

Estudo Experimental de Dosagem de Concreto Convencional com Utilização de Resíduos Sólidos da Construção Civil

Cássia Silva; Ester Silva; Flaviane Honória, Marcela Abreu e Thiago Lima

Universidade UNA de Catalão – Campus Santa Cruz

Davidson França Junior; Professor Orientador, Curso de Engenharia Civil

cassiagn33@gmail.com; esterrosa15031@gmail.com; flavianeengenheira@gmail.com; abreu.marcela.ega@gmail.com; thiagoavelar@outlook.com

Resumo

A engenharia civil foi aprimorando com o decorrer dos séculos suas habilidades, que antes empregavam as técnicas romanas ao reutilizar os resíduos de construções, para uso de novas técnicas e materiais. O concreto é o material mais utilizado no mundo e para a sua fabricação utiliza-se cimento, água, agregado miúdo (areias) e agregado graúdo (pedra ou brita) e materiais aditivos. Entre esses materiais bases para a fabricação do concreto a extração da areia é uma das mais danosa ao meio ambiente, gerando problemas ecológicos. Devido este alto consumo dessa matéria-prima, o desequilíbrio ambiental vem tornando esses materiais cada vez mais escassos. Em outra vertente, tem-se a geração de resíduos de construção civil, que movimenta um volume gigantesco de resíduos da construção, onde o descarte inadequado causa a poluição do ambiente urbano. Nesse sentido, utilizar resíduos da construção civil como matéria prima na produção do concreto tornou-se uma boa alternativa da sustentabilidade. Assim sendo, este trabalho tem por objetivo estudar um traço de concreto convencional utilizando agregados miúdos naturais e de rejeito da construção civil da cidade de Caldas Novas – GO. O método de dosagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) é realizado e o procedimento de dosagem apresentado. Por fim, os resultados são apresentados através do diagrama de dosagem e dos valores de resistência obtidos.

Palavras chaves: Resíduos Sólidos, Construção Civil, Dosagem do Concreto Convencional e Método do IPT.

Abstract

Civil engineering has improved over the centuries its skills, which previously used Roman techniques to reuse construction waste, to use new techniques and materials. Concrete is the most used material in the world and its manufacture uses cement, water, fine aggregate (sands) and coarse aggregate (stone or gravel) and additive materials. Among these base materials for the manufacture of concrete, the extraction of sand is one of the most harmful to the environment, generating ecological problems. Due to this high consumption of this raw material, the environmental imbalance is making these materials increasingly scarce. On the other hand, there is the generation of civil construction waste, which moves a huge volume of construction waste, where inadequate disposal causes pollution of the urban environment. In this sense, using civil construction waste as a raw material in the production of concrete has become a good alternative for sustainability. Therefore, this work aims to study a conventional concrete mix using fine natural aggregates and tailings from civil construction in the city of Caldas Novas – GO. The Institute for Technological Research (IPT) dosing method is performed and the dosing procedure presented.

Key words: Solid Waste, Civil Construction, Conventional Concrete, Dosage of Conventional Concrete, IPT method.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de milênios a engenharia civil movimentou-se de forma artesanal, utilizando os elementos naturais de forma primitiva, para construir os abrigos da sociedade. Segundo LEVY (1995), a humanidade foi aprimorando com o decorrer dos séculos suas habilidades, que antes empregavam as técnicas romanas, e que agora até reutilizam os resíduos de construções como matéria prima para novas obras.

São encontrados registros de reutilização de resíduos da construção nas cidades desde após a Segunda Guerra Mundial, pois na época tiveram grandes volumes demasiados de escombros, sendo que eles atendiam a produção de agregados e se tornavam o novo cenário de reconstrução das cidades Europeias (ISAIA, 2007).

Segundo Cunha (2007) o agregado reciclável é a resultante do material de construção por meio de reciclagem, onde os resíduos de construção e demolição (RCD) classe A, são resíduos reutilizáveis ou recicláveis como concretos, argamassas, blocos, tijolos cerâmicos, solos, areias, entre outros, produzidos nos canteiros, e beneficiado nas centrais recicladoras e posteriormente aplicação.

Segundo a resolução 307/2002 CONAMA os resíduos de tipo classe A podem ser reutilizáveis ou recicláveis como agregados, ou encaminhados para aterros de resíduos, sendo dispostos de modo que permita sua utilização futura, como por exemplo, na utilização do traço de concreto ou argamassas.

Couto et al. (2013) discorrem que para a fabricação do material concreto utiliza-se cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita) e aditivos. Entre esses materiais bases para a fabricação do concreto a extração da areia natural é a mais danosa ao meio ambiente, gerando problemas ecológicos. Devido este alto consumo de matéria-prima, o desequilíbrio ambiental vem tornando esses materiais cada vez mais escassos. Assim, a utilização de resíduos sólidos da construção civil para substituir os agregados miúdos na produção de concretos se mostra uma boa alternativa para tal.

O concreto pode conter adições de diferentes materiais, que melhoram suas propriedades físicas, mecânicas e desempenho, reduzindo custos. Assim, existem diversas variáveis que devem ser estudas para garantir um material adequado, com boas propriedades no estado fresco e endurecido, conforme pode ser observado nos trabalhos como de VERJIÃO (2018) que implementou o programa de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil na cidade de Iacanga-SP, CANEDO et al.(2011) que discorre sobre o reaproveitamento de resíduo da construção na produção de argamassas para revestimento, SILVA et al. (2017) que aponta a caracterização, alternativas para o reuso, e o retorno econômico que a utilização dos resíduos sólidos da construção podem trazer.

TERRA (2019) discorre sobre o gerenciamento e utilização de resíduos da construção civil na produção de concreto, ou ainda, segundo LIMA e LIMA (2012) que desenvolveu guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil e, por fim, nos estudos de MENDONÇA et al. (2017) é classificado os tipos de resíduos sólidos gerados na construção civil. Com diferentes estudos citados, é possível observar a importância e pertinência sobre a temática abordada neste trabalho.

A geração de resíduos de construção civil, movimenta-se um volume gigantesco, de forma que o descarte inadequado causa a poluição do ambiente urbano. Segundo a prefeitura municipal de Catalão, no ano de 2019 foi implantado a usina de reciclagem, onde 4.500 toneladas de resíduos de construção chegam na usina por mês e 90% pode ser aproveitada de forma sustentável.

1.1. OBJETIVO

Portanto, sabendo que o concreto é um material mais utilizado no mundo na construção civil e tendo em vista a importância da sustentabilidade, este trabalho visa contribuir ainda mais na área. Para isso, foram coletadas amostras de rejeitos do tipo classe A de resíduos sólidos da construção civil de uma usina móvel em obra na cidade de Caldas Novas – GO, foi estudado e aplicado o método de dosagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) na dosagem de um traço de concreto convencional com materiais naturais e rejeitos de reutilização.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1.1. Classificação e tipos de resíduos

Resolução 307 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente; no Art 2º - I - (2002) define resíduos de construção civil como resultantes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os oriundo da preparação da escavação de terrenos, sendo eles os tijolos, blocos cerâmicos, concreto de forma geral, solos rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plástico, tubulações, fiação elétrica, dentre outros, também chamados de entulhos de obras.

Na resolução 307 (2002), do CONAMA está descrita a classificação dos Resíduos da construção civil, conforme o quadro 1:

Quadro 1- Classificação dos resíduos sólidos.

I - Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, que são originários: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras.
II - Classe B	II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução no 469/2015).
III - Classe C	III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).
IV - Classe D	IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenha amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04).

Fonte: Adaptado, CONAMA 2002.

A resolução CONAMA 307 estabelece diretrizes para a gestão de resíduos sólidos de construção civil, e regulamentar sua destinação, com o objetivo de reduzir os impactos sobre o meio ambiente. Além da legislação da resolução 307, o CONAMA publicou as resoluções: 348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015, para atualizar alguns conceitos e equiparar o texto frente à Política Nacional de Resíduos Sólido.

No ano de 2004, foram promulgadas duas normas técnicas sobre a reciclagem de resíduos da construção civil, que passaram a vigorar no território nacional: a NBR 15115 (ABNT, 2004), referente ao uso de agregados reciclados na execução de camadas de pavimentação, e a NBR 15116 (ABNT, 2004), com relação a utilização de agregados reciclados de resíduos sólidos na pavimentação e preparo de concreto sem função estrutura.

Nesse sentido, gerenciamento de resíduos, é como um “sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos” (CONAMA, 2002, p.01).

2.1.2. Tipo de usina e equipamentos

Para que haja um reaproveitamento do material da construção civil, é preciso contar com a consciência de várias pessoas/setores, a começar pela empresa/instituição responsável pela produção do rejeito. Deve-se evitar que os resíduos sólidos sejam misturados, fazendo uma separação preliminar ou seja um desmonte, e não uma demolição comum.

De acordo com Almeida (2014) deve-se conter uma área para guardar o material recebido e processado, apoio para o equipamento britador, e máquinas como moinho martelo, alimentador vibratório, peneira vibratória, eletroímã e correia transportadora. Ainda de acordo com o autor, todo material que chega à área de reciclagem passa por um processo de triagem. Os resíduos da classe A como pedras, restos de concreto, terras são levados por caminhões ou pá carregadeiras até alimentador vibratório, que alimentará um britador de mandíbulas que fara a redução desses materiais. A partir desta britagem, o material é recolhido por um transportador de correia que levará o mesmo até uma peneira vibratória, onde se realizará a separação dos materiais. A usina de reciclagem pode ser visualizada na Figura 1.



Figura 1: Usina de reciclagem de resíduos sólidos do aterro sanitário em Catalão/Go (Autoria própria, 2021).

Em locais onde não é feita a separação preliminar Borges et al (2015) descreve que todo entulho coletado nas ruas vai para as usinas de reciclagem. Sendo realizado primeiramente uma triagem dos materiais, descartando todas as impurezas (madeiras, latas de tinta, PVC, isopor, que são encaminhados ao aterro municipal). Após essa etapa esses agregados, oriundos do processo, substituem a brita natural na confecção de blocos de vedação, base de pavimentação, meio fio, entre outros, gerando novamente economia em obras municipais.

Para Oliveira e Bonetto (2018) as usinas de reciclagem de resíduos sólidos de construção civil, são subdivididas em duas categorias móveis e fixas.

As usinas móveis (Figura 2), segundo Oliveira e Bonetto (2018), são compostas por três componentes, sendo um caminhão, uma britadeira móvel e uma peneira rotatória móvel normalmente atracada como reboque no caminhão. Elas são aplicadas em demolições de obras de médio e grande porte, ou obra de infraestrutura capaz de transformar o resíduo no próprio local de geração em agregado reciclado, ou seja, só atendem o mercado primário.



a) Usina móvel modelo BMD 700/6 (Portal resíduos sólidos, 2018)



(b) Usina móvel em Caldas Novas -GO (Autoria própria, 2021)

Figura 2: Exemplos de usinas móveis.

Ainda de acordo com Oliveira e Bonetto (2018), as usinas fixas são construídas em terreno que variam de acordo com a capacidade de processamento. Atendem o mercado específico (construção de prédio, residências ou comerciais), que geram quantidade de resíduos pequena num longo espaço de tempo, ou seja, o resíduo não é passível de ser reciclado dentro da própria obra. Usinas fixas tendem a ter um peneiramento em diferentes granulometrias. A usina fixa de Catalão é apresentada na Figura 3.



Figura 3: Usina Fixa de reciclagem de resíduos sólidos do aterro sanitário em Catalão/Go (Autoria Própria, 2021).

2.2. DOSAGEM DE CONCRETO CONVENCIONAL

Petrucci (2005), defini concreto como a mistura em proporção adequada de cimento, agregados e água, com características diferentes daquelas apresentadas pelos elementos que o forma. Compreender o estudo dos concretos de cimento obtém melhores processos à obtenção constituinte do concreto, classificado designação do traço.

A proporção expressa em massa ou em volume, sendo mais criteriosa a proporção em massa seca de materiais. A necessidade de encontrar a mistura mais econômica para fabricação de um concreto com características adequadas a sua aplicação empregada no serviço disponível (PETRUCCI, 2005).

De acordo com a NBR 15116/2004 os concretos com utilização de agregados reciclados classes A não podem ser destinados para fins estruturais, ou seja, não podem ser utilizados em elementos estruturais. Assim, o concreto dosado com agregados de reciclagem pode ser empregado em calçadas, assentamento de pisos, contrapiso, paredes de concreto não estruturais, meio-fio, entre outros.

Para a dosagem do concreto o conhecimento em relação as variáveis dos materiais quanto aos ensaios do concreto são necessárias, discorridos nos próximos itens.

2.2.1. Caracterização dos materiais

Algumas variáveis relacionadas as propriedades dos agregados são exigidas para a sua utilização no concreto. Tanto para os agregados miúdos quanto os agregados graúdos, ensaios como de granulometria dos agregados, massa unitária, massa específica, índice de forma, índice de vazios, inchamento, resistência a abrasão, índice limitados a substâncias nocivas, entre outros; são de fundamental concordância aos requisitos normativos.

O quadro 2 apresenta as principais normas que se aplicam para análise da matéria prima do concreto.

Quadro 2 – Principais ensaios e requisitos que são aplicados aos agregados miúdos e graúdos na produção de concreto convencional.

Propriedades	Requisitos	Normas para o Ensaio
Agregados para concreto - Especificação	Especifica os requisitos exigíveis para recepção e utilização dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland.	ABNT NBR 7211:2009
Agregados - Determinação da composição granulométrica	Descreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.	ABNT NBR NM 248:2003
Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água	Estabelece o método para determinação da densidade na condição seca, na condição saturada superfície seca e da absorção de água de agregado miúdo destinado ao uso em concreto.	ABNT NBR 16916:2021
Agregados - Amostragem	Estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde a sua coleta e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados para concreto, destinadas aos ensaios de laboratório e contraprova.	ABNT NBR 16915:2021
Índice de forma dos agregados	Estabelece os requisitos para determinação do índice de forma dos agregados graúdos pelo método do paquímetro.	ABNT NBR 7809:2005
Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis	Especifica um método para a determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis em agregados destinados ao preparo do concreto.	ABNT NBR 7218:2010

Fonte: (Autoria Própria, 2021).

Conforme apresentado no quadro 2, diversos são os ensaios e requisitos que devem ser feitos na produção de um concreto convencional. No presente estudo, o foco do trabalho consiste no método de dosagem do IPT, na qual para sua realização não necessita de parâmetros de caracterização dos agregados miúdos e nem os graúdos previamente, pois é um método de dosagem com constatações dos parâmetros realizados totalmente de forma experimental. Portanto, afirma-se que os ensaios apresentados no quadro 2 devem ser realizados para utilização de concreto convencional, mas não são discutidos ou aplicados por não englobarem o objetivo deste trabalho.

2.2.2. Método de Dosagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

Há vários métodos de dosagem para o concreto de cimento Portland, os quais são úteis, mais simples ou complexos e trabalhosos. O estudo de dosagem é necessário à obtenção do mais acertado para proporção em massa ou volume, sendo preferível a expressão em massa seca de materiais. A meta é encontrar a massa misturada com mais economia para obter um concreto com características com condições adequadas, serviço, empregado e materiais disponível. Qualquer método de estudo que concede dosagem de concreto, tem fundamentos científicos e tecnológicos que abrange experimentos em laboratórios ou em campo (CAMPITELI, 2004).

O método de dosagem IPT, com preconização pelo instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, desenvolvido pelo professor Eládio Petrucci, possui características simples e eficiente, sendo possível calcular outros traços com diferentes valores de resistência característica a partir de no mínimo três traços estudados, além de ser um dos mais difundidos no Brasil.

Tal método caracteriza-se pela obtenção experimental do diagrama de dosagem (Figura 4), onde associa a resistência a compressão de dosagem (fcj) com a relação água/cimento (x), em seguida relaciona a relação água/cimento com a quantidade de agregados totais do traço (m) e, por fim, esta última é relacionada com o consumo de cimento por m^3 de concreto (C). O método de dosagem do IPT pode ser subdividido em quatro etapas que são explicadas abaixo.

✓ 1º Etapa

A primeira etapa consiste na separação dos materiais para a dosagem, em seguida, se produz um traço piloto de geralmente na proporção de 1:5 (cimento: agregados totais). Posteriormente, determina-se o teor de argamassa (α) teórico para se obter um concreto consistente e trabalhável que é verificado na betoneira durante a dosagem. O teor de argamassa, para um traço unitário (na proporção de 1 kg de cimento), é dado pela equação abaixo.

$$\alpha = \frac{1+a}{1+a+p} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Sendo (α) o teor de argamassa expresso em %, (a) é a quantidade de agregado miúdo, e (p) é a quantidade de agregado graúdo. A somatória de agregados totais (m) é representada por: $m=a+p$. Além do teor de argamassa, deve-se ser analisado a relação água/materiais secos (H) que se pode calcular através da seguinte equação.

$$H = \frac{x}{1+a+p} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Onde H é a relação água/materiais secos expressa em (%), x é a quantidade de água.

Assumido e pesado a quantidade de agregados (m) e quantidade de água (x), roda-se o traço piloto onde se faz a verificação física do teor de argamassa (α) na betoneira, utilizando uma colher de pedreiro sobre a superfície do concreto, de forma que a mesmo deslize e demonstre se a textura esteja de modo que preencha os vazios e que a argamassa se agregue e envolva o agregado graúdo, apresentando um concreto mais homogêneo e trabalhável. Após obter a característica esperada quanto ao teor de argamassa, deve-se realizar o ensaio de *slump test* para verificação da consistência, ou seja, o traço piloto estudado após ter um teor de argamassa adequado deve também obter uma consistência adequada e fixada. Caso o teor de argamassa não obtenha esta característica, deve-se ajustar o teor de argamassa (α) através da inclusão gradativa de mais materiais que contemplam a pasta, ou seja, cimento, agregados miúdos e água, de modo que a relação m do traço seja mantida.

✓ 2º Etapa

A segunda etapa só pode ser realizada se o traço piloto funcionar corretamente com a análise do concreto no estado fresco, ou seja, já com o teor de argamassa (α) e o *slump test* fixados, pois os próximos traços são realizados através da referência destes parâmetros. A relação água/materiais secos (H) dos próximos traços podem se alterar em relação ao traço piloto. Assim, roda-se mais dois traços de concreto auxiliares, sendo geralmente um traço de 1:3 (cimento: agregado totais) chamado (traço rico) e outro de 1:6

(cimento: agregado totais) chamado (traço pobre). As três misturas devem ser realizadas com o mesmo teor de argamassa e a mesma consistência, medida pelo *slump test*.

✓ **3º Etapa**

A terceira etapa, é uma etapa que é feita após a realização da dosagem de cada traço, pois consiste na realização da moldagem dos corpos-de-prova para o ensaio de resistência a compressão, necessariamente nas idades de 3, 7 e 28 dias. Com os traços piloto, rico e pobre obtidos, é possível traçar o diagrama de dosagem, na qual é feita uma relação entre os seguintes parâmetros: a resistência a compressão e relação água/cimento (Lei de Abrams); quantidade de materiais (m) e relação água/cimento (Lei de Lyse); e por fim; o consumo de cimento e a quantidade de materiais (m) (Lei de Molinari). A representação gráfica do diagrama de dosagem conforme o método do IPT é apresentado na figura 4.

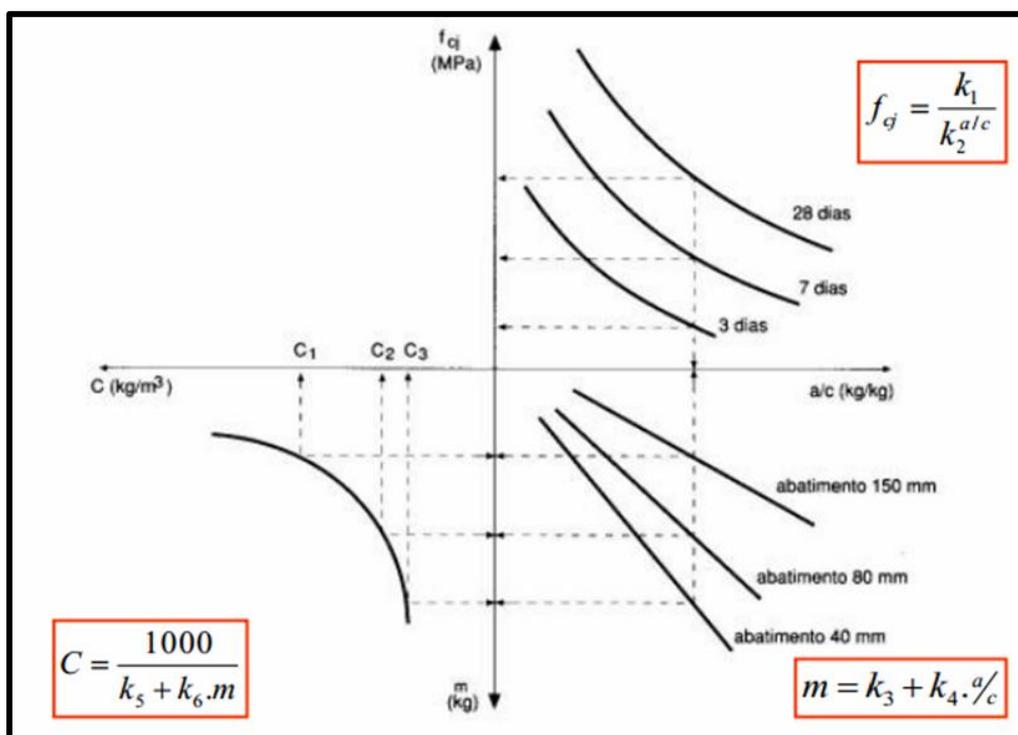


Figura 4 – Diagrama de dosagem pelo método de dosagem de concreto IPT (Cândido, 2021).

Através do diagrama de dosagem apresentado, pode ser observado que a Lei de Abrams relaciona resistência a compressão com a relação água cimento através de uma exponencial. Quanto maior a relação água cimento menor é a resistência a compressão do concreto. A Lei de Lyse relaciona a quantidade de materiais (m) com a relação água cimento através de uma equação linear e, por fim, Lei de Molinari faz a relação entre consumo de cimento e quantidade de materiais (m) por função polinomial.

Ao realizar a dosagem do traço piloto, rico e pobre é possível traçar as curvas através de planilhas eletrônica que expressão o comportamento citado, ou seja, as curvas obtidas são expressas em termos das constantes k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5 e k_6 .

Durante a dosagem, o consumo de cimento por m^3 pode ser obtido com base no ensaio de massa específica do concreto dosado. Tal ensaio não possui normatização, mas é de simples realização, pois basta pesar o concreto no estado fresco em um recipiente de

volume conhecido. Assim, o consumo de cimento do traço por ser calculado pela seguinte equação:

$$C = \frac{1000 \cdot \gamma_{cf}}{1+a+p+x} \quad (2.3)$$

Onde C é o consumo de cimento por m³, γ_{cf} é a densidade do concreto no estado fresco.

✓ **4º Etapa**

Através do diagrama de dosagem é possível entender o comportamento dos traços estudados e com isso propor um traço definitivo que possa ser utilizado. Por fim, para análise de um traço definitivo é necessário compreender que a resistência de dosagem é dada pela seguinte equação:

$$F_{CJ} = F_{CK} + 1,65SD \quad (2.4)$$

Sendo f_{cj} a resistência do concreto a compressão nas idades propostas em dias (MPa), f_{ck} a resistência característica a compressão do concreto (MPa), SD o desvio padrão de dosagem (MPa), e 1,65 a quantidade referente a 5% da curva de densidade da distribuição normal de Gauss. Os valores de SD dependem do nível de qualidade na produção do concreto e podem ser dados através do quadro 3:

Quadro 3 – Valores de SD em função do rigor da produção.

SD	Condição	Classe	Tipo de Concreto
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor e água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

Fonte: CASTRO, 2018.

Uma vez entendido o método de dosagem do IPT, é possível abranger sobre os ensaios que são realizados e aplicados durante este método de dosagem.

2.2.3. Ensaio de *SLUMP TEST*

O método mais utilizado para garantir a homogeneidade do concreto são os ensaios de abatimento mais conhecido com ensaio de *slump test*, onde é possível determinar a consistência do concreto fresco. A NBR NM 67:1998 traz os materiais e os procedimentos adequados para a realização do ensaio.

Segundo NBR NM 67 os procedimentos devem ser seguidos da seguinte forma: o operador deve umedecer o molde e a placa, apoiar com os dois pés sobre as aletas da base e encher o cone com concreto com 3 camadas, onde cada camada deve-se ser preenchida com um terço da altura do cone, compactar cada camada com 25 golpes

utilizando da haste de socamento, e compactar cada camada em somente sua espessura, de forma que os golpes não penetrem na camada anterior. Após adicionado todas as camadas de concreto até que fique um excesso sobre a superfície do molde, é necessário rasar a superfície do concreto com o auxílio de uma desempenadeira.

Após isso limpar a placa e levantar cuidadosamente o molde na direção vertical, onde deve ser realizado em 5 a 10 segundos, com movimento constante para cima, sem submeter o concreto a movimento de torção. Logo em seguida após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto, obtendo a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, que corresponde à altura média, aproximando aos 5mm mais próximos. A figura 5 segue os passos para execução do ensaio de *slump test*.

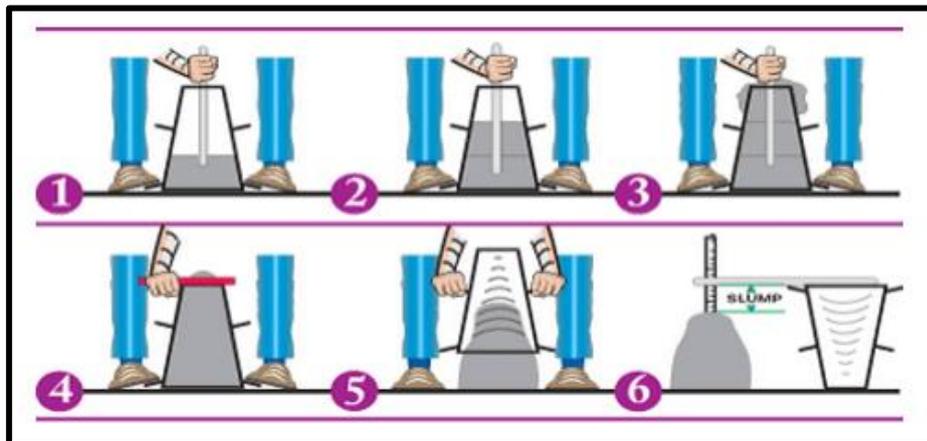


Figura 5 – Etapas para execução de ensaio de *slump test* (MOREIRA et al, 2020)

Segundo NBR NM 67 é importante que seja feito um relatório do procedimento contendo assim a referência a esta norma utilizada, a data do ensaio, identificação da amostra, o abatimento do corpo de prova de ensaio, e/ou possíveis anomalias observadas que possa ter ocorrido.

2.2.4. Ensaio de resistência a compressão

A resistência a compressão é a característica mais importante das propriedades mecânicas do concreto. Para se obter resultados dessas resistências os corpos de prova são moldados segundo a NBR 5738/2016 e o rompimento realizado conforme a NBR 5739/2018, que traz o ensaio de compressão através de corpos de provas.

O ensaio de moldagem do corpo de prova foi realizado para um corpo de prova cilíndrico de dimensões 10x20cm (diâmetro x altura). Assim, a NBR 5738/2016 especifica que a moldagem pode ser realizada com adensamento manual (haste metálica) com duas camadas e 12 golpes a cada camada, sem que ao compactar a camada superior não penetre a haste na camada inferior. A partir disso, os corpos de prova devem ser identificados e colocados em superfície plana e fora de incidência do sol.

De acordo com a NBR 5739/2018, o ensaio de resistência a compressão consiste na aplicação de força axial com uma carga compressiva em um corpo de prova, sendo assim os resultados obtidos nesse ensaio expressam as tensões no corpo de prova de concreto. Os ensaios podem ser realizados em qualquer idade, mas para dosagem do concreto pelo método do IPT são realizados, no mínimo, ensaios de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias. Os valores obtidos das tensões são utilizados para montagem do diagrama de dosagem. A figura a seguir apresenta escopo do ensaio.

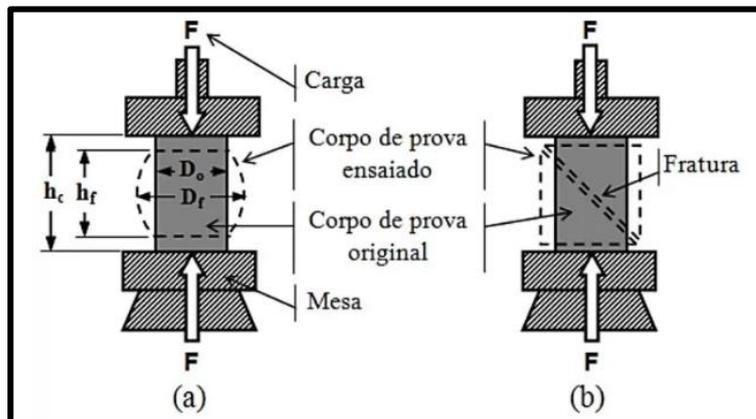


Figura 6: Ensaio de compressão para a) Deformada e b) Forma de ruptura
Fonte: Biopdi,2021.

Para a obtenção da resistência a compressão axial do concreto é utilizada a fórmula de resistência apresentado na NBR 5739:2018, dada por:

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (2.5)$$

Em que:

f_c é a resistência à compressão, geralmente expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

Os tipos de rupturas que podem ser encontrados nos corpos de prova são previstos na NBR 5739:2018 conforme visualizados abaixo.

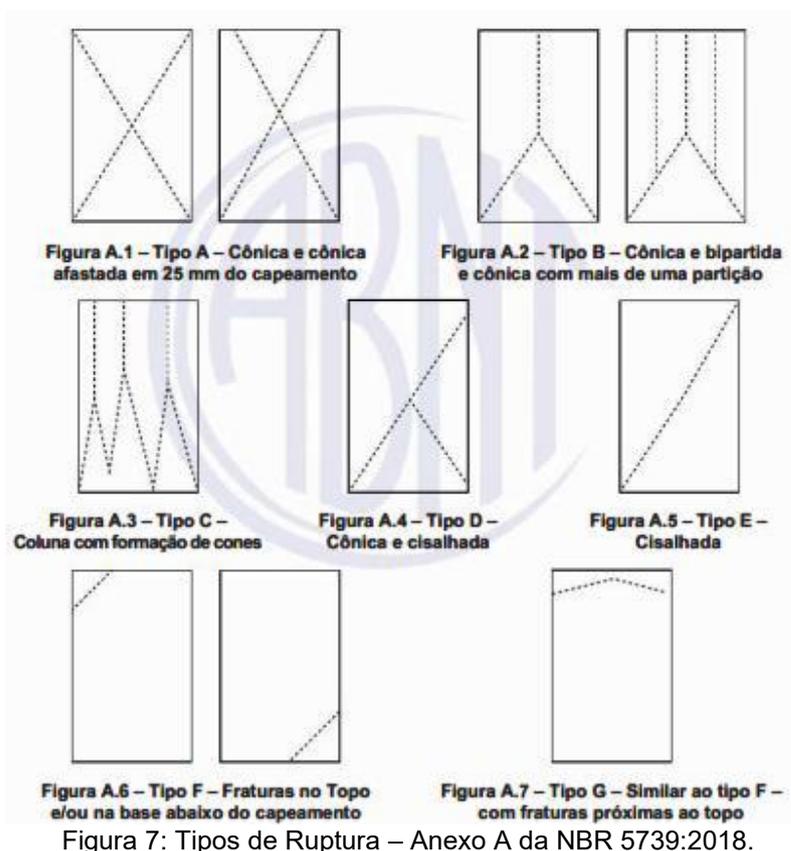


Figura 7: Tipos de Ruptura – Anexo A da NBR 5739:2018.

A figura 7 traz os tipos de ruptura dos corpos de prova, nas quais podem indicar os seguintes fenômenos: os tipos A, B, C, D e E são os mais confiáveis e, com exceção do tipo E, trazem aspectos relacionados a ruptura na zona de transição na interface pasta/agregado. O tipo E indica que o corpo de prova tem alto desempenho na interface pasta-agregado e que o corpo de prova fraturou por tensões distribuídas de forma homogênea entre os componentes (pasta/agregado), ou seja, rompeu como se o material fosse quase perfeitamente homogêneo. Por outro lado, as rupturas do tipo F e G indicam que ocorreu falha no capeamento do corpo de prova ou na forma (área) de aplicação da carga. Assim sendo, tendo em vista o método do IPT e os ensaios mencionados, no tópico abaixo é apresentada a metodologia do trabalho.

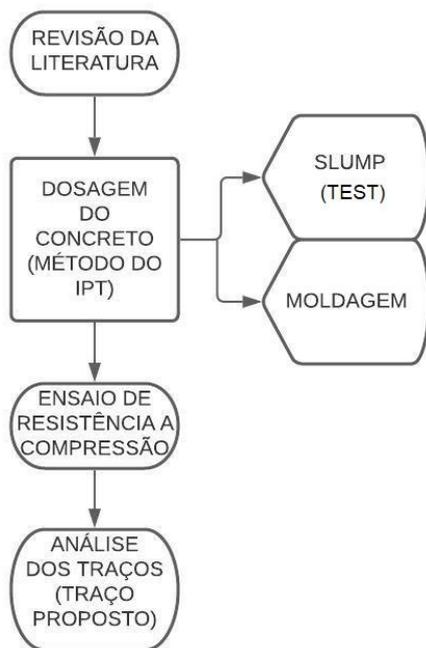
3. METODOLOGIA

O presente capítulo traz a metodologia do trabalho e suas etapas para alcançar o objetivo geral. O presente trabalho teve uma metodologia teórica e prática (Figura 9), na qual iniciou-se com a revisão de literatura, com consultas de artigos, livros, trabalhos acadêmicos e normas científicas para dar embasamento ao estudo da dosagem de traço de concreto convencional. Além disso, as normas com os principais ensaios para a realização da dosagem foram avaliadas.

Após a revisão da literatura e o embasamento teórico fechado, iniciou-se o método de dosagem IPT, no laboratório da Universidade UNA. Neste laboratório foram confeccionados quatro (4) traços (piloto 1, piloto 2, pobre e rico). Todos os traços foram estudados com utilização de agregados da cidade de Caldas Novas - GO, sendo grãos do tipo brita 1 e miúdos fracionados entre 50% de areia natural e 50% de rejeito do tipo classe A de uma usina móvel em uma obra na cidade citada. O Cimento utilizado foi o CP II – Z 32 da marca CIPLAN.

Mediante estimativa do volume mínimo na betoneira, foi realizado a dosagem no laboratório com a separação dos materiais secos e pesagem para a aplicação do método de dosagem IPT. Vale ressaltar que para a aplicação da dosagem todos os materiais estavam secos à umidade higroscópica, o que é permitido pelo método do IPT. Outro aspecto que vale ressaltar é que o presente trabalho tem objetivo de apenas realizar o estudo na dosagem pelo método do IPT, então ensaios que caracterizam os materiais não foram necessários por este método de dosagem. Durante a dosagem houve a realização dos ensaios do *slump test* para verificação da consistência e possíveis ajustes do teor de argamassa.

A partir do traço dosado em laboratório, foi realizado no dia seguinte a desmoldagem dos corpos de prova cilíndrico e submergidos em água, os resultados dessas resistências foi obtido segundo a NBR 5739/2018. Após três (3) dias realizou a primeira verificação da resistência a compressão das amostras, mantendo as demais emergidas em água. Os testes subsequentes foram realizados com sete (7) e vinte e oito (28) dias. Posterior a verificação da resistência a compressão foi elaborado o diagrama de dosagem do método IPT e análise dos traços proposto. Os resultados são apresentados no final do estudo, expondo as considerações e avaliações da resistência do concreto oriundo de rejeitos.



(a) Fluxograma da pesquisa (b) Usina Móvel de Reciclagem em Caldas Novas – GO
Figura 9: Fluxograma representativo da metodologia deste trabalho e usina móvel dos materiais utilizados (Autoria Própria, 2021).

4. RESULTADOS

Nos subtópicos abaixo serão explorados os resultados deste trabalho. No item 4.1 são apresentados uma discussão sobre as etapas iniciais no laboratório, no item 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 são apresentadas as etapas dos traços piloto 1, piloto 2 (traço médio), traço pobre e traço rico, respectivamente.

4.1 ETAPAS INICIAIS

Inicialmente para análise dos resultados, foram verificadas a capacidade da betoneira. O equipamento do laboratório consiste em uma betoneira da marca Horbach, que tem uma capacidade de 130L, porém a quantidade máxima indicada pelo fabricante para mistura adequada de concreto é de 65L (carga de trabalho). Foi prevista uma capacidade mínima de mistura de concreto conforme manual do fabricante, sendo 1/3 do volume máximo. Sendo assim, o mínimo de volume adotado para os ensaios foram de 20L ou 0,02m³.

A densidade de concretos convencionais fica em torno de 2.300 kg/m³ a 2.400kg/m³. Desta forma, sabendo que o volume de concreto mínimo é de 0,02m³ o peso total de concreto (cimento + agregados + água) foi estimado pela equação abaixo.

$$P = \rho_{concreto} \cdot V = 2.400 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,02m^3 = 48kg \quad (4.1)$$

Onde: P é o peso total da amostra, $\rho_{concreto}$ é a densidade do concreto e V é o volume da amostra. Conforme mostrado, foi adotado a densidade de 2.400kg/m³ e com base no volume mínimo da betoneira (0,02m³) o mínimo de amostras para a dosagem do concreto foi de 48kg. A partir desta quantidade mínima pode-se proceder os ensaios dos traços.

4.2 DOSAGEM DO TRAÇO PILOTO 1

Uma vez dispondo dos materiais secos, o traço piloto 1 inicialmente testado foi assumido em uma proporção de 1:5 (cimento: agregados totais) conforme é recomendado pelo método IPT. A partir da proporção citada foi possível assumir a proporção de agregados miúdos igual a 2 ($a=2$), sendo 50% de areia natural e 50% de rejeito de material classe A de Caldas Novas-GO. Para os agregados graúdos foi adotado brita 1 na proporção igual a 3 ($p=3$). A relação água cimento idealizada para este traço é de 0,45, porém este parâmetro posteriormente é investigado e confirmado experimentalmente. Com todo traço inicial assumido, foi possível calcular o teor de argamassa (α) e a relação água/materiais secos (H) através das Equações (2.1) e (2.2), respectivamente. A partir do traço unitário citado foi possível expandir esse traço em 8 vezes, para que assim pudesse obter o volume mínimo de mistura na betoneira. Os valores calculados são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 1 – Traço piloto 1 na etapa 1 (Autoria Própria, 2021).

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Rejeito (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	a/c (kg/kg)	M (kg)	α (%)	H(%)
Unitário	1	1	1	3	0,45	0,45	5	50	7,5
Proporcional (8x)	8	8	8	24	3,6	0,45	40	50	7,5

O traço citado na tabela 1 teve seus materiais pesados na balança e foi possível proceder a mistura na betoneira. A betoneira foi imprimada, que consiste no umedecimento inicial da mesma sem acúmulo de água ou umidade excessiva. Os materiais estavam secos e a sua umidade não interferiram nas dosagens. Durante a mistura inicialmente foi adicionado na betoneira a brita 1 em sua totalidade juntamente com 60% da água total do traço. Posteriormente foi adicionado a areia natural e o rejeito classe A em sua totalidade, em seguida o cimento em sua totalidade, e por fim, o restante de 40% da água. Na figura 10 é apresentado a pesagem dos materiais (o rejeito classe A como um exemplo) e na figura 11 as etapas de inclusão dos materiais na betoneira.



PESAGEM DO REJEITO
CLASSE A

PESAGEM DOS MATERIAIS

Figura 10 – Pesagem dos materiais (Autoria Própria, 2021).



BRITA 1

60% ÁGUA

AREIA NATURAL

REJEITO CLASSE A

CIMENTO

40% ÁGUA

Figura 11 – Adição dos materiais na betoneira (Autoria Própria, 2021).

A partir dos materiais adicionados na betoneira procedeu a mistura do concreto com o tempo médio de 5 minutos. Ao analisar o concreto, o mesmo estava com o aspecto muito

seco e não trabalhável. Assim, a relação água cimento inicialmente adotada precisou ser ajustada. Então, após algumas etapas foi sendo adicionado água aos poucos com cuidado para não segregar o concreto até ser obtida uma mistura homogênea. Para isso, foi necessário adicionar 800 ml (0,8 kg) de água. Após esta adição o traço foi atualizado, conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 2 – Traço piloto 1 na etapa 2 (Autoria Própria, 2021).

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Rejeito (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	a/c (kg/kg)	m (kg)	α (%)	H(%)
Unitário	1	1	1	3	0,55	0,55	5	50	9,16
Proporcional (8x)	8	8	8	24	4,4	0,55	40	50	9,16

Conforme pode-se observar na tabela acima ao aumentar a quantidade de água e não modificar os outros materiais foi alterado, conseqüentemente, a relação água/cimento e a relação água/materiais secos (H). Após esta modificação o concreto apresentou uma massa homogênea e pouco trabalhável, pois ao realizar o teste físico do teor de argamassa dentro da betoneira o aspecto do concreto se apresentava com baixo teor de argamassa, ou seja, existiam muitos agregados graúdos (B1) e pouca pasta para envolvê-los. O teste e o aspecto do concreto são apresentados na figura 12.



Figura 12 – Análise do teor de argamassa conforme método IPT (Autoria Própria, 2021).

Ao analisar a figura 12 é nítido que concreto com 50% de teor de argamassa não está adequado. Nesta etapa visto que o concreto não está trabalhável não se viabilizou a execução do ensaio de *slump test*. Desta forma, foi necessário corrigir e aumentar o teor de argamassa. Para isso, foi corrigido e feito um novo traço com intuito de diminuir os agregados graúdos e aumentar os agregados miúdos, mantendo a proporção de 50% de areia natural e 50% de rejeito classe A, mantendo também a proporção $m=5$.

Ao aumentar a quantidade de agregado miúdo e rodar um novo traço, o concreto ficou muito seco, e assim foi necessário a adição de água para obter um concreto trabalhável. Foi adicionado água aos poucos para não segregar o concreto e chegar em uma mistura homogênea e verificado o *slump test* a cada adição de água, porém devido ao efeito da maior quantidade de agregado miúdo em relação ao traço anterior o concreto demandou muita água refletindo em uma relação água/cimento mais alta, fugindo dos limites máximos exigidos pela NBR 6118:2014. Os resultados do traço piloto 1 atualizado na etapa três é descrito na tabela abaixo.

Tabela 3 – Traço piloto 1 na etapa 3 (Autoria Própria, 2021).

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Rejeito (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	a/c (kg/kg)	m (kg)	α (%)	H(%)
Unitário	1	1,09	1,09	2,82	1,5	1,5	5	53	25
Proporcional (8x)	8	8,72	8,72	22,56	12	1,5	40	53	25

Conforme observado na tabela acima pretendeu-se nesta etapa 3 aumentar a proporção de agregados miúdos para $a=2,18$ e reduzir a quantidade de brita 1 ($p=2,82$), porém a demanda de água foi muito alta conforme citado anteriormente. Além disso foi avaliado a consistência através do *slump test* e o teor de argamassa através do ensaio físico na betoneira. Os resultados podem ser visualizados nas imagens abaixo.

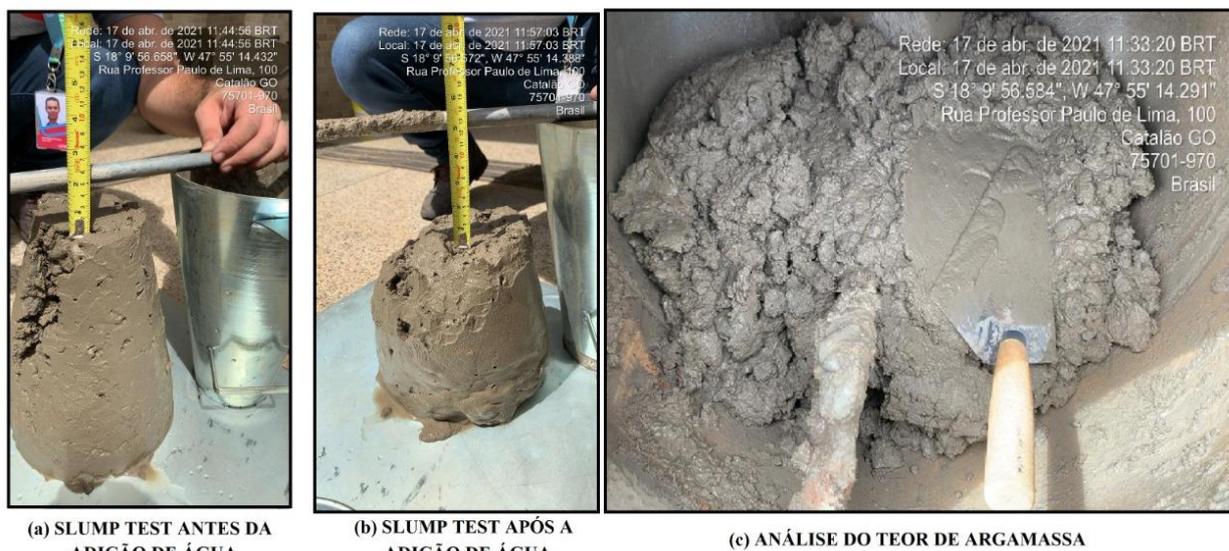


Figura 13 – Ensaio de *slump test* e análise do teor de argamassa na etapa 3 conforme método IPT (Autoria Própria, 2021).

Com o traço estudado mostrado na figura 13 foi possível obter experiência inicial do comportamento dos materiais de acordo com o método do IPT. Tais experiências são: a) A proporção 1:5 (cimento: agregados totais) não podem ser empregadas na confecção do traço piloto, pois a alta quantidade de material e principalmente a presença do rejeito, que por ser fino tem alto índice de vazios, faz com que o concreto demande muita água, fugindo da relação água/cimento prática e normativa. b) conforme a figura 13 pode ser observado que a trabalhabilidade melhorou com o aumento dos agregados miúdos, que agora é de 53%, porém o concreto ainda demonstrou um teor de argamassa fora do aceitável/adequado; c) alta porcentagem da relação água/materiais secos ($H=25\%$) confirma a grande demanda de água em relação a quantidade de materiais secos.

Como alternativa para melhorar este traço existem duas soluções: a primeira consiste em refazer a análise com o uso de aditivo plastificante; e a segunda consiste na redução na proporção de materiais em relação a quantidade de cimento e água. Neste trabalho optou-se por reduzir a proporção de materiais e ainda melhorar um pouco mais o teor de argamassa, pois um traço com uma menor proporção de materiais (m) demanda menos água. Com isso, foi possível propor um traço piloto 2 mais consistente para empregar no método IPT. Tal traço é apresentado no próximo tópico.

4.2 DOSAGEM DO TRAÇO PILOTO 2

O traço piloto 2 ainda é o traço referente ao denominado traço piloto no método IPT. Após a experiência no traço piloto 1 apresentado no tópico anterior, foi possível propor um traço piloto (traço piloto 2) que fique em uma faixa entre o traço rico e traço pobre.

O traço piloto 2 foi assumido em uma proporção de 1:3 (cimento: agregados totais) com intuito de diminuir a proporção de materiais em relação a quantidade de cimento, e consequentemente, diminuir a quantidade de água do traço, uma vez que a menor quantidade de agregados totais (m) demanda uma menor quantidade de água. Paralelo a isso, a proporção entre agregados miúdos foi igual a 1,2 ($a=1,2$), sendo mantido 50% de areia natural e 50% de rejeito de material classe A. A proporção de agregados graúdos (brita 1) foi igual a 1,8 ($p=1,8$). Tais proporções entre os agregados foram assumidos com a finalidade de melhorar ainda mais o teor de argamassa, que neste caso agora é de 55%. Além disso, foi obtida uma melhora na relação água/materiais secos para 12,5%. Os valores citados no traço piloto 2 podem ser visualizados na tabela 4.

Tabela 4 – Traço piloto 2.

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Rejeito (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	a/c (kg/kg)	m (kg)	α (%)	H(%)
Unitário	1	0,6	0,6	1,8	0,5	0,5	3	55	12,5
Proporcional (11x)	11	6,6	6,6	19,2	5,5	0,5	33	55	12,5

Através da tabela 4 pode-se observar que ao reduzir a quantidade de agregados do traço ($m=3$) foi necessário aumentar a proporção de mistura na betoneira em 11 vezes, para que assim pudesse ser respeitado a capacidade mínima de mistura do equipamento. O traço proposto ao ser inserido na betoneira e ao ser realizado a dosagem funcionou muito bem. Durante a dosagem a água foi incluída aos poucos e foi sendo verificada a consistência através do seu *slump test*. Assim sendo, o valor de 5,5kg de água que implica na relação água/cimento de 0,5 foi obtida para um *slump test* de 12+- 2cm. Desta forma, o traço piloto 2 para aplicação dos próximos traços (pobre e rico) através do método IPT deve ter os parâmetros de *slump test* (12+-2cm) e teor de argamassa ($\alpha=55\%$) fixos. Na figura 14 abaixo pode ser visualizado o *slump test* e o teor de argamassa para o traço piloto 2.



Figura 14 – Ensaio de slump test e análise do teor de argamassa conforme método IPT (Autoria Própria, 2021).

Conforme visualizado na imagem acima o traço proposto funcionou adequadamente, após a mistura, verificação do *slump test* e teor de argamassa foi possível realizar o ensaio de massa específica do concreto fresco e a moldagem dos corpos de prova. O ensaio de massa específica do concreto fresco foi feito ao determinar a massa do concreto fresco na balança contido em um recipiente de volume conhecido, no caso o próprio corpo de prova moldado. A execução dos ensaios pode ser visualizada na figura 15 e 16.



Figura 15 – Preparo de moldes e pesagem de corpos de prova para obtenção de massa específica (Autoria Própria, 2021).



(a) IDENTIFICAÇÃO DAS MOLDAGENS DOS CORPOS DE PROVA

Figura 16 – Identificação de corpos de prova (Autoria Própria, 2021).

4.3 DOSAGEM DO TRAÇO RICO

A partir do teor de argamassa (α) de 55% fixado no traço piloto 2 e adotando a quantidade de agregados totais agora igual a 1,5 ($m=1,5$) foi possível através da equação (2.1) fazer o cálculo inverso e determinar a quantidade de agregado miúdo (areia e rejeito), e conseqüentemente, de agregados graúdos para o novo traço (traço rico). Vale ressaltar que a adoção $m=1,5$ é para que o traço fique rico em cimento em relação ao traço piloto 2.

Com a proporção de materiais definidos de 1:1,5 (cimento: agregados totais) conforme citado, foi determinado a quantidade de 0,38 para os agregados miúdos ($a=0,38$) e agregados graúdos igual a 1,12 ($p=1,12$). Como a quantidade dos materiais envolvidos no traço rico é menor em agregados, para conseguir misturar na betoneira com base no volume mínimo foi necessário aumentar a proporção do traço em 18 vezes e rodado o novo traço.

Destaca-se ainda que a proporção de 50% de areia natural e 50% rejeito classe A foi mantida também neste traço. A quantidade de água foi sendo adicionada aos poucos na betoneira, bem como para cada respectiva adição de água foi sendo verificado o *slump test*. Ao alcançar um *slump test* de 12+- 2 cm foi verificada o teor de argamassa na betoneira e finalizada a adição de água. O *slump test* pelo método do IPT também deve ser mantido o mesmo em todos os traços agora de estudo (piloto 2, rico e pobre). A tabela abaixo apresenta o traço rico.

Tabela 5 – Traço rico (Autoria Própria, 2021).

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Rejeito (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	a/c (kg/kg)	m (kg)	α (%)	H(%)
Unitário	1	0,19	0,19	1,12	0,39	0,39	1,5	55	15,6
Proporcional (18x)	18	3,42	3,42	20,16	7	0,39	27	55	15,6

Através da tabela 5 pode-se observar que ao reduzir a quantidade de agregados do traço ($m=1,5$) conseqüentemente a relação água/cimento também diminuiu, o que era esperado. O traço rico apresentou também um bom aspecto em termos de teor de

argamassa (α) da mesma forma que o traço piloto 2. A partir da dosagem do traço rico finalizada foi possível realizar o ensaio da massa específica e a moldagem dos corpos de provas para rompimento aos 3, 7 e 28 dias. A figura abaixo apresenta o aspecto do concreto, a figura com a moldagem dos corpos de provas é apresentada no final do tópico seguinte em conjunto de todas as moldagens.



Figura 17 – Análise de teor de argamassa conforme método IPT para traço rico (Autoria Própria, 2021).

Conforme observado na figura 17 acima o concreto apresentou características no estado fresco adequadas também no traço rico. Vale ressaltar que os traços em estudos para o diagrama de dosagens são os com parâmetros fixos, ou seja, o traço piloto 2, que foi obtido por experiência do traço anterior, o traço rico e no próximo tópico o traço pobre.

4.4 DOSAGEM DO TRAÇO POBRE

A partir do teor de argamassa (α) de 55% fixado no traço piloto 2 e adotando a quantidade de agregados totais igual a 3,8 ($m=3,8$) foi possível através da equação (2.1) realizar novamente o cálculo inverso e determinar a quantidade de agregado miúdo (areia e rejeito), e conseqüentemente, a quantidade de agregados graúdos. Vale ressaltar que a adoção $m=3,8$ é para que o traço fique pobre em cimento em relação ao traço piloto 2 (traço piloto definitivo). Caso tal proporção de $m=3,8$ fosse assumida mais próxima de $m=5$ o concreto apresentaria os mesmos problemas do traço piloto 1 (teste inicial com $m=5$), então pode-se afirmar que o comportamento durante as dosagens está sendo bem correlacionado entre teoria e prática.

Com a proporção de materiais definidos de 1:3,8 (cimento: agregados totais) conforme citado, foi determinado a quantidade de 1,64 para os agregados miúdos ($a=1,64$)

e agregados graúdos igual a 2,16 ($p=2,16$). Para conseguir misturar na betoneira com base no volume mínimo foi necessário aumentar a proporção do traço em 10 vezes.

Destaca-se ainda que a proporção de 50% de areia natural e 50% rejeito classe A foi mantida também neste traço. A quantidade de água foi sendo adicionada aos poucos na betoneira, bem como para cada respectiva adição de água foi sendo verificado o *slump test*. Ao alcançar um *slump test* de 12+- 2 cm foi verificada o teor de argamassa na betoneira e finalizada a adição de água. O *slump test* pelo método do IPT também deve ser mantido o mesmo em todos os traços (piloto 2, rico e pobre). A tabela abaixo apresenta o traço pobre.

Tabela 6 – Traço pobre (Autoria Própria, 2021).

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Rejeito (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	a/c (kg/kg)	m (kg)	α (%)	H(%)
Unitário	1	0,82	0,82	2,16	0,53	0,53	3,8	55	10,94
Proporcional (10x)	10	8,2	8,2	21,6	5,3	0,53	38	55	10,94

Através da tabela 6 pode-se observar que ao aumentar a quantidade de agregados do traço ($m=3,8$) conseqüentemente a relação água/cimento também aumentou, o que era esperado. O traço pobre apresentou também um bom aspecto em termos de teor de argamassa (α) da mesma forma que o traço piloto 2, bem como todos os traços tiveram água adicionada até alcançar um *slump test* de 12+- 2 cm. A partir da dosagem do traço pobre finalizada foi possível realizar o ensaio da massa específica e a moldagem dos corpos de provas para rompimento aos 3, 7 e 28 dias. O teor de argamassa determinado no experimento de 55% foi mantido para os três traços (piloto2, rico e pobre) e pode ser verificado na figura 18. A figura 19 apresenta a moldagem de todos os corpos de provas dos traços citados.

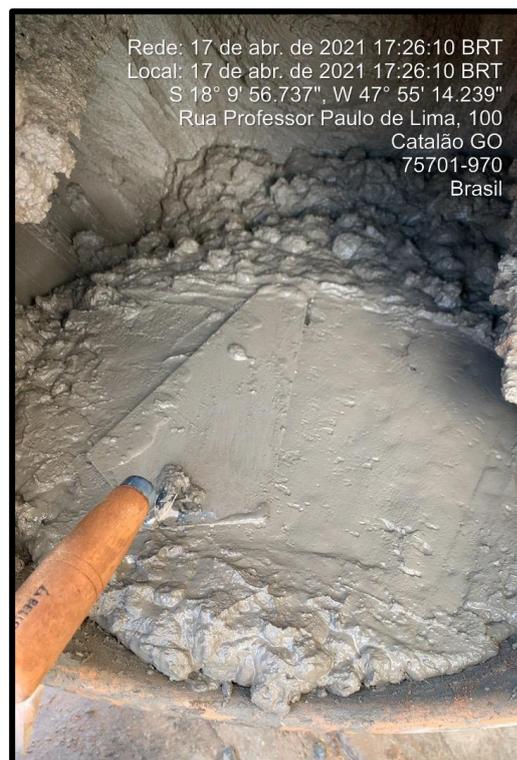


Figura 18 – Análise de teor de argamassa do traço pobre conforme método IPT (Autoria Própria, 2021).



Figura 19 – Moldagem de todos os corpos de prova para todos os traços (Autoria Própria, 2021).

Conforme observado na figura 18 acima o concreto apresentou características no estado fresco adequadas. A imagem 19 mostrou a moldagem de todos os traços nos corpos de prova.

4.5 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS TRAÇOS

Para cada traço do concreto realizado em laboratório foram realizados ensaios da massa específica do concreto no estado fresco bem como a moldagem dos corpos de provas aos 3, 7 e 28 dias conforme a NBR 5739/2018. Os resultados do ensaio de massa específica são apresentados na tabela 7 e foram utilizados para o cálculo do consumo de cimento C através da Equação (2.3). Para análise da massa específica, o concreto de todos os corpos de provas moldados para cada traço foram pesados.

Tabela 7 – Densidade do concreto no estado fresco (Autoria Própria, 2021).

Traço	Composição do traço (Cim : Ag.miúdo : Ag.graúdo : água/cim)	α (%)	H(%)	Densidade (kg/m ³)	Consumo de cimento (kg/m ³)
Piloto 1	1 : 2 : 3 : 0,45	53	7,5	2266,36	351,32
Piloto 2	1 : 1,2 : 1,8 : 0,5	55	12,5	2317,29	514,89
Rico	1 : 0,38 : 1,12 : 0,39	55	15,6	2315,29	801,04
Pobre	1 : 1,64 : 2,16 : 0,53	55	10,94	2291,82	430,23

Conforme observado na tabela 7, o ensaio de densidade do concreto no estado fresco para os diferentes traços teve resultados satisfatórios, pois a densidade do concreto ficou entre 2.200 kg/m³ a 2.400 kg/m³. Foram moldados 2 corpos de prova para cada idade e traço. Os corpos de prova foram rompidos a velocidade de carregamento constante e próxima de (0,45 ± 0,15) MPa/s, tendo resultados do rompimento apresentados no quadro 4.

Quadro 4 – Valores do ensaio de resistência a compressão (Autoria Própria, 2021).

Traço (Cimento : Agregados totais)	a/c (Kg/Kg)	Idade (dias)	F _{cj} (Mpa) e Tipo de Ruptura		F _{cj} (Mpa) adotado	F _{cj} (Mpa) média
			CP1	CP2		
Piloto 1 (1:5)	1,5	3	7,61 (B)	8,08 (B)	8,08	7,845
		7	9,35 (B)	9,48 (E)	9,48	9,415
		28	10,53 (E)	10,66 (B)	10,66	10,59
Pobre (1: 3,8)	0,53	3	10,24 (B)	10,14 (B)	10,24	10,19
		7	11,29 (E)	12,16 (E)	12,16	11,725
		28	15,37 (B)	15,06 (B)	15,37	15,215
Piloto 2 (1 : 3)	0,50	3	15,25 (B)	15,08 (B)	15,25	15,165
		7	16,41 (E)	10,30 (F)	16,41	13,355
		28	19,55 (B)	19,34 (E)	19,55	19,445
Rico (1 : 1,5)	0,39	3	21,30 (B)	19,40 (B)	21,30	20,35
		7	21,41 (B)	23,67 (E)	23,67	22,54
		28	21,66 (B)	26,90 (B)	26,90	24,28

Conforme resultados de resistências apresentados no quadro 2, é possível verificar a resistência dos diferentes traços piloto 1, pobre, piloto 2 e rico com a quantidade de água/cimento e materiais nas diferentes idades de 3, 7 e 28 dias. Para montagem do diagrama de dosagem é utilizado o maior valor entre resistências obtidas entre os rompimentos para cada traço e idade.

Com os valores de resistências obtidos, foi possível traçar os gráficos da lei de Abrams, lei de Lyse e lei de Molinari. Vale ressaltar que para traçar os gráficos das leis citadas foram utilizados o traço pobre, piloto 2 e rico, pois estes traços possuem teor de argamassa igual a 55% e *slump test* de 12+-2cm. Conforme já citado anteriormente nesse trabalho, o traço piloto 1 foi um traço dosado apenas para adquirir uma experiência e análise inicial com os materiais e não deve ser incorporado nos gráficos abaixo, pois pelo método do IPT apenas três traços com os mesmos parâmetros de teor de argamassa e *slump test* são necessários. As figuras abaixo apresentam os gráficos.

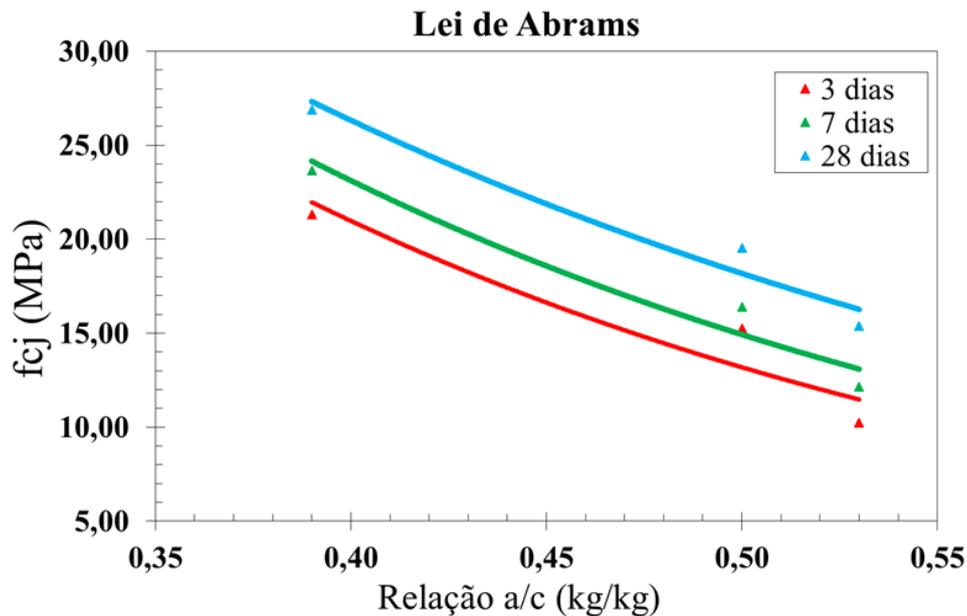


Figura 20 – Gráfico da resistência a compressão vs relação água/cimento (Autoria Própria, 2021).

Pela figura acima é possível observar que para os três tipos de traços (rico, piloto 2 e pobre) a resistência do concreto com o passar de dias 3, 7 e 28 aumentou. Outro aspecto que pode ser observado conforme a lei de Abrams que quanto maior a relação de água/cimento (maior for a quantidade de água adicionada no traço), a resistência do concreto diminui como exponencial. Uma vez entendido o traço rico, piloto 2 e pobre temos a lei de Lyse mostrado abaixo:

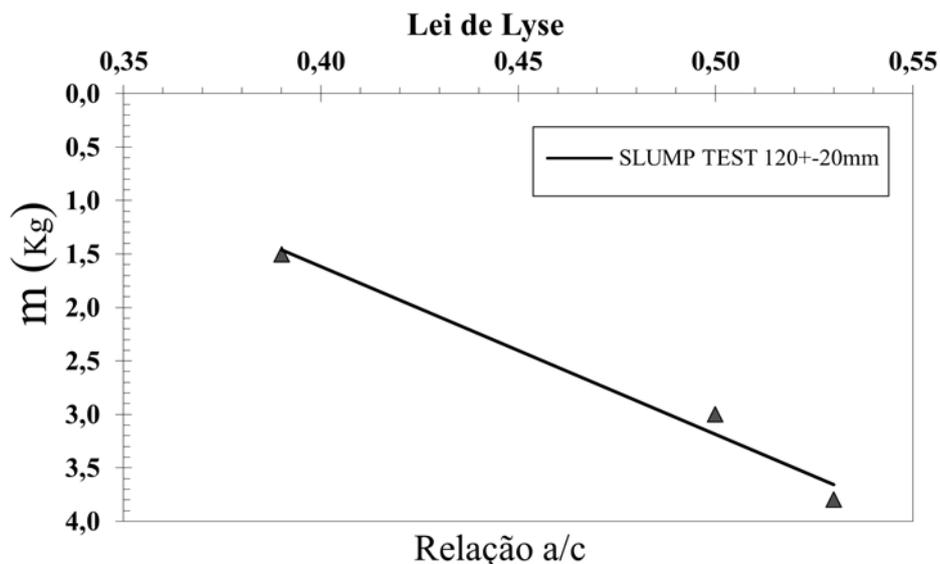


Figura 21 – Gráfico da quantidade de materiais vs relação água/cimento (Autoria Própria, 2021).

Conforme pode ser observado a lei de Lyse temos para cada traço uma relação água/cimento e proporção de m (agregado miúdo + agregado graúdo), para que todos possa ter um *slump test* de 12 +/- 2 padronizado. A partir do ensaio de massa específica do

concreto no estado fresco utilizando a Equação (2.3), podemos observar o consumo de cimento através da lei de Molinari:

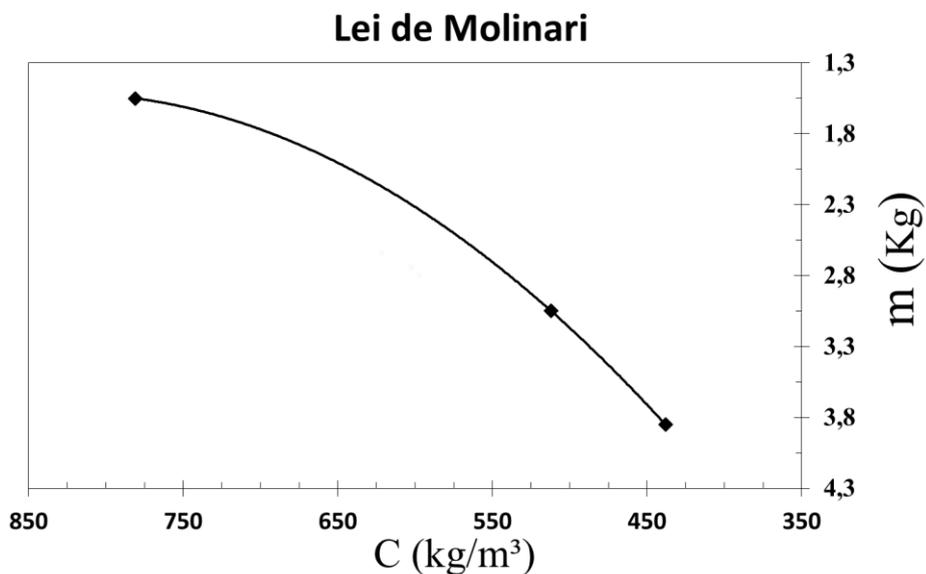


Figura 22 – Gráfico do consumo de materiais por m³ vs quantidade de materiais (Autoria Própria, 2021).

Como podemos observar no gráfico acima, quanto maior a proporção de materiais m (areia, rejeito e pedra) forem adicionados o traço fica mais fraco e conseqüentemente mais barato. Tais dados dos resultados obtidos podem ser apresentados de forma do diagrama geral de dosagem (sem escala), conforme a Figura 23.

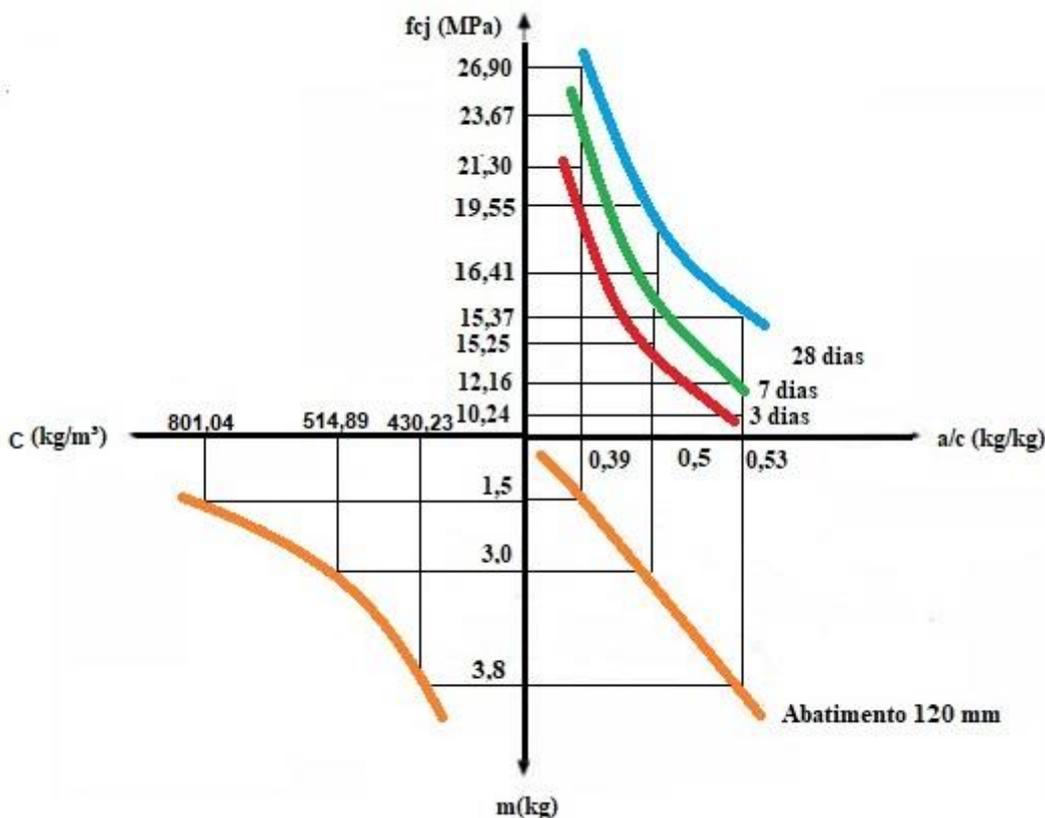


Figura 23 – Diagrama de dosagem dos traços estudados neste trabalho (Autoria Própria, 2021).

Conforme pode ser observado no diagrama de dosagem os resultados obtidos foram satisfatórios e o comportamento do concreto tanto experimental quanto nos cálculos teóricos tiveram um bom acordo. Vale ressaltar que o conjunto de ensaios fornecem parâmetros para se propor um novo traço a ser utilizado e verificado em obra.

Supondo que se deseja obter um traço de concreto com $f_{ck}=15\text{MPa}$ aos 28 dias, com agregado graúdo B1, agregado miúdo do tipo natural e com rejeito classe A (50% de cada) e de abatimento *slump test* $12\pm 2\text{cm}$, ao substituir o valor resistência característica e assumindo um desvio padrão $SD=7$ na Equação (2.3), temos que a resistência de dosagem é dada por:

$$F_{CJ}=15 + 1,65.7,0 \quad (4.1)$$

$$F_{CJ}=26,55 \text{ MPa} \quad (4.2)$$

Com esta resistência já avaliada através da confiabilidade empregada no desvio padrão pode ser obtido um novo traço retirando as proporções e valores a partir do diagrama de dosagem. Observe no diagrama (Figura 24) a linha de cor roxa, que representa a inclusão da resistência solicitada aos 28 dias (26,55 MPa), conseqüentemente reflete em um valor de relação água/cimento (0,40), que conseqüentemente reflete na proporção de materiais de $m=1,6$ e, por fim, reflete um consumo de cimento por m^3 de valor igual a $765,55\text{kg/m}^3$.

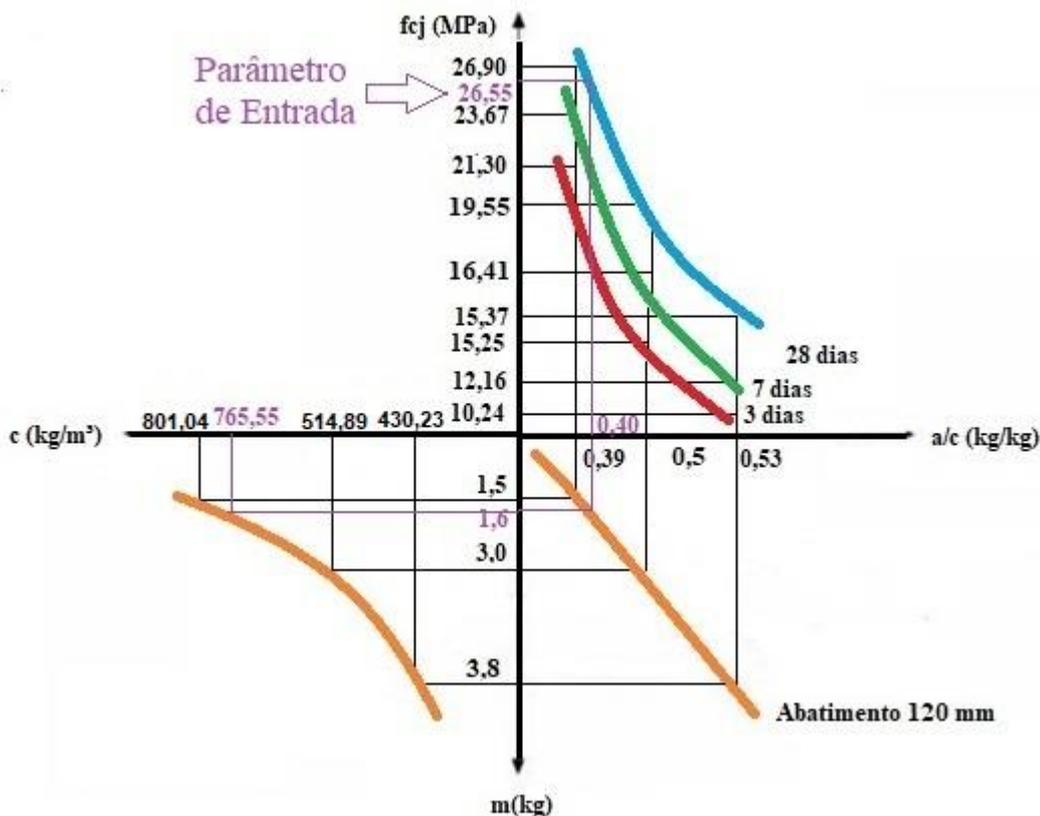


Figura 24 – Diagrama de dosagem com um traço proposto a partir dos resultados das dosagens (Autoria Própria, 2021).

5. CONCLUSÃO

Conclui-se, que a busca por materiais oriundo dos resíduos da construção e demolição (RCD), podem trazer ganhos ao meio ambiente pois substitui recursos naturais, tendo como objetivo avaliar o modo de uma nova composição de concreto, utilizando cimento Portland com percentuais de agregados miúdos oriundos da reciclagem com principais componentes de restos de concretos e agregado de cerâmica vermelha.

O comportamento da resistência à compressão dos corpos-de-prova realizados nos traços, apresentaram valores para idades de 28 dias de ruptura, sendo: Piloto 1- 10,66 Mpa, Piloto 2- 19,55 Mpa, Rico – 26,90 Mpa e Pobre- 15,37 Mpa. De modo geral, conclui que é possível a utilização do agregado reciclados com teor de 50% de substituição, na produção de concretos, com desempenho nas condições estudos. Uma vez que o traço rico atingiu a resistência, obtidos nos ensaios laboratoriais, uma resistência à compressão estabelecida pela norma brasileira. Porém, a questão de custo desses materiais, devem ser levadas em consideração, para empregabilidade pois o custo e o benefício caminham junto. Com isso, os custos com a realização do traço rico são elevados para serem executados na obra.

O uso de material reciclados é uma alternativa para uma nova composição de concreto Portland, pois com adição de aditivos proporciona uma melhor relação água cimento, e incentiva novas tecnologias construtivas sustentável. Assim, com base nos resultados obtidos nesta pesquisa e de acordo com a NBR 15116/2004, as resistências obtidas podem ser avaliadas e empregadas, desde que para fins não estruturais.

Como sugestão para novas pesquisas, para contribuição de melhoria na compreensão da aplicação do material reciclado, são feitas algumas sugestões para trabalhos futuros: (a) Estudar a durabilidade do concreto, utilizando agregado reciclável; (b) Análise dos tipos de impurezas, que podem estar no concreto com material reciclado; (c) Possível análise de caracterização do agregado miúdo reciclado; (d) Estudo da influência a tração, à flexão e torção; (e) Estudo do uso dos agregados reciclados em argamassa e (f) Proceder a dosagem com agregados da usina fixa de Catalão - GO.

Referências

Almeida, F. I. **Análise do Aproveitamento de Resíduos da Construção Civil da Cidade de Campina Grande – PB**. P36. Ed.21. Trabalho de conclusão de Curso, Universidade estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologias, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 - **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7218 – **Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251 - **Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248 - **Agregados – determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916 – **Agregado miúdo – determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809 – **Agregado graúdo – determinação de índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16915 – **Agregados – Amostragem**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889 – **Concreto-determinação da Consistência pelo abatimento do tronco de cone**, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67 – **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15115 – **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação - procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116 – **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

BIOPDI. **Ensaio de Compressão**. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-compressao/> Acesso em: 19 Mar.2021

BORGES, J. B. G. et al. **Usinas de reciclagem de resíduos de construção civil atuando no desenvolvimento sustentável dos municípios. Passo Fundo – RS, 2015. Disponível em:**

<https://www.imed.edu.br/Uploads/Usinas%20de%20Reciclagem%20de%20Res%C3%ADduos%20de%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20Civil.pdf> Acesso em: 20 Fev.2021.

CASTRO, M. **Dosagem experimental do concreto – método IPT/EPUSP**. UNIP. Disponível em < http://moemacastro.weebly.com/uploads/5/7/9/8/57985191/aula_05_-_dosagem_de_concreto_ipt-epusp_-_r01.pdf>. Acesso em: 15 Mai. 2021.

CAMPITELI, V. C. **Concreto de Cimento Portland: um método de dosagem**. Revista Engenharia Civil – UM, n° 20. Paraná 2004. Revista Científica Indexado Linkania Júnior – ISSN: 2236-6660; Ano 2 – N° 2 – Fevereiro/Março de 2012.

CANEDO, A. C.; BRANDÃO, F. B.; FILHO, F. L. P. **Reaproveitamento de resíduo de construção na produção de argamassa de revestimento**. Goiânia – GO, 2011. Disponível em:

https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/REAPROVEITAMENTO_DE_RES%C3%8DDUO_DE_CONSTRU%C3%87%C3%83O_NA_PRODU%C3%87%C3%83O_DE_ARGAMASSA_DE_REVESTIMENTO.pdf. Acesso em: 18 Fev.2021.

Couto, J. A. S., Carminatti, R. L., Nunes, R. R. A., & Moura, R. C. A. (2013). **O concreto como material de construção**. Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, 1(3), 49–58. Recuperado de <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/552>. Acesso em 15.MAR.2021

CONAMA 307/2002. **Resolução Conama Gestão de Resíduos da Construção Civil.** Lei Federal nº 307, de 5 de Julho de 2002

CUNHA, Nelma Almeida. **Resíduos da construção civil: análise de usinas de reciclagem.** 2007. 166 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258521>>. Acesso em: 13.MAR.2021

HORBACH. **Manual de instalação, operação e manutenção betoneira 130 litros.** Cachoeira do Sul-RS, 2021. Disponível em: <https://www.taqi.com.br/file/general/betoneira-horbach-130-litros-manual.pdf>.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Reciclagem de entulhos na construção civil e a solução política e ecologicamente correta.** In: simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassa, 1º, Goiânia, Brasil. Agosto 1995 Anais. , PP 315-325

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.** CREA – PARANÁ, 2012. Disponível em: <http://cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/cartilhaResiduos_web2012.pdf>. Acesso em: 22 Fev. 2021.

MENDONÇA, A. M. G. D. et al. **Classificação de resíduos sólidos da construção civil. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.** Campo Grande – MS, 2017. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/VII-040.pdf>>. Acesso em: 12 Fev. 2021.

MOREIRA, A. B. et al. **Análise técnica e experimental e concreto usinado aplicado no controle tecnológico de pisos polidos em concreto armado.** Catalão – GO, 2020.

OLIVEIRA, M. R.; BONETTO, N. C. F. **Reutilização de resíduos da construção civil.** 2018. Disponível em:<https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Edicao_22_MIGUEL_RAMOS_DE_OLIVEIRA.pdf>. Acesso em: 22 Fev.2021

PORTAL RESIDUOS SOLIDOS. **Reciclagem de resíduos sólidos da construção civil.** Belém, 2018. Disponível em:

<https://portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-residuos-solidos-da-construcao-civil/>, acesso em 24 Fev.2021.

PETRUCCHI, Eladio Geraldo Requião; PAULON, Vladimir Antonio. **Concreto de cimento Portland.** 14. Ed Porto Alegre: Globo, 2005. 307p.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa.** 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2015.188p.

SILVA, W. C.; SANTOS, G. O.; ARAÚJO, W. E. L. **Resíduos sólidos da construção civil: caracterização, alternativas de reuso e retorno econômico.** Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, V. 6, n. 2, p. 286 – 301, Florianópolis, jul./set. 2017. Disponível em:

<http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3790/3172>. Acesso em: 18 Fev. 2021.

TERRA, J. C. A. **Gerenciamento e utilização de resíduos da construção civil na produção de concreto**. Revista Boletim do Gerenciamento, v. 9, n. 9, p. 27-34, out. 2019. Disponível em: <<https://nppg.org.br/revistas/boletimdoGerenciamento/article/view/247>>. Acesso em: 22 Fev. 2021

VERJIÃO, T. T. **Programa de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil**. Iacanga-SP, 2018. Disponível em: <https://www.iacanga.sp.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/PMGRCC.pdf>. Acesso em: 12 Fev.2021.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2007.