

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CONCALC – DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

PEDRO HENRIQUE OLIVEIRA CARVALHO

JUIZ DE FORA

2024

CONCALC – DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

PEDRO HENRIQUE OLIVEIRA CARVALHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Construção Civil

Orientador: Prof. Antônio Eduardo Polisseni, D.Sc

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2024

CONCALC – DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

PEDRO HENRIQUE OLIVEIRA CARLVAHO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com a Resolução Nº 01/2018 do Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em:

Por:

Documento assinado digitalmente
 ANTONIO EDUARDO POLISSENI
Data: 08/10/2024 06:36:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Antônio Eduardo Polisseni, D.Sc (Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora – Faculdade de Engenharia

Documento assinado digitalmente
 MARIA TERESA GOMES BARBOSA
Data: 08/10/2024 20:19:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.a Maria Teresa Gomes Barbosa, D.Sc (Examinadora 01)

Universidade Federal de Juiz de Fora – Faculdade de Engenharia

Documento assinado digitalmente
 MAURICIO LEONARDO AGUILAR MOLINA
Data: 08/10/2024 21:46:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Mauricio Leonardo Aguilar Molina, D.Sc (Examinador 02)

Universidade Federal de Juiz de Fora – Faculdade de Engenharia

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela oportunidade da vida, por sua bondade, por ser meu sustento e por dar a sabedoria àqueles que o pedem. Creio que “Todas as coisas foram feitas por intermédio dele; sem ele, nada do que existe teria sido feito”, e se aqui estamos vivendo e pensando é por permissão Dele.

Agradeço aos familiares que colaboram de forma singular para meu desenvolvimento como pessoa, dentre eles a minha querida mãe Adriana que se esforçou ao máximo para que eu fosse uma flecha bem afiada, preparada e lançada, de forma certa, rumo ao alvo. Ao meu Pai Carlos que incentivou, investiu em minha formação, e tem sido um pilar em nossa família. À minha irmã Raquel que se dedica à nossa família e cuida da minha alimentação, com “quentinhas” recheadas de carinho. Aos meus irmãos Paulo e João por serem companheiros e verdadeiros amigos em todos os momentos da vida. Amo vocês! Agradeço à minha companheira e noiva Júlia Martins que me incentiva a ser a melhor versão, que é um ombro amigo, que sonha comigo e demonstra seu carinho e afeto. Amo você!

Agradeço ao amigo e Professor, da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, Antônio Eduardo Polisseni que não mede esforços para compartilhar o conhecimento e tem me instruído a ser um excelente profissional. Agradeço também por ter aceitado o desafio de ser orientador desse trabalho e pelas horas dispensadas em prol do meu desenvolvimento. Deus te abençoe e retribua o carinho destinado a mim.

Agradeço ao professor de física da Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda, Sebastian Ujevic Tonino, que me fez entender que as circunstâncias atuais não precisam, necessariamente, definir o futuro. A fé, a dedicação e o comprometimento mudam as circunstâncias. Agradeço às professoras da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora Thais Mayra e Maria Teresa Gomes Barbosa por serem peças fundamentais no meu contato com a área de estudo desse trabalho e por terem sido meu suporte com as questões operacionais de laboratório. Obrigado por cada conselho, pela disponibilização dos materiais para pesquisa e por me ensinar a manusear os equipamentos de laboratório. Deus há de retribuir a boa vontade e carinho de vocês com as pessoas.

Agradeço às equipes da Universidade Federal Fluminense e da Universidade Federal de Juiz de Fora por terem colaborado e me dado condições de alcançar a graduação no curso de Engenharia Civil.

*“O temor do SENHOR é o princípio da sabedoria;
revelam prudência todos os que o praticam.
O seu louvor permanece para sempre. ”*

Salmos 111:10

RESUMO

A dosagem de concreto de cimento Portland consiste em determinar experimentalmente as quantidades de cada insumo necessário para o preparo do concreto, sendo eles, o cimento Portland, agregados miúdos, agregados graúdos, água, aditivos e adições. A CONCALC foi desenvolvida para agilizar e viabilizar dosagens de concreto de cimento Portland que buscam economia de materiais, qualidade, segurança e agilidade. A CONCALC foi desenvolvida levando em consideração os requisitos e critérios especificados nas Normas técnicas da ABNT, sendo elas: (NBR 7212, 2021), (NBR 12655, 2022), (NBR 5738, 2016), (NBR 5739, 2018), (NBR 6118, 2023) e para a sua utilização é necessário conhecimento prévio de características dos materiais, como massa específica e granulometria, além de noções de “empacotamento” dos materiais e trabalhabilidade do concreto. A CONCALC foi desenvolvida utilizando o software computacional Microsoft, Excel e tem como característica principal o fato de ser intuitiva e de fácil utilização. Para verificação da eficácia da CONCALC, esse trabalho contempla um exemplo prático de sua utilização, bem como demonstração real dos resultados obtidos. A CONCALC foi utilizada para dosar o concreto a ser lançado nas estruturas de pilares de uma edificação na zona urbana da cidade de Juiz de Fora, MG, CAA II. O concreto dosado foi o C25 e para isso foram calculados três traços (pobre, básico e rico), cuja resistências encontradas com 28 dias de idade foram, respectivamente, 27,9 MPa, 33,85 MPa e 35,85 MPa. Trata-se de um concreto a ser utilizado na recuperação e reforço de pilares de concreto armado degradados ao longo do tempo, e a CONCALC se mostrou eficaz ao calcular o traço de concreto para tal. A ConCalc pode ser solicitada através do e-mail pedrohenriqueoc@hotmail.com.

Palavras-chave: Dosagem Concreto. Carta Traço. Concreto de Cimento Portland.

ABSTRACT

The dosage of Portland cement concrete involves experimentally determining the quantities of each input necessary for preparing the concrete, which includes Portland cement, fine aggregates, coarse aggregates, water, additives, and supplementary materials. CONCALC was developed to streamline and facilitate the dosage of Portland cement concrete, aiming for material efficiency, quality, safety, and speed. CONCALC was created with consideration of the requirements and criteria specified in the technical standards of ABNT, namely: (NBR 7212, 2021), (NBR 12655, 2022), (NBR 5738, 2016), (NBR 5739, 2018), (NBR 6118, 2023). Its use requires prior knowledge of material characteristics such as specific gravity and grain size, as well as an understanding of material "packing" and concrete workability. CONCALC was developed using Microsoft Excel and is characterized by its intuitive and user-friendly interface. To verify the effectiveness of CONCALC, this work includes a practical example of its use, along with a real demonstration of the results obtained. CONCALC was used to dose the concrete for the pillars of a building in the urban area of Juiz de Fora, MG, CAA II. The dosed concrete was C25, for which three mixes (lean, basic, and rich) were calculated, yielding strengths at 28 days of 27.9 MPa, 33.85 MPa, and 35.85 MPa, respectively. This concrete will be used for the repair and reinforcement of concrete pillars that have degraded over time, and CONCALC proved effective in calculating the concrete mix for this purpose. CONCALC can be requested via email at pedrohenriqueoc@hotmail.com.

Keywords: Concrete Dosage, Mix Design, Portland Cement Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Abas da planilha calculadora de traços de concreto (CONCALC).....	27
Figura 2: Aba "DADOS" - Locais para preenchimento do usuário	28
Figura 3: Aba "DADOS" - Locais para preenchimento do usuário	28
Figura 4: Aba "RESULTADOS" - Traços a serem produzidos e células para preenchimento do usuário	29
Figura 5: Aba "RESULTADOS" - Curva de Abrams e traço final	29
Figura 6: Aba "DADOS" - Preenchimento de dados do concreto.....	32
Figura 7: Aba "DADOS" - Preenchimento de dados dos materiais	32
Figura 8: Aba "RESULTADOS" - Traços de concreto a serem executados em laboratório ...	33
Figura 9: Aba "RESULTADOS" - Campos de preenchimento com informações de resistência à compressão do concreto.....	33
Figura 10: Aba "RESULTADOS" - Curva de Abrams e traço final de concreto	34
Figura 11: Vista parcial do pilar 1 a ser recuperado e reforçado com concreto armado	34
Figura 12: Vista parcial do pilar 2 a ser recuperado e reforçado com concreto armado	35
Figura 13: Virada dos traços de concreto em laboratório.....	35
Figura 14: Separação de materiais para virada de concreto em laboratório	36
Figura 15: Mistura dos materiais do concreto com auxílio de betoneira.....	36
Figura 16: Concreto no estado fresco após ser retirado da betoneira.....	37
Figura 17: Ensaio de consistência do concreto no estado fresco - procedimento	37
Figura 18: Ensaio de consistência do concreto no estado fresco - resultado.....	38
Figura 19: Corpos de prova cilíndricos para avaliação de resistência à compressão diametral	38

Figura 20: Reforço estrutural do pilar a ser recuperado e reforçado	39
Figura 21: Execução de formas e escoramentos dos pilares a serem recuperados e reforçados	39
Figura 22: Resultado final dos pilares reforçados e recuperados	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental.....	19
Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	20
Tabela 3 – Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição.....	20
Tabela 4 – Desvio-padrão a ser adotado em função de condição de preparo do concreto	21
Tabela 5 – Consumo de água (l/m ³)	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.3	JUSTIFICATIVAS	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	14
2.2	COMPOSIÇÃO DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	14
2.2.1	CIMENTO PORTLAND.....	14
2.2.2	ÁGUA DE AMASSAMENTO	14
2.2.3	AGREGADO.....	15
2.2.4	ADITIVOS	15
2.3	DOSAGEM DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	15
3	DESENVOLVIMENTO DA CALCULADORA DE TRAÇOS DE CONCRETO (CONCALC)	24
4	FUNCIONAMENTO DA CALCULADORA DE TRAÇO DE CONCRETO (CONCALC)	27
5	VALIDAÇÃO DA CALCULADORA DE TRAÇO DE CONCRETO	31
5.1	REGISTROS FOTOGRÁFICOS.....	34
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	ANEXO I – MATERIAIS	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O concreto de cimento Portland é um dos materiais de construção civil mais utilizados nas obras de engenharia. Ele é responsável por viabilizar a criação de peças construtivas dotadas de solidez, uniformidade e capacidade de receber e suportar cargas em uma estrutura.

O concreto é um produto fabricado a partir da mistura de alguns materiais, sendo os principais: cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Além disso, é possível acrescentar aditivos e adições que irão alterar as propriedades do concreto no estado fresco, como tempo de pega, fluidez, quantidade de ar incorporado, etc.

O concreto não se limita apenas a uma mistura de materiais, pois, para que ele atinja as características esperadas, é necessário que ocorram reações químicas. Essas reações são responsáveis, principalmente, por promover o endurecimento da mistura e fazer com que esse novo componente possua resistência aos esforços mecânicos de compressão. Tal resistência é um fator de suma importância, pois é ela que limita o uso do concreto produzido nos demais projetos de engenharia, como projetos de estruturais de casas, prédios, pisos industriais, muros de arrimo, entre outros. Com a finalidade de qualificar os concretos adotou-se como principal parâmetro a resistência à compressão axial.

Sabendo que o concreto é produzido a partir da reação química dos materiais nele empregados, a quantidade desses é o que influencia diretamente na sua resistência aos esforços. A quantificação dos insumos para a produção do concreto é chamada de dosagem do concreto.

1.2 OBJETIVOS

A dosagem do concreto tem por finalidade determinar a quantidade de cada insumo presente na mistura. O presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma Calculadora de Traços de Concreto (CONCALC) que, através dos recursos computacionais, realiza a dosagem do concreto, avalia a resistência atingida por ele e calcula a quantidade otimizada de insumos para a produção do concreto. Consequentemente é possível obter resultados econômicos, com quantidades precisas de insumos, resultados ambientais, uma vez que se evita o uso desnecessário de materiais e resultados positivos no quesito segurança, já que os resultados são validados por ensaios de laboratório.

1.3 JUSTIFICATIVAS

A dosagem de concreto é um estudo classificado como experimental, que envolve tentativas, erros, avaliações, novas tentativas, novos erros e assim por diante. Essa característica pode ser associada à não objetividade do assunto e à variabilidade de materiais a depender de cada região. Este trabalho viabilizará estudos de dosagem de concreto mais rápidas e fornecerá análises computacionais para resultados encontrados, o que permitirá a formulação para um concreto com economia, segurança e qualidade.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido em cinco capítulos. O primeiro se inicia com uma breve contextualização do tema, trazendo informações sobre o tema abordado e algumas características do concreto. Em seguida, são apresentados os objetivos do trabalho e a justificativa, evidenciando a importância do estudo do tema. Por fim, ainda no primeiro capítulo, é mostrada a estrutura de abordagem dos assuntos.

O segundo capítulo apresenta definições, requisitos, critérios, composições e metodologias relacionadas e utilizadas nos concretos de cimento Portland no cenário brasileiro. Nesse capítulo são apresentados os principais pontos relacionados à dosagem de concreto de cimento Portland, constantes nas normas técnicas da ABNT, sendo elas NBR 6118, NBR 12655 e NBR 7212.

O terceiro capítulo visa explicar a metodologia utilizada para a elaboração da Calculadora de Traços de Concreto (CONCALC), bem como os cálculos nela realizados.

O quarto capítulo ilustra o funcionamento da CONCALC com exemplificações de como proceder durante a dosagem de um concreto de cimento Portland. Por fim, o quinto capítulo apresenta um exemplo prático de dosagem de concreto de cimento Portland.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Concreto de cimento Portland é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) NBR 12655 (ABNT, 2022).

2.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

2.2.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é um ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio, responsável pelo controle do tempo de pega do cimento, e adições minerais como escória (E), material pozolânico (Z) e filler (F) NBR 16697 (ABNT, 2018).

A NBR 16697, 2018, define os tipos de cimento Portland de acordo com algumas características particulares do processo de fabricação. São exemplos: cimento Portland comum (CPI e CPI-S), cimento Portland composto (CPII-E, CPII-Z e CPII-F), cimento Portland de alto forno (CPIII), cimento Portland pozolânico (CPIV), cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI e CPV-ARI-RS), cimento Portland resistente a sulfatos e cimento Portland branco. Essa NBR também estabelece a classificação dos tipos de cimento Portland lavando em consideração a classes de resistências (25 MPa, 32 MPa e 40 MPa) e propriedades físicas e químicas.

2.2.2 ÁGUA DE AMASSAMENTO

A (NBR 15900, 2009) estabelece os requisitos para a água de amassamento do concreto. Essa é responsável por exercer duas funções no concreto, sendo a primeira, química, hidratar os grãos do cimento, promovendo o endurecimento da pasta, e a segunda, física, conferir trabalhabilidade ao concreto. Ou seja, o concreto deve possuir água o suficiente para desenvolver a resistência máxima e, também, para desenvolver as propriedades necessárias para seu lançamento. (KATAYAMA, 2016).

2.2.3 AGREGADO

Agregado é um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de concreto e argamassa NBR 9935 (ABNT, 2011). Os agregados para o concreto de cimento Portland possuem requisitos definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2022) e são caracterizados e classificados de diversas maneiras, entre elas, de acordo com a composição granulométrica, normalizada pela NBR 17054 (ABNT, 2022).

2.2.3.1 AGREGADO GRAÚDO

Definido como agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm NBR 7211 (ABNT, 2022).

2.2.3.2 AGREGADO MIÚDO

Definido como agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150 μ m NBR 7211 (ABNT, 2022).

2.2.4 ADITIVOS

O aditivo para concreto é o produto adicionado à mistura do concreto, em quantidade geralmente não superior a 0,5% da massa de cimento total contida no concreto, com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido NBR 11768 (ABNT, 2019).

2.3 DOSAGEM DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Entende-se por estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais (HELENE, 2011).

Atualmente no Brasil, pode-se contar com alguns métodos de dosagem, como o do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), proposto inicialmente por Ary Frederico Torres (1927), INT (Instituto Nacional de Tecnologia), no Rio de Janeiro, proposto por Fernando Luiz Lobo Carneiro (1937); Vallete (1949), ABCP, proposto, inicialmente, por Ary Torres e Carlos Rosman (1956), ITERS (Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande do Sul), proposto por

Eládio Petrucci (1985); Carlos Tango (1986) e Simão Prizskulnik (1977); De Larrard (1990), Helene & Terzian (1992), Alaejos y Cánovas (1994), Isaia (1995), Berenice Carbonari (1996), Vitervo O'Reilly (1998), Aitcin (1998); UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora), proposto por Antônio Eduardo Polisseni e Stéfano de Amorim Miranda (43º Congresso Brasileiro do Concreto) (2001); Tutikian (2007), entre outros (HELENE, 2011).

Existem diversas outras literaturas técnicas como (MEHTA & MONTEIRO, 2014), (NEVILLE, 2013), órgãos institucionais como American Concrete Institute (ACI), Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e Instituto Eduardo Torroja, que fundamentam informações para se desenvolver estudos de dosagem de concreto.

Apesar de os métodos de dosagem diferirem entre si, certas atividades são comuns a todos, como, por exemplo, o cálculo da resistência média de dosagem, a correlação da resistência à compressão com a relação água/cimento para determinado tipo e classe de cimento, sempre e quando um estudo de dosagem tiver por objetivo a obtenção de uma resistência especificada, sem descuidar da economia e da sustentabilidade que sempre devem nortear um estudo de dosagem contemporâneo (HELENE, 2011).

Um estudo de dosagem deve ser realizado visando obter a mistura ideal e mais econômica, numa determinada região e com os materiais ali disponíveis, para atender uma série de requisitos. Essa série será maior ou menor, segundo a complexidade do trabalho a ser realizado e segundo o grau de esclarecimento técnico e prático do usuário do concreto que demandou o estudo (HELENE, 2011).

Em princípio, os requisitos básicos usuais a serem atendidos podem ser englobados nos descritos a seguir:

A resistência mecânica do concreto é o parâmetro mais frequentemente especificado. A resistência à compressão é a mais utilizada, embora a resistência à tração por flexão também seja muito comum em projetos de pavimentos de concreto. A resistência à compressão dos concretos tem sido tradicionalmente utilizada como parâmetro principal de dosagem e controle da qualidade dos concretos destinados a obras correntes. Isso se deve, por um lado, à relativa simplicidade do procedimento de moldagem dos corpos-de-prova e do ensaio de compressão, e, por outro, ao fato de a resistência à compressão ser um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura, permitindo inferir modificações em outras propriedades do concreto (HELENE, 2011).

A trabalhabilidade, adequada a cada situação específica. Os condicionantes vêm definidos pelos projetos arquitetônicos e estruturais (formas, taxas de armadura, detalhes geométricos), pelos equipamentos a serem utilizados (bomba, carrinhos, giricas, caçambas, projeção, submerso, auto adensável), pelas necessidades de acabamento (sarrafeado, polido, lixado, aparente, desempenado) e pelas condições ambientais (temperatura, insolação, ventos, umidade relativa). Os concretos devem ser coesos e viscosos, ou seja, para cada caso devem permitir ser transportados adequadamente até sua posição final sem apresentar segregação, bicheiras, ninhos, exsudação, variações de cor e escorrimentos exagerados. A trabalhabilidade do concreto é uma variável complexa que depende de fatores intrínsecos e extrínsecos ao material, conforme alerta Tattersall (1978). No caso da consideração exclusiva de fatores intrínsecos ao concreto, adota-se, no Brasil, a consistência do concreto fresco como o parâmetro principal, determinada pelo método de ensaio do SLUMP TEST (HELENE, 2011).

Com relação ao requisito durabilidade, salienta-se que os concretos devem ser duráveis frente às solicitações às quais serão expostos durante sua vida útil. A durabilidade depende tanto de fatores extrínsecos aos concretos, tais como presença de sais, maresia, chuvas ácidas, umidade relativa, natureza das solicitações mecânicas a que ficarem sujeitos (carga monotônica, cíclica, longa ou curta duração, impactos) etc, quanto de fatores intrínsecos, tais como tipo de cimento, relação *a/c*, adições, aditivos e outros. O conceito de durabilidade está associado ao dos mecanismos de transporte ou de penetração de agentes agressivos em materiais porosos: capilaridade, difusibilidade, migração iônica e permeabilidade. A durabilidade é considerada um tema muito complexo que depende de muitas variáveis e, por isso, ainda não tem um método consensual para ser medida (HELENE, 2011).

Um dos requisitos atuais que paulatinamente vem sendo inserido nos estudos de dosagem é construir mais com menos consumo de matérias primas, ou seja, cuidar do ambiente através de uma visão de sustentabilidade. Em geral, em muitas estruturas é possível reduzir consumo de concreto através do aumento da resistência mecânica, principalmente em pilares, como conseguido nos pilares do e-Tower (HARTMANN & HELENE, 2003), cuja alteração de 40MPa para 80MPa reduziu em 70% o consumo de agregados, 20% o de cimento, 40% o de água e reduziu as quantidades de fôrmas e da armadura de aço. Esse fato já vem sendo observado no concreto há anos, cuja resistência tem aumentado de forma contínua, principalmente na última década. Em parte, isso se deve também à evolução da qualidade do cimento Portland que tem apresentado melhor desempenho mecânico (HELENE, 2011).

As principais propriedades do concreto endurecido são normalmente expressas pelo projetista das estruturas, enquanto as propriedades do concreto fresco são determinadas pelos equipamentos e técnicas de execução – transporte, lançamentos e adensamento do concreto, – bem como pelas próprias características geométricas da estrutura a ser concretada (HELENE, 2011).

Cabe ao tecnologista de concreto conciliar essas exigências, satisfazendo a ambos por meio de um concreto o mais econômico possível. Apesar de óbvia, esta última condição é frequentemente esquecida, uma vez que há engenheiros que se orgulham de produzirem ou empregarem em suas obras concretos com características e custo, muito acima das necessárias. Infelizmente, também há aqueles que, por omissão ou falta de conhecimento, não utilizam o concreto com as propriedades requeridas e comprometem a segurança, a durabilidade, a deformabilidade e os custos futuros de manutenção (HELENE, 2011).

Qualquer estudo de dosagem dos concretos tem fundamentos científicos e tecnológicos fortes, mas sempre envolve uma parte experimental em laboratório e/ou campo, o que faz com que certos pesquisadores e profissionais considerem a *dosagem do concreto mais como uma arte do que uma ciência* (MEHTA & MONTEIRO, 2014). De qualquer forma, somente àqueles capazes de dominar essas duas características são conferidos os grandes benefícios econômicos e técnicos de um correto uso de um concreto bem dosado (HELENE, 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta uma série de definições, requisitos e critérios (vide Tabelas 1 a 3) no que diz respeito à dosagem de concretos, a começar pela Classe de Agressividade Ambiental (CAA) em que a estrutura está exposta. A agressividade ambiental está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas. Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes (NBR 6118, 2023).

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente,

c Ambiente quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com o solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: NBR 6118 da ABNT (2023)

Ensaio comprobatório de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água / cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados simultaneamente os requisitos mínimos expressos na Tabela 2 (NBR 12655, 2022).

Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (Tabela 1)			
		I	II	III	IV
Relação água / cimento em massa	CA	≤ 0.65	≤ 0.60	≤ 0.55	≤ 0.45
	CP	≤ 0.60	≤ 0.55	≤ 0.50	≤ 0.45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m^3	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.					
CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 12655 da ABNT (2022)

Para condições especiais de exposição, devem ser atendidos os requisitos mínimos de durabilidade expressos na Tabela 3 para a máxima relação água/cimento e a mínima resistência característica (NBR 12655, 2022).

Tabela 3 – Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição

Condições de exposição	Máxima relação água / cimento, em massa, para concreto com agregado normal	Mínimo valor de f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água, por exemplo, em caixas d'água	0,50	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,45	40

Fonte: NBR 12655 da ABNT (2022)

onde:

MPa Mega Pascal

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, expressa em megapascal (MPa);

O cálculo da resistência de dosagem do concreto depende, entre outras variáveis, das condições de preparo do concreto, definidas a seguir e expressas na Tabela 4: a) condição A (aplicável a todas as classes de concreto): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados; b) condição B (pode ser aplicada às classes C10 a C20): o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume; c) condição C (pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15): o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR 16889 ou outro método normalizado (NBR 12655, 2022).

Tabela 4 – Desvio-padrão a ser adotado em função de condição de preparo do concreto

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão (MPa)
A	4,0
B	5,5
C	7,0

Fonte: NBR 12655 da ABNT (2022)

A resistência prevista para a dosagem não é diretamente o f_{ck} e sim o f_{cmj} . A resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade prevalecentes durante a construção. Esta variabilidade medida pelo desvio-padrão, s_d , é levada em conta no cálculo da resistência de dosagem, segundo a equação (NBR 12655, 2022).

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot s_d \quad \text{Equação 1}$$

onde:

f_{cmj} é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

f_{ckj} é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em megapascals (MPa);

s_d é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa).

A Tabela 5 estima a quantidade de água, em litros, a ser usada para produzir 1 m³ de concreto, levando em consideração o diâmetro máximo do agregado graúdo e a consistência do concreto medida pelo método do abatimento tronco de cone, Slump test (método de ensaio para aferir a consistência do concreto no estado fresco pelo abatimento de uma amostra de concreto ao ser moldada em um tronco de cone de 30 cm de altura).

Tabela 5 – Consumo de água (l/m³)

ABATIMENTO (mm)	Φ MAX (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 - 60	220	195	190	185	180
60 - 80	225	200	195	190	185
80 - 100	230	205	200	195	190

Fonte: (BOGGIO, 2000)

Para cálculo dos traços de concreto também é necessário utilizar equações consagradas nas dosagens de concreto, sendo elas:

- Percentual de argamassa: coesão

$$H = \frac{1+a}{1+m} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

$$m = a + p \quad \text{Equação 3}$$

onde:

a é o percentual da quantidade de areia em relação à quantidade de cimento;

p é o percentual da quantidade de pedra em relação à quantidade de cimento.

- Consumo de cimento por m^3 de concreto

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + x} \quad \text{Equação 4}$$

onde:

C Consumo de cimento Portland por m^3 de concreto;

γ_c é o massa específica do cimento Portland (g/cm^3);

γ_a é o massa específica do agregado miúdo (g/cm^3);

γ_p é o massa específica do agregado graúdo (g/cm^3).

3 DESENVOLVIMENTO DA CALCULADORA DE TRAÇOS DE CONCRETO (CONCALC)

A proposta do presente trabalho é desenvolver uma Calculadora de Traços de Concreto (CONCALC) e para isso, será utilizado o programa computacional, da empresa Microsoft, Excel, 2016. Nele é possível gerar planilhas eletrônicas que interagem entre si através de fórmulas e cálculos numéricos para a dosagem de concretos de cimento Portland do grupo 1 (C10 até C50), ABNT NBR 6118

A CONCALC visa determinar os quantitativos de materiais (cimento Portland, agregados miúdos, agregados graúdos, água, aditivos e adições) constituintes da mistura e para isso é necessário conhecer as características particulares de cada um deles, encontradas em ensaios de composição granulométrica, ensaios de massa específica, recomendações do fabricante, fichas técnicas, etc. Deve-se atentar para as imposições normativas, relacionadas às quantidades de materiais, durante um estudo de dosagem de concreto.

O estudo de dosagem do concreto, na CONCALC, se inicia com a definição da classe de agressividade ambiental (CAA) do local de destino do concreto (Tabela 1), seguido da determinação do tipo de concreto, podendo ser “armado” ou “protendido” e verificando a existência de condição especial de exposição (Tabela 3). Esses parâmetros determinam características do concreto como a máxima relação água / cimento, a classe mínima do concreto e o mínimo consumo de cimento para cada m^3 de concreto. Essas informações podem ser consultadas na Tabela 2 e na Tabela 3.

São definições importante também a condição de preparo do concreto, podendo ser A, B ou C e a dimensão máxima do agregado graúdo, que é definido pelo projetista da peça a ser concretada. De acordo com a Tabela 4, a condição de preparo define o Desvio-padrão a ser utilizado no cálculo da tensão de dosagem do concreto (f_{cmj}) e ressalta-se que esse desvio pode ser informado, caso seja conhecido. A condição de preparo do concreto também define as classes de concreto que podem ser produzidas. A dimensão máxima do agregado graúdo será utilizada para determinar a quantidade de água a ser usado em $1 m^3$ de concreto, vide Tabela 5.

Sequencialmente é necessário definir a classe de concreto a ser dosado (f_{ckj}), o teor de argamassa e sua consistência pelo abatimento do tronco de cone “*Slump Test*”. O f_{ckj} escolhido será usado para se determinar o f_{cmj} através da Equação 1. O teor de argamassa é um dos

parâmetros de cálculo para a dosagem do concreto, Equação 2, e a consistência é usada na definição da quantidade de água para 1 m³ de mistura por meio da Tabela 5.

Além dos parâmetros referidos acima, é preciso conhecer as características dos materiais utilizados, bem como as porcentagens de agregados, caso seja utilizado mais de um agregado de cada tipo. A característica principal dos materiais, necessária para dosagem do concreto, é a massa específica. Devem ser informadas as massas específicas do cimento, dos agregados miúdos, dos agregados graúdos e dos aditivos utilizados. A porcentagem de cada agregado, em relação ao total de agregado do mesmo tipo, também deve ser informada.

A quantidade de cimento é encontrada ao relacionar a quantidade de água adotada pela Tabela 5 com a máximo fator a/c permitido pela Tabela 2 ou Tabela 3. Essa quantidade deve ser compara com a quantidade mínima definida por norma, Tabela 2.

Para efeitos de cálculos, de posse da Equação 4, o peso específico do agregado miúdo (Y_a) e do agregado graúdo (Y_p) devem ser calculados a partir de uma média ponderada de cada tipo de agregado levando em consideração a quantidade de cada agregado utilizado. Dessa forma é possível relacionar a Equação 2 com a Equação 4 e encontrar a quantidade de agregado miúdo (a) e a quantidade de agregado graúdo (p). Sequencialmente os agregados podem ser subdivididos, levando em consideração a porcentagem de cada um, tendo-se então os valores de a_1, a_2, a_3, p_1 e p_2 .

Feito isso, tem-se calculado o traço base do concreto que deve ser escrito no seguinte formato: $1 : a : p : x$ ou $1 : a_1 : a_2 : a_3 : p_1 : p_2 : x$, sendo que o número “1” está relacionado à quantidade do cimento “C”. Logo, para a produção de 1 m³ de concreto deve-se utilizar o consumo de cimento adotado e multiplica-lo por cada material constituinte do traço para se encontrar a quantidade de cada material em massa. Os valores da Tabela 5 são sugestões para cálculo, encontrados em estudos feitos com materiais e condições específicas, e que podem não representar a realidade do concreto que está sendo dosado. Portanto, serão calculados mais dois traços, traço pobre e traço rico, em que será modificado o fator água / cimento, mas a quantidade de água permanecerá constante. Para o cálculo do traço pobre será utilizado um fator a/c de 0,5 % a mais do que o utilizado no traço básico e para o cálculo do traço rico será utilizado um fator a/c de 0,5% a menos do que o utilizado no traço básico. Os cálculos das quantidades de agregados obedecem às mesmas equações utilizadas no cálculo do traço base.

Os três traços de concreto devem ser produzidos em laboratório e terem sua resistência à compressão avaliadas na idade de 28 dias. Para isso é necessário seguir rigorosamente as diretrizes das normas técnicas da ABNT, NBR 12655 e NBR 5739, além de ser feita aceitação dos ensaios segundo o que preconiza a NBR 7212. Os valores de resistência à compressão de cada traço devem ser relacionados com seus respectivos fatores água / cimento para a construção da curva de Abrams. A equação da curva de Abrams é encontrada através do método matemático dos mínimos quadrados ordinários, que visa calcular os coeficientes de uma regressão linear considerando os dados de entrada existentes. Tem-se então a equação da curva de Abrams com o seguinte formato:

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^x} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

f_c é a resistência a compressão do concreto;

k_1 é parâmetro resultante da regressão linear MCO das variáveis f_c e x ;

k_2 é parâmetro resultante da regressão linear MCO das variáveis f_c e x ;

x é a relação água / cimento.

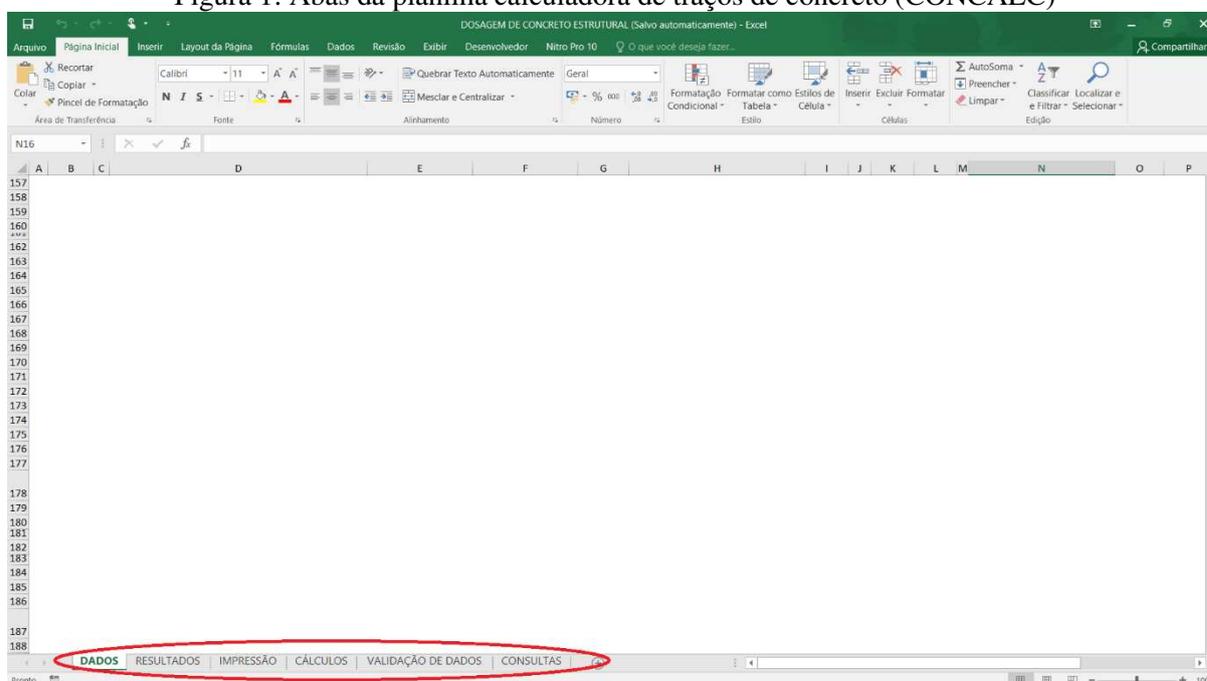
De posse da equação da curva de Abrams, é possível então calcular o fator água / cimento ideal para cada valor de resistência de concreto requerido. Ressalta-se que os resultados são válidos apenas se forem utilizados os mesmos materiais utilizados nos traços em laboratório.

Para acesso à ConCalc, entrar em contato através do e-mail pedrohenriqueoc@hotmail.com.

4 FUNCIONAMENTO DA CALCULADORA DE TRAÇO DE CONCRETO (CONCALC)

A CONCALC foi criada com o auxílio do software, da empresa Microsoft, Excel. O ambiente foi dividido em 6 abas, sendo elas a aba “DADOS”, “RESULTADO”, “IMPRESSÃO”, “CÁLCULOS”, “VALIDAÇÃO DE DADOS” e “CONSULTAS”, ilustrados na Figura 1. Para processo de dosagem de concreto com a planilha eletrônica é necessário o preenchimento de informações por parte do usuário. Pode-se notar a presença de mensagens ao usuário que variam de acordo com os dados inseridos e que são recomendações das normas técnicas existentes no ato de produção desse trabalho acadêmico.

Figura 1: Abas da planilha calculadora de traços de concreto (CONCALC)



Fonte: Autor (2024)

A aba “DADOS” é destinada ao preenchimento dos dados para a dosagem do concreto e seu preenchimento pode ser feito pelo teclado numérico ou pelo menu suspenso de cada célula. As informações ao usuário devem ser consideradas no momento do preenchimento das células. A Figura 2 e Figura 3 mostram os campos a serem preenchidos pelo usuário.

Figura 2: Aba "DADOS" - Locais para preenchimento do usuário

DOSAGEM EXPERIMENTAL DE CONCRETOS ESTRUTURAIS

Modo de operação:

Células a serem modificadas por meio de menu suspenso
Células a serem modificadas por meio do teclado numérico
Células a serem preenchidas por meio do teclado alfa-numérico
Células que não devem ser modificadas

DADOS DO CONCRETO

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL - CAA	
TIPO DE CONCRETO	
CONDIÇÃO ESPECIAL DE EXPOSIÇÃO	
CONDIÇÃO DE PREPARO DO CONCRETO	OK
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAUÍDO (mm)	
TIPO DE LANÇAMENTO	
fck MÍNIMO (ABNT NBR 12655) (MPa)	Informação ao usuário
fck MÁXIMO (ABNT NBR 12655) (MPa)	
fck DE PROJETO (MPa)	
TEOR DE ARGAMASSAGEM (%)	Recomenda-se valores entre: 45 % e 70 %
ABATIMENTO DE PROJETO (mm)	erro
VOLUME DE CONCRETO A SER VIRADO EM LABORATÓRIO PARA CADA TRAÇO (l)	

MATERIAIS

Fonte: Autor (2024)

Figura 3: Aba "DADOS" - Locais para preenchimento do usuário

DOSAGEM EXPERIMENTAL DE CONCRETOS ESTRUTURAIS

Modo de operação:

Células a serem modificadas por meio de menu suspenso
Células a serem modificadas por meio do teclado numérico
Células a serem preenchidas por meio do teclado alfa-numérico
Células que não devem ser modificadas

DADOS DO CONCRETO

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL - CAA	
TIPO DE CONCRETO	
CONDIÇÃO ESPECIAL DE EXPOSIÇÃO	
CONDIÇÃO DE PREPARO DO CONCRETO	OK
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAUÍDO (mm)	
TIPO DE LANÇAMENTO	
fck MÍNIMO (ABNT NBR 12655) (MPa)	Informação ao usuário
fck MÁXIMO (ABNT NBR 12655) (MPa)	
fck DE PROJETO (MPa)	
TEOR DE ARGAMASSAGEM (%)	Recomenda-se valores entre: 45 % e 70 %
ABATIMENTO DE PROJETO (mm)	erro
VOLUME DE CONCRETO A SER VIRADO EM LABORATÓRIO PARA CADA TRAÇO (l)	

MATERIAIS

* CIMENTO PORTLAND

PROCEDÊNCIA	
TIPO DE CIMENTO	
MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)	

* AGREGADO MIÚDO 1

PROCEDÊNCIA	
IDENTIFICAÇÃO	
MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)	
QUANTIDADE EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AGREGADO MIÚDO (%)	erro

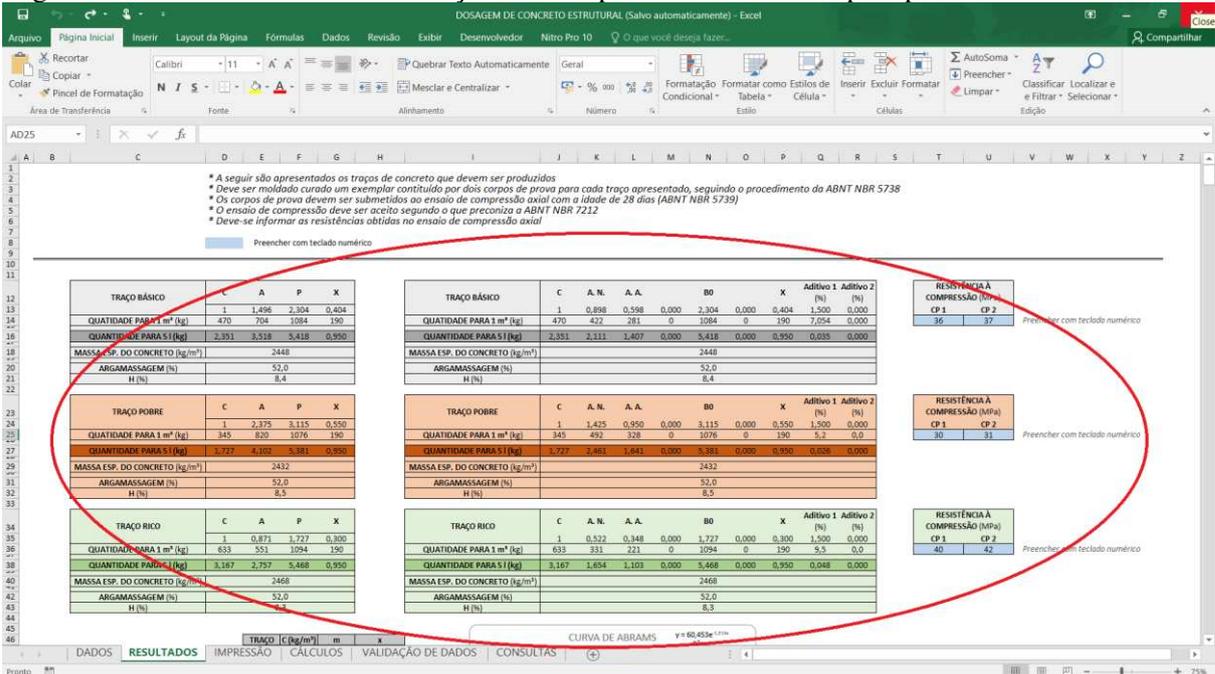
* AGREGADO MIÚDO 2

PROCEDÊNCIA	
IDENTIFICAÇÃO	
MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)	
QUANTIDADE EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AGREGADO MIÚDO (%)	erro

Fonte: Autor (2024)

Na aba “RESULTADOS” é possível identificar os traços “base”, “pobre” e “rico” que devem ser produzidos em laboratório para avaliação de resistência e estas devem ser informadas para viabilizar a produção da curva de Abrams, bem como o cálculo do “traço final”. Vide Figura 4.

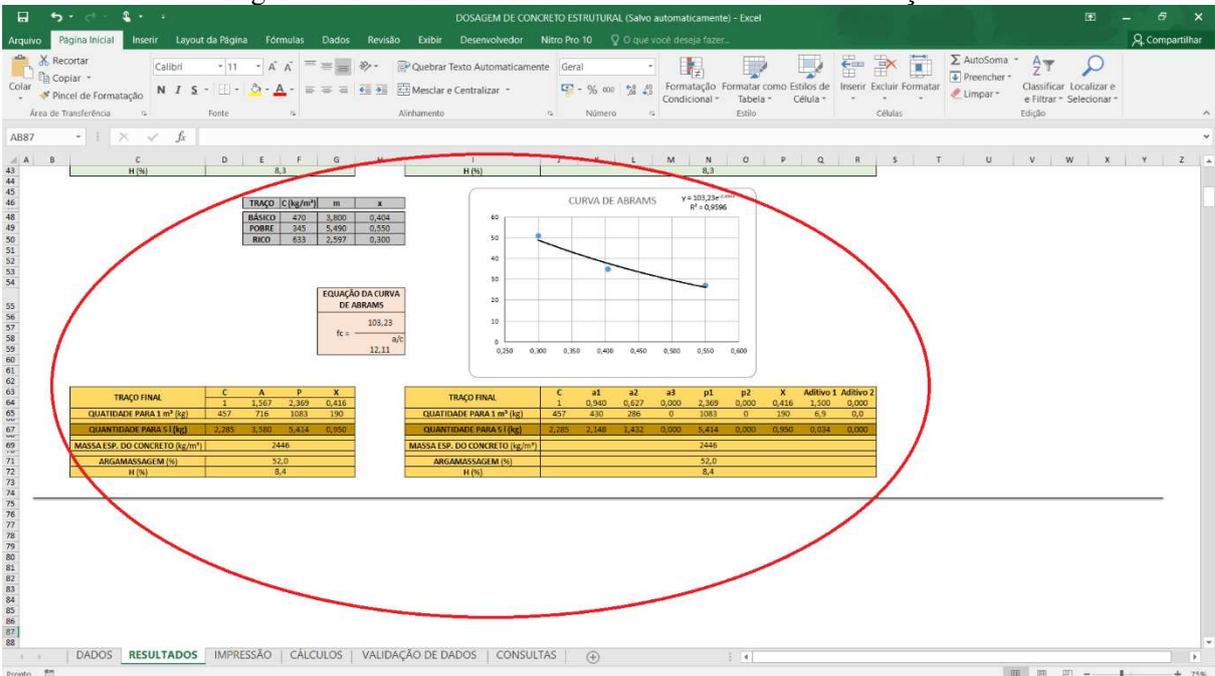
Figura 4: Aba "RESULTADOS"- Traços a serem produzidos e células para preenchimento do usuário



Fonte: Autor (2024)

Ainda na aba “RESULTADOS” é possível visualizar o gráfico da curva de Abrams, sua equação e o traço de concreto “final” calculado. Vide Figura 5.

Figura 5: Aba "RESULTADOS" - Curva de Abrams e traço final



Fonte: Autor (2024)

A aba “IMPRESSÃO” contém as fichas para produção de concreto em laboratórios e estão configuradas para impressão em formato A4 retrato, a aba “CÁLCULOS” contém o memorial de cálculo dos traços de concretos realizados, a aba “VALIDAÇÃO DE DADOS” possui os

parâmetros de cálculo para os traços de concreto que variam de acordo com os dados de entrada fornecidos pelo usuário e a aba “CONSULTAS” possui fotografias de documentos técnicos consultados no desenvolvimento da planilha eletrônica. Todas as referências estão localizadas devidamente no item “REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS” deste trabalho.

5 VALIDAÇÃO DA CALCULADORA DE TRAÇO DE CONCRETO

Nessa parte do trabalho será realizado um estudo de dosagem de concreto, dosado em central, a ser lançado na estrutura em concreto armado, com objetivo de reforçar um pilar na zona urbana da cidade de Juiz de Fora. Os dados a serem considerados são os seguintes:

- i. CAA II – Risco de degradação da estrutura pequeno, (NBR 12655, 2022);
- ii. Condição de preparo tipo A (dosado em central), (NBR 12655, 2022);
- iii. Dimensão máxima característica do agregado de 19 mm, (NBR 7211, 2022);
- iv. Concreto C25, (NBR 12655, 2022);
- v. Consumo mínimo de cimento de 280 kg, (NBR 12655, 2022);
- vi. Relação água/cimento máxima 0,60, (NBR 12655, 2022);
- vii. Cobrimento mínimo 30 mm (NBR 6118, 2023);
- viii. Teor de argamassa de 52%;
- ix. Abatimento do concreto S100, (NBR 16889, 2020);
- x. Cimento CP V ARI, $\gamma = 3,020 \text{ g/cm}^3$, Anexo I;
- xi. Agregado miúdo natural 100% $\gamma = 2,597 \text{ g/cm}^3$, Anexo I;
- xii. Agregado graúdo $d_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm} = 2,789 \text{ g/cm}^3$, Anexo I;
- xiii. Aditivo ADITIBRAS Polinib 180 $\gamma = 1,200 \text{ g/cm}^3$, Anexo I;

De posse dos dados acima descritos é possível preencher a aba “DADOS” da CTC, vide Figuras 6 e 7 a seguir:

Figura 6: Aba "DADOS" - Preenchimento de dados do concreto

DOSAGEM EXPERIMENTAL DE CONCRETOS ESTRUTURAIS

Modo de operação:

Células a serem modificadas por meio de menu suspenso
Células a serem modificadas por meio do teclado numérico
Células a serem preenchidas por meio do teclado alfa-numérico
Células que não devem ser modificadas

DADOS DO CONCRETO

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL - CAA	II	
TIPO DE CONCRETO	ARMADO	
CONDIÇÃO ESPECIAL DE EXPOSIÇÃO	NÃO SE APLICA	
CONDIÇÃO DE PREPARO DO CONCRETO	A	ok
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAUÍDO (mm)	19	
TIPO DE LANÇAMENTO	BOMBEADO	
fk _c MÍNIMO (ABNT NBR 12655) (MPa)	25	Informação ao usuário
fk _c MÁXIMO (ABNT NBR 12655) (MPa)	100	
fk _c DE PROJETO (MPa)	25	
TEOR DE ARGAMASSAGEM (%)	52	Recomenda-se valores entre 45 % e 70 %
ABATIMENTO DE PROJETO (mm)	100	ok
VOLUME DE CONCRETO A SER VIRADO EM LABORATÓRIO PARA CADA TRAÇO (l)	5	

MATERIAIS

CIMENTO PORTLAND

PROCEDÊNCIA	CSN
TIPO DE CIMENTO	CP V
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	3,020

*** AGREGADO MIÚDO 1**

PROCEDÊNCIA	AREIA DE RIO	
IDENTIFICAÇÃO	A. N.	
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,597	
QUANTIDADE EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AGREGADO MIÚDO (%)	100	ok

*** AGREGADO MIÚDO 2**

PROCEDÊNCIA		
IDENTIFICAÇÃO		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)		
QUANTIDADE EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AGREGADO MIÚDO (%)		ok

*** AGREGADO MIÚDO 3**

PROCEDÊNCIA	
-------------	--

Fonte: Autor (2024)

Figura 7: Aba "DADOS" - Preenchimento de dados dos materiais

MATERIAIS

CIMENTO PORTLAND

PROCEDÊNCIA	CSN
TIPO DE CIMENTO	CP V
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	3,020

*** AGREGADO MIÚDO 1**

PROCEDÊNCIA	AREIA DE RIO	
IDENTIFICAÇÃO	A. N.	
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,597	
QUANTIDADE EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AGREGADO MIÚDO (%)	100	ok

*** AGREGADO MIÚDO 2**

PROCEDÊNCIA		
IDENTIFICAÇÃO		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)		
QUANTIDADE EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AGREGADO MIÚDO (%)		ok

*** AGREGADO MIÚDO 3**

PROCEDÊNCIA	
-------------	--

Fonte: Autor (2024)

Após preenchimento da aba “DADOS” a aba “RESULTADOS” fornece os traços de concreto a serem executados em laboratórios, vide Figura 8. Esses traços devem ter suas respectivas resistências à compressão avaliadas na idade de 28 dias e essas devem ser informadas no campo destinado à essa função. Vide Figura 9. Após esse passo a CTC fornece a curva de Abrams e o

traço final de concreto para atender à resistência especificada pelo usuário, baseado nos ensaios realizados. Vide Figura 10.

Figura 8: Aba "RESULTADOS" - Traços de concreto a serem executados em laboratório

TRAÇO POBRE	C	A	P	X
QUANTIDADE PARA 1 m³ (kg)	1	2,596	3,319	0,650
QUANTIDADE PARA 5 l (kg)	315	819	1047	205
QUANTIDADE PARA 5 l (kg)	1,577	4,093	5,234	1,025
MASSA ESP. DO CONCRETO (kg/m³)	2386			
ARGAMASSAGEM (%)	52,0			
H (%)	9,4			

TRAÇO BÁSICO	C	A	P	X
QUANTIDADE PARA 1 m³ (kg)	1	2,325	3,069	0,600
QUANTIDADE PARA 5 l (kg)	342	794	1049	205
QUANTIDADE PARA 5 l (kg)	1,708	3,972	5,243	1,025
MASSA ESP. DO CONCRETO (kg/m³)	2390			
ARGAMASSAGEM (%)	52,0			
H (%)	9,4			

TRAÇO RICO	C	A	P	X
QUANTIDADE PARA 1 m³ (kg)	1	2,054	2,819	0,550
QUANTIDADE PARA 5 l (kg)	373	766	1051	205
QUANTIDADE PARA 5 l (kg)	1,864	3,828	5,254	1,025
MASSA ESP. DO CONCRETO (kg/m³)	2394			
ARGAMASSAGEM (%)	52,0			
H (%)	9,4			

Fonte: Autor (2024)

Figura 9: Aba "RESULTADOS" - Campos de preenchimento com informações de resistência à compressão do concreto

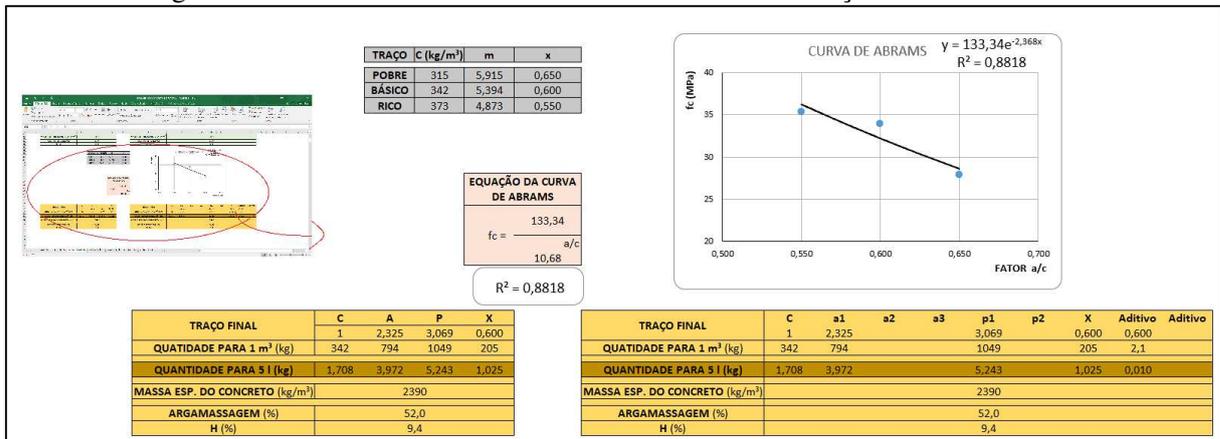
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	
CP 1	CP 2
24,34	27,89

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	
CP 1	CP 2
33,85	32,89

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	
CP 1	CP 2
35,35	30,93

Fonte: Autor (2024)

Figura 10: Aba "RESULTADOS" - Curva de Abrams e traço final de concreto



Fonte: Autor (2024)

5.1 REGISTROS FOTOGRÁFICOS

Nessa parte do trabalho são apresentados registros fotográficos dos pilares a serem recuperados e reforçados com concreto armado. Também são apresentados registros da virada do traço rico de concreto em laboratório. Ver figuras 11 até 22.

Figura 11: Vista parcial do pilar 1 a ser recuperado e reforçado com concreto armado



Fonte: Autor (2024)

Figura 12: Vista parcial do pilar 2 a ser recuperado e reforçado com concreto armado



Fonte: Autor (2024)

Figura 13: Virada dos traços de concreto em laboratório



Fonte: Autor (2024)

Figura 14: Separação de materiais para virada de concreto em laboratório



Fonte: Autor (2024)

Figura 15: Mistura dos materiais do concreto com auxílio de betoneira



Fonte: Autor (2024)

Figura 16: Concreto no estado fresco após ser retirado da betoneira



Fonte: Autor (2024)

Figura 17: Ensaio de consistência do concreto no estado fresco - procedimento



Fonte: Autor (2024)

Figura 18: Ensaio de consistência do concreto no estado fresco - resultado



Fonte: Autor (2024)

Figura 19: Corpos de prova cilíndricos para avaliação de resistência à compressão diametral



Fonte: Autor (2024)

Figura 20: Reforço estrutural do pilar a ser recuperado e reforçado



Fonte: Autor (2024)

Figura 21: Execução de formas e escoramentos dos pilares a serem recuperados e reforçados



Fonte: Autor (2024)

Figura 22: Resultado final dos pilares reforçados e recuperados



Fonte: Autor (2024)

6 CONCLUSÃO

Ao longo desse trabalho foi possível observar a funcionalidade da equação de Abrams, que relaciona a resistência à compressão axial do concreto com o fator água cimento de maneira inversamente proporcional. Além disso, os cálculos das dosagens de concreto de cimento Portland mostraram-se eficazes e apresentaram grandes semelhanças com dosagens de concretos consagrados e produzidos no mercado da construção civil na cidade de Juiz de Fora, o que valida a eficácia da CTC. A praticidade, eficácia e agilidade da CTC fizeram da calculadora uma ferramenta de grande importância e com grande potencial de se tornar um produto que facilitará os estudos de dosagem.

Foi possível confirmar que o concreto de cimento Portland possui diversos requisitos que precisam ser considerados antes do seu preparo, entre eles a agressividade do ambiente em que será empregado, classe do concreto, consistência, consumo mínimo de cimento e máxima relação água / cimento. Esses dados interferem diretamente nos projetos de estruturas de concreto armado e, conseqüentemente, no andamento das obras. A metodologia BIM é responsável por interligar as informações desse tipo com as demais disciplinas de engenharia e enaltece a necessidade a incorporação do estudo de dosagem do concreto aos outros projetos de engenharia. Tal feito evita inconsistências, erros e promove construções otimizadas, econômicas e eficazes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOGGIO, A. J. (2000). Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland.
- HELENE, P. (2011). Dosagens dos Concretos de Cimento Portland. *IBRACON*.
- KATAYAMA, D. (2016). Estudo da influência da granulometria do agregado graúdo nas propriedades do concreto de alto desempenho.
- MEHTA, P. K., & MONTEIRO, P. J. (2014). *CONCRETO: MICROESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS*. Nocolé Pagan Rasparyk.
- NBR 11768, A. (2019). Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. *ABNT*.
- NBR 12655, A. (2022). Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. *ABNT*.
- NBR 15900, A. (2009). Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. *ABNT*.
- NBR 16697, A. (2018). Cimento Portland - requisitos. *ABNT*.
- NBR 16889, A. (2020). Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. *ABNT*.
- NBR 5738, A. (2016). Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. *ABNT*.
- NBR 5739, A. (2018). Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. *ABNT*.
- NBR 6118, A. (2023). Projeto de estruturas de concreto. *ABNT*.
- NBR 7211, A. (2022). Agregados para concreto - Requisitos. *ABNT*.
- NBR 7212, A. (2021). Concreto dosado em central - preparo, fornecimento e controle. *ABNT*.
- NBR 9935, A. (2011). Agregados - Terminologia. *ABNT*.
- NEVILLE, A. M. (2013). *Propriedades do concreto*. Porto Alegre: Bookman.
- RODRIGUES, P. P. (1990). Parâmetros da dosagem racional do concreto. *ABCP*.

TANGO, C. E. (1983). Contribuição ao estudo da previsão da resistência à compressão de cimentos e concretos. *Dissertação apresentada à escola politécnica da USP para obtenção do título de mestre em engenharia.*

ANEXO I – MATERIAIS

i. CIMENTO

Fabrica : **Barroso**
 Tipo de Cimento : **CP V-ARI**
RS

CERTIFICADO DE ANÁLISES



Data: **01-03-**
2024 - **31-03-**
2024

ENSAIOS QUÍMICOS

ENSAIOS	NBR N°	UNIDADE	Média	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/18
PF 950C	NM18/12	%	4.21	<=6.50
SO3	NBR14656/01	%	2.45	<=4.50
RI	NM15/12	%	1.64	não aplicável
MgO	NBR14656/01	%	2.42	não aplicável

ENSAIOS FÍSICOS

ENSAIOS	NBR N°	UNIDADE	Média	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/18
Blaine	NBR16372/15	cm ² /g	4898	não aplicável
Ret.38mic	NBR12826/14	%	1.4	não aplicável
IP	NBR16607/18	min	191	>=60
FP	NBR16607/18	min	245	não aplicável

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

ENSAIOS	NBR N°	UNIDADE	Desvio	Média	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/18
Resist.Comp.1D(NBR)	NBR7215/19	MPa	1.07	20.7	>=14.0
Resist.Comp.3D(NBR)	NBR7215/19	MPa	0.86	31.0	>=24.0
Resist.Comp.7D(NBR)	NBR7215/19	MPa	1.29	40.0	>=34.0
Resist.Comp.28D(NBR)	NBR7215/19	MPa	0.74	51.0	não aplicável

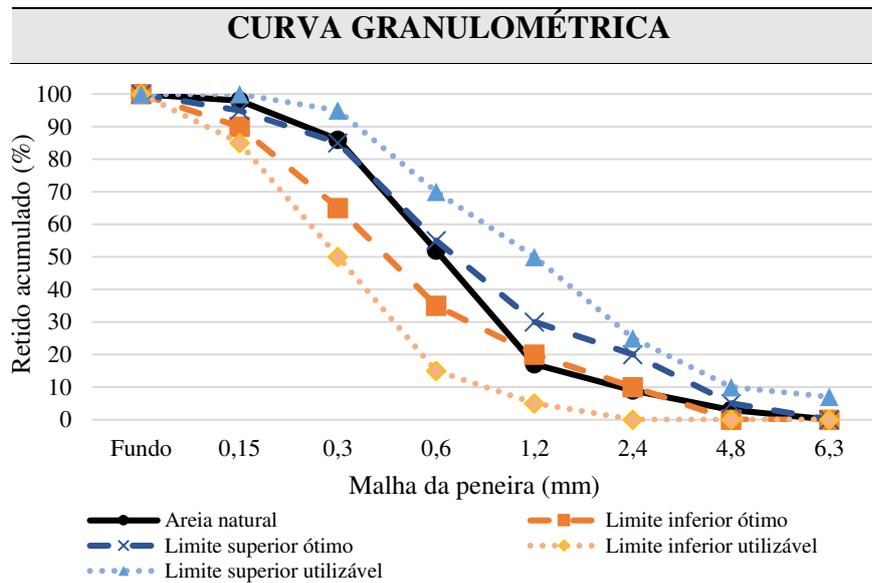

 Jailson Mathias de Souza
 CRQ MG 02102914 – 2ª Região
 Coordenador de Qualidade

Atualizado em: 17/04/2024 12:28:35

ii. AGREGADO MIÚDO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA		
Peneira (mm)	% Retido	% Acumulado
4,80	2,88	3
2,36	5,74	9
1,18	8,74	17
0,60	34,26	52
0,30	34,03	86
0,15	12,28	98
Fundo	2,06	100
Módulo de finura		2,64
Dimensão Máxima Característica (mm)		4,80

Fonte: LMCC (2024).

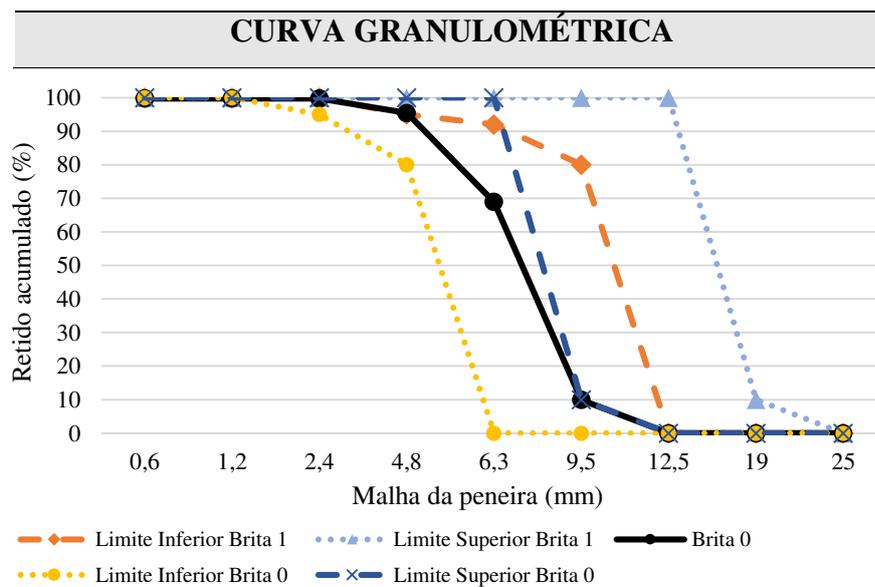


Fonte: LMCC (2024).

iii. AGREGADO GRAÚDO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA		
Peneira (mm)	% Retido	% Acumulado
19,00	0,00	0
12,50	0,00	0
9,50	9,96	10
6,30	58,97	69
4,80	26,51	95
2,36	4,33	100
1,18	0,00	100
0,60	0,00	100
0,30	0,00	100
0,15	0,00	100
Fundo	0,23	100
Módulo de finura	6,04	
Dimensão Máxima Característica (mm)	12,50	

Fonte: LMCC (2024).



iv. AGREGADO GRAÚDO

POLINIB®

Plastificante polifuncional para todos os tipos de concreto -
Redutor de água tipo 1

ADITIBRAS

Função:

POLINIB® é uma linha de plastificantes de caráter polifuncional associado ao efeito controlador de hidratação. São produtos desenvolvidos para reduzir a tensão superficial da água, melhorando assim a molhabilidade e a dispersão das partículas de cimento. A tecnologia inovadora de **POLINIB®**, além de atender as características de um aditivo polifuncional, também possibilita realizar o reaproveitamento do concreto através do **Método RCCZ®** (Reaproveitamento do Concreto a Custo Zero).

POLINIB® pode ser utilizado com areias naturais e com areias artificiais, que é um material abundante e cada vez mais acessível em todas as regiões do Brasil.

POLINIB® é recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos Portland disponíveis no mercado. Também é indicado para a fabricação de concretos plásticos convencionais, dosados em central, bombeados, pré-moldados, protendidos e massa.

POLINIB® é uma linha de produtos líquidos, prontos para uso e isentos de cloretos. Atendem aos requisitos da norma ABNT NBR 11768:2019 – tipos RA1 e RA1-R.

Benefícios:

- Reaproveitamento do concreto
- Ideal para concretos dosados em central / Redução da água de mistura.
- Redução da relação água/ligante total¹
- Concretos com maior plasticidade e manutenção prolongada.
- Aumenta a coesão, diminui a segregação, melhora o bombeamento e o lançamento.
- Melhora o adensamento e o acabamento do concreto. Aumento das resistências finais.
- Redução dos picos térmicos, redução da retração e consequente fissuração.
- Redução da permeabilidade e aumento da durabilidade.
- Redução de custos na produção e do tempo de aplicação do concreto.

¹Ligante total compreende cimento Portland e adições minerais definidos na ABNT NBR 12655, que são considerados no cálculo da dosagem do aditivo.

Dosagem / Aplicação:

A dosagem recomendada de **POLINIB®** é de 100 a 2000 ml de aditivo para cada 100 Kg de ligante total. Deve ser adicionado diretamente no concreto após a mistura inicial dos componentes (inclusive a água), ou adicionado à parcela final da água de amassamento. Nunca o adicionar sobre os materiais secos.

Recomenda-se executar ensaios prévios em laboratório para a determinação da dosagem ideal. **POLINIB®** pode ser utilizado juntamente com outras linhas de aditivos da ADITIBRAS, desde que seja recomendado pelo departamento técnico e os aditivos sejam adicionados separadamente ao concreto.

Para fazer o reaproveitamento de concreto: consulte o manual do **Método RCCZ®**.

Produtos da Linha ²	Indicações Técnicas	Propriedades		
		Aspecto Cor	pH	Massa Específica
POLINIB® 140	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CP II, CP III ou CP IV. Que tenham 100% de areia natural. Apresenta boa dispersão. Climas frios a moderados. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,080 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 143	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CP II, CP III ou CP IV. Que tenham mescla de areia natural com areia artificial. Apresenta boa dispersão. Climas frios a moderados. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,080 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 145	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CP II, CP III ou CP IV. Que tenham 100% de areia artificial. Apresenta boa dispersão. Climas frios a moderados. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,080 ± 0,020 g/cm ³

Tabela continua na próxima página.

Tel.: 55 21 2674-5654 | Av. Monte Castelo, nº 89 | Bairro: Jardim Gramacho | Duque de Caxias – RJ | Cep. 25055-120

Pág 1 / 3
Rev 00

POLINIB®

Plastificante polifuncional para todos os tipos de concreto -
Redutor de água tipo 1

ADITIBRAS

Produtos da Linha ²	Indicações Técnicas	Propriedades		
		Aspecto Cor	pH	Massa Específica
POLINIB® 160	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham 100% de areia natural. Apresenta boa dispersão. Climas moderados a quente. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,090 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 163	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham mescla de areia natural com areia artificial. Apresenta boa dispersão. Climas moderados a quente. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,090 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 165	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham 100% de areia artificial. Apresenta boa dispersão. Climas moderados a quente. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,090 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 180	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPV. Que tenham 100% de areia natural. Apresenta boa dispersão. Clima quente. Tipo ³ RA1-R.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,100 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 183	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPV. Que tenham mescla de areia natural com areia artificial. Apresenta boa dispersão. Clima quente. Tipo ³ RA1-R.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,100 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 185	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPV. Que tenham 100% de areia artificial. Apresenta boa dispersão. Clima quente. Tipo ³ RA1-R.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,100 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 340	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham 100% de areia natural. Apresenta excelente dispersão. Climas frios a moderados. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,160 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 343	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham mescla de areia natural com areia artificial. Apresenta excelente dispersão. Climas frios a moderados. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,160 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 345	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham 100% de areia artificial. Apresenta excelente dispersão. Climas frios a moderados. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,160 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 360	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham 100% de areia natural. Apresenta excelente dispersão. Climas moderados a quente. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,170 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 363	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham mescla de areia natural com areia artificial. Apresenta excelente dispersão. Climas moderados a quente. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,170 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 365	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII, CPIII ou CPIV. Que tenham 100% de areia artificial. Apresenta excelente dispersão. Climas moderados a quente. Tipo ³ RA1.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,170 ± 0,020 g/cm ³

Tabela continua na próxima página.

POLINIB®

Plastificante polifuncional para todos os tipos de concreto -
Redutor de água tipo 1

ADITIBRAS

Produtos da Linha ²	Indicações Técnicas	Propriedades		
		Aspecto Cor	pH	Massa Específica
POLINIB® 380	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CII ou CPV. Que tenham 100% de areia natural. Apresenta excelente dispersão. Clima quente. Tipo ³ RA1-R.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,180 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 383	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CII ou CPV. Que tenham mescla de areia natural com areia artificial. Apresenta excelente dispersão. Clima quente. Tipo ³ RA1-R.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,180 ± 0,020 g/cm ³
POLINIB® 385	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CII ou CPV. Que tenham 100% de areia artificial. Apresenta excelente dispersão. Clima quente. Tipo ³ RA1-R.	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,180 ± 0,020 g/cm ³

² Consulte a área técnica da empresa para conhecer os demais produtos da linha POLINIB®. ³ Conforme designado pela norma ABNT NBR 11768:2019.

Embalagem / Estocagem / Validade:

O aditivo **POLINIB®** é fornecido a granel ou em bombonas plásticas / tambores de 200L. Deve ser estocado em suas embalagens originais e intactas em local protegido do sol, ventilado e seco. Seu prazo de validade é de 06 meses a partir da data de sua fabricação.

Recomendações de Segurança:

Ao manusear o aditivo **POLINIB®** deve-se utilizar equipamentos de proteção individual (EPI's): luvas, óculos de segurança, máscara e avental. Não ingerir o produto. Evitar o contato com os olhos e a pele. Procurar um médico em caso de sintomas de irritação ao produto. Antes de utilizar este produto, recomenda-se consultar a sua FISPQ.