; CENTURIONE, Sérgio Luiz. O Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 10, p. 295-321.

MEDEIROS, H. F. M.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In ISAIA, G. C. Ed. Concreto: ciência e tecnologia. Volume 1. 1. ed. São Paulo, 2011. p. 773-808.

MEHTA, Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto - Microestruturas, Propriedades e Materiais.** 1. Ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MOTTA, E. V. **Caracterização de argamassas de edificações históricas de Santa Catarina.** 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

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

PUJADAS, F. Z. A. **Inspeção Predial: Ferramenta de Avaliação da Manutenção.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 14, 2007, Salvador. Anais... Salvador: IBAPE, 2007.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland.** 3. ed. São Paulo: EdiPUCRS, 2011.

SILVA, Marcelo Henrique Rodrigues da. **Análise do efeito da incorporação de açúcar nas propriedades mecânicas do concreto pós-aquecimento.** 2023. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2023.

SILVA, Wladison Livramento. **Inspeção predial: diretrizes, roteiro e modelo de laudo para inspeções em edificações residenciais da cidade do Rio de Janeiro.** / Wladison Livramento Silva - Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2016.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. de. **A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira.** REVISTA PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO, Curitiba, n. 109, p.09-26, jul./dez., 2005.

VILLANUEVA, M. M. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação.** Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2015.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar.** 10. ed. São Paulo: Pini, 2009. 769 p.