



CALCRETE: UMA FERRAMENTA DIDÁTICA DE AUXÍLIO À OBTENÇÃO DE TRAÇOS, CUSTOS E INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA DE CONCRETOS PARA DISPOSITIVOS ANDROID

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5009

Autores: THIAGO FERREIRA COSTA, JOSE MARIA FRANCO DE CARVALHO, ARIEL MIRANDA DE SOUZA, PEDRO MANOEL MONTEIRO VERLY, DANIEL MONTEIRO ROSADO, PHILIPPE AUGUSTO MARTINS RODRIGUES

Resumo: O Calcrete é uma ferramenta inovadora para a análise de concretos e seus impactos ambientais. O aplicativo, desenvolvido com a biblioteca React Native, é capaz de calcular traços de concreto, utilizando os métodos IPT/EPUSP e ACI/ABCP, receber traços obtidos por outros métodos e calcular indicadores de ecoeficiência e os custos de cada material utilizado. A ferramenta foi desenvolvida com viés didático e visa facilitar a análise e promover o debate e uso de soluções sustentáveis na produção de concretos e na indústria da construção civil, bem como possibilitar que a sustentabilidade seja discutida em cursos de engenharia civil de forma dinâmica e simplificada. Para isso, o Calcrete adota a modelagem dos indicadores de ecoeficiência baseada na função de desejabilidade estatística e outras soluções que visam tornar os resultados mais acessíveis e inteligíveis aos usuários, ao mesmo tempo que permaneçam representativos.

Palavras-chave: Concreto, Dosagem, Ecoeficiência, Aplicativo, Educação.

CALCRETE: UMA FERRAMENTA DIDÁTICA DE AUXÍLIO À OBTENÇÃO DE TRAÇOS, CUSTOS E INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA DE CONCRETOS PARA DISPOSITIVOS ANDROID

1 INTRODUÇÃO

À medida que a humanidade progrediu, a indústria da construção civil teve que se ajustar ao crescimento acelerado das áreas urbanas e às demandas populacionais, especialmente nos últimos séculos. Isso resultou em um elevado consumo de recursos não renováveis e em problemas ambientais, sociais e econômicos. Atualmente, o setor é responsável pelo esgotamento de 40% a 60% dos recursos naturais e é um dos principais contribuintes para os impactos ambientais (Vieira, 2016). O cimento Portland, principal componente do concreto, é responsável por 5% a 7% das emissões antropogênicas de CO₂, 3% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de 12% a 15% do uso total de energia industrial no mundo (Çankaya, 2019).

Em resposta a esses desafios, a comunidade científica tem buscado soluções para reduzir os impactos ambientais e melhorar a eficiência da produção dos materiais de construção civil, principalmente do concreto. A reciclagem de materiais, por exemplo, tem grande potencial para reduzir a demanda de matéria-prima e o descarte de resíduos sólidos. Esse processo permite a utilização de uma ampla gama de materiais na produção de concretos mais sustentáveis, como fileres, materiais cimentícios suplementares e agregados graúdos e miúdos, incluindo matéria orgânica, resíduos de construção e demolição (RCD), e resíduos e subprodutos de diversos processos industriais.

A redução do consumo de cimento também tem sido apontada como uma solução viável para aumentar a sustentabilidade no setor. Além de reduzir o CO₂ associado à fabricação do aglomerante, outras vantagens incluem menores custos, menor calor de hidratação e diminuição da retração do concreto. No entanto, otimizar concretos para reduzir o uso de cimento é um processo complexo que envolve a seleção cuidadosa de materiais e a determinação das proporções corretas para alcançar as propriedades desejadas (Costa, 2023). Isso é ainda mais desafiador com materiais que demandam algum tratamento adicional, como agregados de RCD, que geralmente apresentam alto teor de absorção de água em comparação aos agregados convencionais, podendo prejudicar a hidratação do cimento se não forem tratados.

Outro aspecto amplamente discutido são os indicadores das características do concreto e como trabalhá-los. Segundo Souza et al. (2021), enquanto alguns indicadores descrevem aspectos ambientais do concreto, outros se concentram em suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Há, ainda, a possibilidade de combinar indicadores para avaliar a ecoeficiência dos concretos. No entanto, a grande quantidade de metodologias existentes faz com que profissionais e cursos de graduação em Engenharia Civil tenham que escolher algumas poucas a serem abordadas, deixando conceitos importantes, sobretudo relacionados à sustentabilidade, em segundo plano.

A modelagem dos resultados dessas metodologias também é outro fator importante. Respostas muito complexas podem demandar muito tempo de discussão e levar a análises desestruturadas e incertas, enquanto resultados modelados podem facilitar a aplicação e compreensão prática dos conceitos, ampliando a possibilidade de debate sobre temas mais

complexos. Além disso, diversas metodologias dificilmente podem ser relacionadas entre si, pois seus resultados não são projetados como componentes de um tópico mais amplo, mas como respostas a características específicas do concreto.

Assim, o aplicativo para dispositivos móveis Android Calcrete foi desenvolvido como uma ferramenta didática que pretende, por meio de uma abordagem prática, interativa e de fácil acesso, introduzir temas complexos da fabricação de concretos. Ele permite observar os efeitos de cada parâmetro no traço, custos e nos indicadores de ecoeficiência e se baseia nos principais métodos de dosagem utilizados no Brasil e na metodologia de desejabilidade estatística aplicada a indicadores de ecoeficiência, proposta por Souza et al. (2021). Acredita-se que a ferramenta tenha um grande potencial para ser utilizado em cursos de engenharia civil, tanto em aulas teóricas quanto práticas, promovendo a divulgação e popularização de práticas sustentáveis e técnicas inovadoras no setor da construção civil e na sociedade em geral, além de facilitar o ensino da sustentabilidade no ambiente educacional de forma mais simplificada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Métodos de dosagem

A dosagem dos materiais em concretos de cimento Portland é essencial para garantir que suas especificações de aplicação, como resistência mecânica, trabalhabilidade, durabilidade e deformabilidade, sejam atendidas, com um bom aproveitamento dos materiais e baixo consumo de cimento (Costa, 2023). Para isso, diversos métodos de dosagem foram desenvolvidos e se tornaram amplamente conhecidos. Apesar dos resultados dos diferentes métodos de dosagem serem geralmente próximos e consistentes, observa-se variações relevantes de alguns parâmetros, como o teor de argamassa, consumo de cimento, custo por metro cúbico ($\$/m^3$), custo por metro cúbico por unidade de resistência ($\$/m^3/MPa$), dentre outros (Costa, 2023). Outra característica que distingue os métodos é a quantidade e técnica dos dados de entrada necessários, muitas vezes sendo um fator determinante de rejeição de algum método. Além disso, a classe de resistência também é um critério muito importante, visto que alguns métodos só são aplicáveis ou recomendados em uma determinada classe (Oliveira, 2012).

Para concretos do Grupo I (classes de resistência C20 a C50), mais comumente utilizados no Brasil, os métodos IPT/EPUSP, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em conjunto com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), e ACI/ABCP, desenvolvido pelo *American Concrete Institute* (ACI) e adaptado pela Associação Brasileira do Cimento Portland (ABCP), se mostram os mais eficientes, apresentando menor teor de argamassa, menor consumo de cimento, menor custo e menor custo por resistência mecânica (Toralles, 2018). Dependendo da disponibilidade técnica regional, qualquer dos métodos pode ser mais adequado, visto que o ACI/ACI/ABCP demanda mais características experimentais dos agregados e o IPT/EPUSP, além de características dos agregados, requer a determinação do teor de argamassa, um ensaio sem padronização de norma que pode levar a erros se mal executado (Costa, 2023). Já para o Grupo II (classes de resistência C50 a C100), modelos teóricos de empacotamento de partículas são mais recomendados, como Furnas e Andreassen, sendo o ACI/ ABCP e IPT/EPUSP não recomendados (Oliveira, 2012).

2.2 Indicadores de ecoeficiência

A função de desejabilidade estatística tem sido apontada como uma ferramenta muito importante no processo de simplificação da visualização das respostas. Além de sua

alta eficiência, possui grande poder de modelagem dos resultados e exploração dos sistemas estudados (Novaes, 2017). Para Souza et al. (2021), a desejabilidade estatística, além de sua aplicação simples em ferramentas computacionais, pode traduzir a complexidade dos efeitos dos vários impactos ambientais em um único valor, facilitando a análise desses impactos.

Diversos indicadores foram propostos com diferentes objetivos, o que torna a análise de concretos sustentáveis uma tarefa difícil de executar e interpretar. Por outro lado, segundo Souza et al. (2021), a ecoeficiência de concretos pode ser avaliada adequadamente por um conjunto de novos indicadores que combinam parâmetros existentes em respostas de fácil compreensão a partir da função de desejabilidade estatística. A proposta do autor visa o uso prático, de fácil compreensão e diretamente alinhado com os objetivos de acordos regionais, nacionais e internacionais na área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável global. Esses indicadores são:

- a) Redução de Impactos Negativos de Energia (RIE): avalia o consumo primário de energia não renovável.
- b) Redução de Impactos dos Materiais (RIM): avalia o uso de matéria-prima primária, materiais reciclados e consumo de água, medindo o impacto nos recursos naturais.
- c) Redução de Gases do Efeito Estufa (RGE): quantifica a emissão de dióxido de carbono, vapor d'água, metano e óxido nitroso, visando diminuir as emissões de gases do efeito estufa.
- d) Redução do Potencial de Ecotoxicidade (RPE): identifica concretos menos agressivos ao meio ambiente, avaliando o potencial ecotoxicológico em diferentes ecossistemas.
- e) Redução da Acidificação, Eutrofização e Ozônio (AEO): avalia a redução de emissões de substâncias que causam acidificação, eutrofização e depleção da camada de ozônio.
- f) Ecoeficiência Potencial (EEP): consiste em uma média dos indicadores anteriores (RIE, RIM, RGE, RPE e AEO), resumindo todos os aspectos ambientais em um único indicador para uma visão simples e intuitiva da ecoeficiência dos concretos.

3 METODOLOGIA

3.1 Ambiente de desenvolvimento

Para facilitar a criação de componentes de interfaces interativas, o Calcrete foi desenvolvido utilizando a biblioteca React Native, desenvolvida pelo Facebook. A biblioteca utiliza o *JavaScript Extensible Markup Language* (JSX), uma extensão para a linguagem JavaScript com estrutura semelhante à do *HyperText Markup Language* (HTML). Além disso, a estilização dos componentes é feita com uma sintaxe semelhante ao *Cascading Style Sheets* (CSS). O aplicativo foi segmentado em telas que interagem entre si com auxílio da biblioteca React Navigation, e um componente de base de dados foi elaborado para facilitar a atualização e adição de novos materiais e suas características. Diversas outras bibliotecas *open source* foram instaladas a fim de economizar tempo de desenvolvimento.

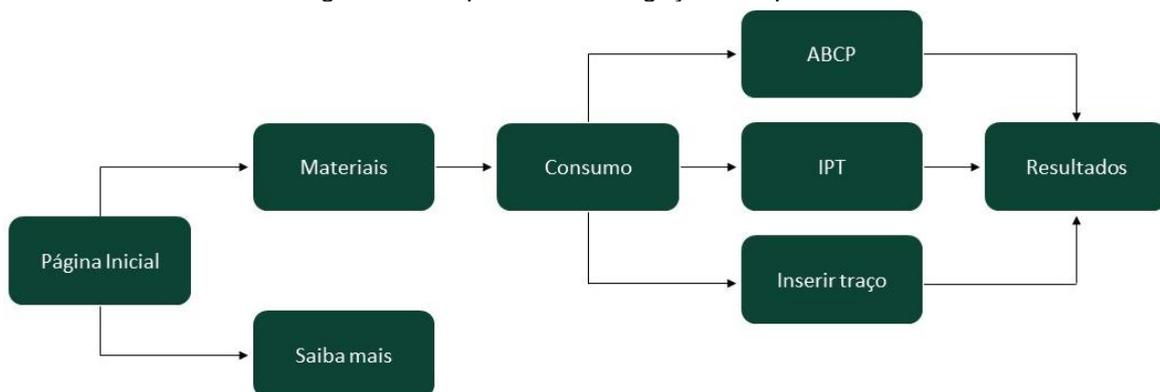
O Node.JS, com apoio do framework Expo, foi utilizado como ambiente de execução do código do Calcrete. Para a visualização em tempo real do funcionamento do aplicativo, foi utilizado o Android Studio, um software que permite simular dispositivos Android com diferentes características, como versões de sistema operacional, resoluções, proporções de tela e outras funcionalidades. Vale ressaltar que, embora o React Native gere códigos

nativos que podem ser convertidos em aplicações para Android e iPhone Operating System (iOS), o Calcrete foi limitado a testes em dispositivos Android.

3.2 Navegação

Com intuito de facilitar a compreensão do usuário, a navegação foi dividida em etapas representadas por telas. Conforme a Figura 1, a primeira etapa da análise consiste em escolher os materiais disponíveis no catálogo do Calcrete. Vale ressaltar que o uso de um catálogo de materiais o objetivo de diminuir a quantidade de dados que o usuário precisa inserir, tornando a análise mais dinâmica e intuitiva, além de garantir a disponibilidade dos dados necessários, sobretudo os utilizados no cálculo dos indicadores de ecoeficiência. Em seguida, deve-se escolher entre obter os consumos de material a partir dos métodos de dosagem ACI/ABCP e IPT/EPUSP ou inserir um traço obtido por correção ou método diferente, externamente ao aplicativo. Por fim, são apresentados os resultados do traço, custos e ecoeficiência, e o usuário pode retornar à tela inicial ou voltar às telas interiores para fazer alterações nos dados inseridos, visto que o aplicativo guarda temporariamente todas as entradas do usuário.

Figura 1 – Esquema de navegação do aplicativo.



Fonte: Autor.

Além das telas do aplicativo, foram elaboradas páginas online para dar suporte ao Calcrete. Na tela “Materiais”, o usuário pode consultar a página de base de dados com todas as características dos materiais utilizadas em todas as etapas da análise. Já na tela “Saiba mais”, além de um resumo sobre o aplicativo, apoiadores e equipe, é possível ser direcionado para página principal do aplicativo, que contém considerações básicas sobre o mesmo e toda a documentação de desenvolvimento detalhada, incluindo a descrição de cada etapa dos cálculos realizados e hipóteses adotadas. Com isso, além de reduzir consideravelmente a quantidade de informação contida na ferramenta, cria-se um ambiente próprio para o aprofundamento dos temas abordados.

3.3 Obtenção dos consumos de material

Para obtenção dos consumos dos materiais, adotaram-se dois métodos de dosagem experimental e a opção de o usuário inserir seu próprio traço obtido de outra forma. Para concretos do Grupo I (classes de resistência C20 a C50), mais comumente utilizados no Brasil, os métodos IPT/EPUSP e ACI/ABCP se mostram os mais eficientes do que outros métodos e, por isso, foram empregados no aplicativo. Já para o Grupo II (classes de resistência C50 a C100) e demais casos não prescritos, o usuário deverá obter o traço de cada material de forma externa ao app e inseri-lo para prosseguir com as análises.

O método de dosagem ACI/ABCP foi executado conforme o material publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ACI/ABCP) em 1984, intitulado “Parâmetros de Dosagem de Concreto” (Rodrigues, 1998). O método utiliza tabelas e gráficos, elaborados a partir de análises experimentais, para que se obtenha o traço desejado. Já o método de dosagem IPT/EPUSP é uma metodologia essencialmente experimental, idealizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Como a execução de ambos os métodos requer análises do comportamento do concreto no estado fresco e endurecido, tais análises foram feitas com base em valores da literatura, com intuito de simplificar a experiência do usuário. Ressalta-se que, devido à natureza experimental dos métodos, os resultados são ilustrativos e devem ser utilizados apenas como ponto de partida para um estudo mais aprofundado e para a discussão dos assuntos.

3.4 Custos dos materiais

Os custos são estimados com base nos custos unitários fornecidos pela base SICRO. O custo da água não é levado em conta nas análises e, para agregados reciclados, adotou-se 50% do preço unitário do agregado natural na mesma zona granulométrica (Salbego, 2018). Vale ressaltar que o aplicativo será atualizado conforme novos dados e informações mais recentes sejam disponibilizados.

3.5 Indicadores de ecoeficiência

Para os indicadores de ecoeficiência, adotou-se a metodologia proposta por Souza et al. (2021), que utiliza a função de desejabilidade e outros indicadores individuais para compor os indicadores idealizados com respostas que variam de 0 a 1, sendo 1 o resultado mais favorável. Conforme citado anteriormente, os indicadores adotados são:

- Redução de Impactos Negativos de Energia (RIE), obtido pela Equação 3, sendo a Equação 1 a função de desejabilidade adotada.
- Redução de Impactos dos Materiais (RIM), de acordo com a Equação 4. Nos indicadores PRM e WC, aplica-se a função de desejabilidade da Equação 1. Para o indicador RM, entretanto, utiliza-se a Equação 2.
- Redução de Gases do Efeito Estufa (RGE), conforme Equação 5, sendo aplicada a Equação 1.
- Redução do Potencial de Ecotoxicidade (RPE), conforme a Equação 6, utilizando a Equação 1 como função de desejabilidade estatística.
- Redução da Acidificação, Eutrofização e Ozônio (AEO), conforme a Equação 7, utilizando a função de desejabilidade da Equação 1.
- Ecoeficiência Potencial (EEP), que consiste em uma média ponderada dos indicadores RIE, RIM, RGE, RPE e AEO. Para isso, utiliza-se a Equação 8, que é uma abordagem diferente da proposta por Souza et al. (2021).

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} 1, & \text{se } y_i(x) < L_i \\ \left[\frac{U_i - y_i(x)}{U_i - L_i} \right]^t, & \text{se } L_i \leq y_i(x) \leq U_i \\ 0, & \text{se } y_i(x) > U_i \end{cases} \quad (1)$$

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} 0, & \text{se } y_i(x) < L_i \\ \left[\frac{y_i(x) - L_i}{U_i - L_i} \right]^s, & \text{se } L_i \leq y_i(x) \leq U_i \\ 1, & \text{se } y_i(x) > U_i \end{cases} \quad (2)$$

Em que $y_i(x)$ é a soma do parâmetro utilizado no indicador individual de cada material analisado multiplicado pelo seu respectivo consumo; L_i é o menor valor obtido nos concretos estudados na literatura; U_i é o maior valor obtido nos concretos estudados na literatura; s e t são coeficientes relacionados com a importância dos indicadores, variando nos valores 0,1, 1 e 10, sendo adotados como 1 no Calcrete.

$$RIE = d_i \left(\frac{TPE}{f_{c28}} \right) \quad (3)$$

$$RIM = \frac{1}{3} \left[d_i \left(\frac{PRM}{f_{c28}} \right) + d_i \left(\frac{RM}{f_{c28}} \right) + d_i \left(\frac{WC}{f_{c28}} \right) \right] \quad (4)$$

$$RGE = \left[d_i \left(\frac{GWP}{f_{c28}} \right) \right] \quad (5)$$

$$RPE = \frac{1}{3} \left[d_i \left(\frac{FAETP}{f_{c28}} \right) + d_i \left(\frac{TETP}{f_{c28}} \right) + d_i \left(\frac{MAETP}{f_{c28}} \right) \right] \quad (6)$$

$$AEO = \frac{1}{3} \left[d_i \left(\frac{ODP}{f_{c28}} \right) + d_i \left(\frac{EP}{f_{c28}} \right) + d_i \left(\frac{AP}{f_{c28}} \right) \right] \quad (7)$$

$$EEP = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 n_i} [n_1 \times RIE + n_2 \times RIM + n_3 \times RGE + n_4 \times RPE + n_5 \times AEO] \quad (8)$$

Em que TPE , PRM , RM , WC , GWP , $FAETP$, $TETP$, $MAETP$, ODP , EP e AP , representam os indicadores individuais já multiplicados pelos consumos de material; e n_1 , n_2 , n_3 , n_4 e n_5 são os pesos de cada indicador.

Enquanto o autor sugere ponderar os indicadores por meio dos coeficientes s e t das equações de desejabilidade, a abordagem adotada considera esses parâmetros como 1 em todos os indicadores e propõe que os usuários ponderem a Ecoeficiência Potencial atribuindo pesos de 1 a 5 a cada componente, de acordo com a importância julgada à situação de uso do concreto. Essa é uma abordagem mais simplista visa tornar a análise mais intuitiva. Além disso, outra adaptação se refere ao valor ótimo de cada indicador. O autor propõe utilizar o valor mais ecoeficiente abordado na literatura para cada indicador como alvo da função de desejabilidade estatística. Entretanto, optou-se por considerar como resultados ótimos nenhuma emissão dos compostos poluentes, nenhum uso de energia não renovável e completa substituição dos materiais por alternativas sustentáveis

e recicladas. Essa medida visa evitar que soluções individuais sejam suficientes para gerar resultados satisfatórios.

4 RESULTADOS

4.1 Uso do Calcrete em ambiente educacional

O Calcrete é uma ferramenta versátil com diversas aplicações no ambiente educacional, sendo útil tanto em aulas práticas quanto teóricas que abordem dosagem e controle de qualidade de concretos de cimento Portland, impactos ambientais dos materiais de construção e temas correlatos. O aplicativo permite analisar a influência de cada parâmetro do concreto, como o slump, resistência característica (f_{ck}), teor de argamassa, características dos materiais, entre outros, no traço, custo e, principalmente, nos indicadores de ecoeficiência. Isso proporciona aos professores condições ideais para abordar esses aspectos de maneira clara aos alunos.

Além de investigar os aspectos de concretos convencionais, o Calcrete também facilita a análise de soluções sustentáveis. Por exemplo, é possível substituir parcial ou totalmente agregados naturais por materiais reciclados no aplicativo. Essa funcionalidade permite um debate detalhado sobre o impacto dessas medidas nas propriedades do concreto, como massa específica, custos e indicadores de ecoeficiência.

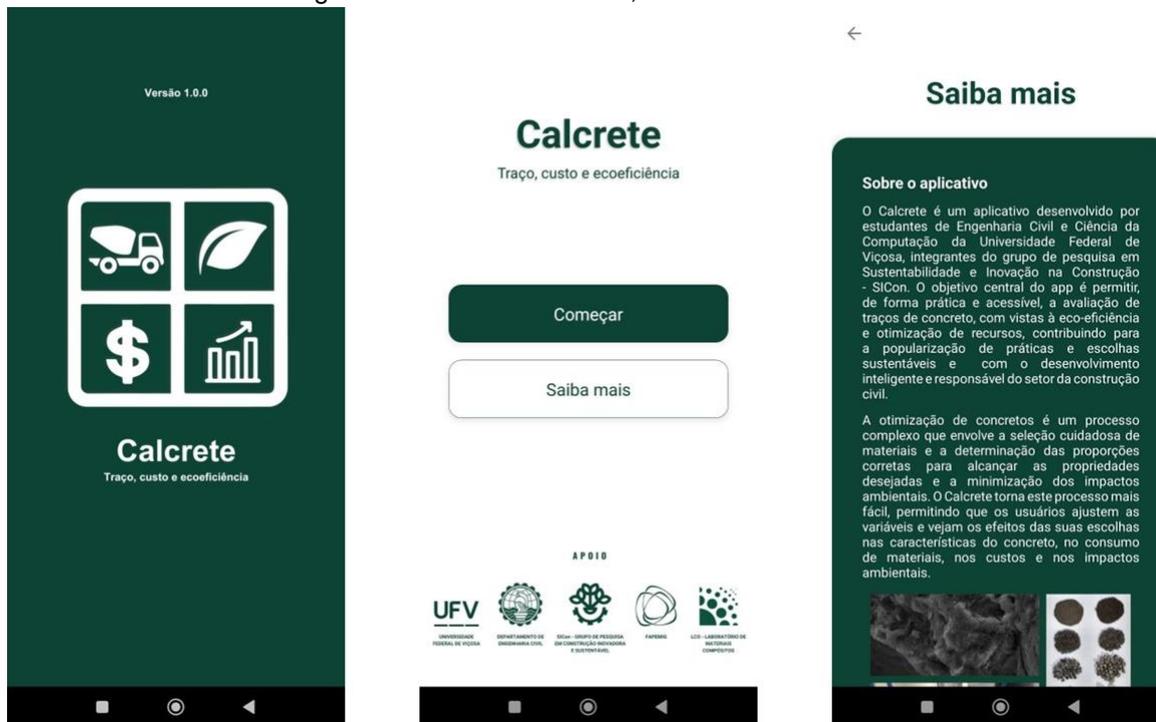
Com o Calcrete, assuntos complexos podem ser debatidos e visualizados facilmente em sala de aula, potencializando o aprendizado e pensamento crítico dos alunos. A ferramenta não apenas facilita a compreensão dos métodos de dosagem e seus aspectos, mas também fomenta o debate sobre a sustentabilidade na produção de concretos. Além disso, demonstra como soluções sustentáveis podem ser favoráveis em vários aspectos.

4.2 Interface do aplicativo

A Figura 2 apresenta a tela de abertura do Calcrete e as telas “Início” e “Saiba mais”. Em “Saiba mais”, encontra-se um resumo sobre o aplicativo, os apoiadores e toda equipe envolvida. Além disso, é possível ser redirecionado para a página online da aplicação, onde pode ser encontrada a documentação de desenvolvimento, descrição das metodologias empregadas, base de dados, dentre outras informações.

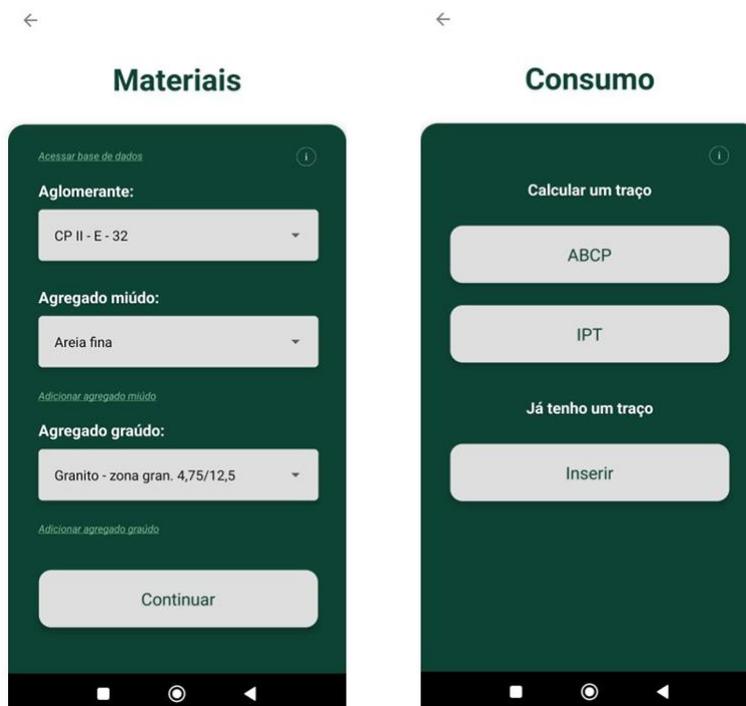
Ao clicar no botão “Começar” da tela Início, o usuário deverá preencher e selecionar os dados das telas Materiais e Consumo, conforme a Figura 3. Na tela Materiais, o usuário pode escolher o aglomerante, agregado miúdo e gráudo, além de adicionar outros agregados por meio dos botões “Adicionar agregado miúdo” e “Adicionar agregado gráudo”. Também é possível consultar todos os dados relacionados aos materiais clicando no botão “Acessar base de dados”. Já na tela Consumo, deve-se optar por obter os consumos dos materiais por meio do cálculo, utilizando os métodos ACI/ABCP e IPT/EPUSP, ou inserir um traço obtido de outra maneira. Vale ressaltar que estas e as telas posteriores possuem um botão de informação, identificado pela letra “i”, que abre um alerta com informações sobre o conteúdo da respectiva tela.

Figura 2 – Telas de abertura, Inicial e Saiba mais.



Fonte: Autor.

Figura 3 – Telas Materiais e Consumo.



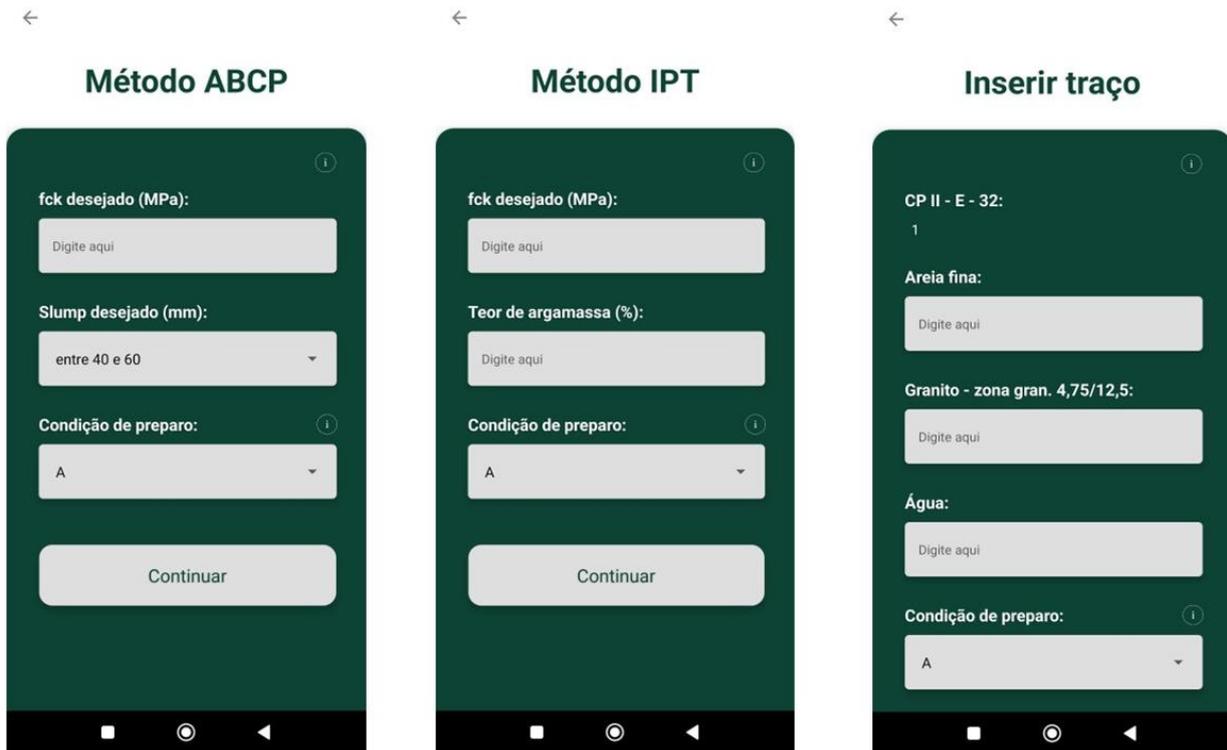
Fonte: Autor.

Tendo escolhido a forma de obter o consumo, o usuário poderá ir para uma das três telas mostradas na Figura 4. Para o método ABCP, é necessário inserir a resistência característica do concreto (f_{ck}) desejada, entre 20 MPa e 50 MPa, o intervalo de slump desejado, em milímetros, e a condição de preparo. Caso o usuário opte pelo método IPT,

deverá inserir o f_{ck} desejado, nas mesmas condições do método ABCP, o teor de argamassa, em porcentagem, e a condição de preparo. Na opção de inserir um traço, deve-se preencher com o traço em massa dos agregados e da água, além da condição de preparo e o f_{ck} , dados necessários para o cálculo dos indicadores de ecoeficiência. Neste último caso, o Calcrete fornece uma estimativa do f_{ck} com base no traço de água, utilizando a Lei de Abrams. Vale enfatizar que o valor indicado serve apenas como referência, visando facilitar a análise do usuário, sendo utilizado nos cálculos apenas se o respectivo campo não for preenchido com outro valor.

Além de trazerem informações gerais sobre o conteúdo exibido na tela, os botões informativos também foram empregados em diversas etapas para explicar algumas informações inseridas pelo usuário. Ainda na Figura 4, por exemplo, os botões abrem um alerta que explica quais são as condições de preparo A, B e C, facilitando a escolha do usuário.

Figura 4 – Telas Método ABCP, Método IPT e Inserir traço.



Fonte: Autor.

Os alertas também são ativados caso o usuário preencha dados incorretamente, como valores negativos, f_{ck} fora do intervalo em que os métodos de dosagem foram idealizados, uso de separador decimal incorreto, etc. Desse modo, o aplicativo foi programado para informar exatamente qual dado deve ser corrigido para seguir a análise.

Na Figura 5, é apresentada uma a tela Resultados, contendo o traço, indicadores de ecoeficiência e consumo de cada material, além dos custos totais e individuais.

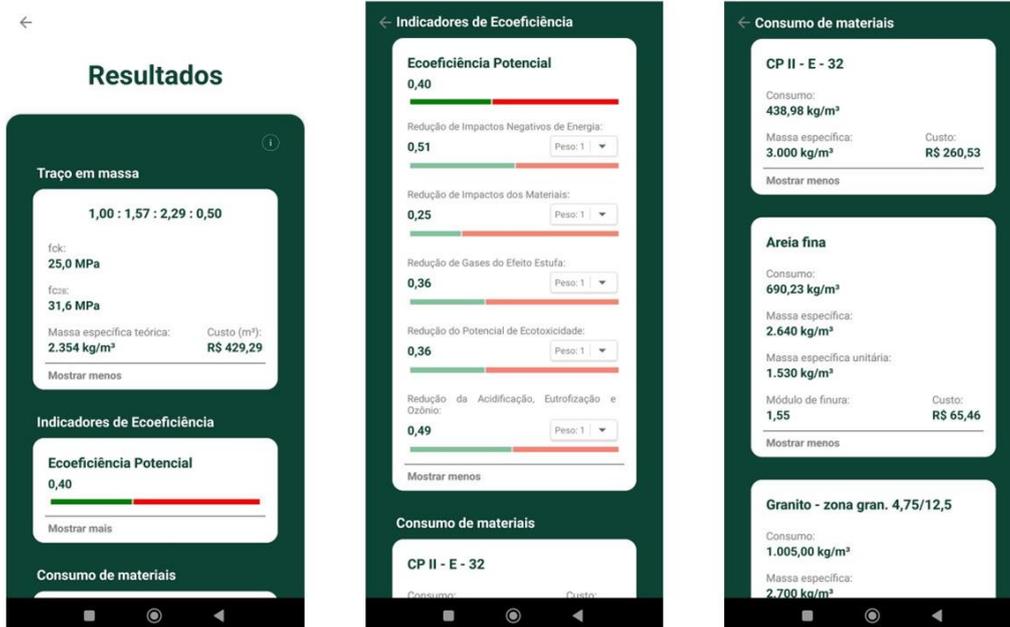
Figura 5 – Tela Resultados.



Fonte: Autor.

Todas as seções mostram versões resumidas dos resultados e possuem o botão “Mostrar mais”, que expande e exibe mais informações sobre a análise do concreto, conforme ilustrado na Figura 6. No caso dos indicadores de ecoeficiência, além de apresentar todos os indicadores, há botões para atribuir pesos de 1 a 5 para cada indicador que compõe a Ecoeficiência Potencial, de acordo com a importância que o usuário atribuir ao seu estudo específico. Assim, o indicador mencionado é alterado em tempo real. Além disso, o usuário pode retornar às telas anteriores ou à tela Início.

Figura 6 – Tela Resultados na versão mais expandida.



Fonte: Autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Calcrete começará a ser testado em cursos de engenharia por professores de diversas instituições que fazem parte da Rede Mineira de Desenvolvimento Científico, Tecnológico e de Inovação (RMDCTI). Conforme mencionado anteriormente, ele pode ser utilizado em aulas teóricas e práticas que envolvam dosagem e controle de qualidade de concretos de cimento Portland, bem como impactos ambientais dos materiais de construção, entre outros temas análogos. Com isso, deseja-se realizar estudos futuros sobre as impressões dos professores e alunos quando ao uso da ferramenta em sala de aula. Além disso, também estará disponível para outros públicos. Abaixo seguem algumas sugestões que já foram relatadas e devem ser implementadas futuramente:

- a) Salvar resultados;
- b) Comparar resultados;
- c) Alterar variáveis experimentais e custos;
- d) Adicionar mais métodos de dosagem;
- e) Adicionar suporte a aditivos de concreto;
- f) Criar materiais didáticos na página do aplicativo.

O aplicativo se mostra como uma solução didática que consegue, por meio de uma abordagem prática, interativa e de fácil acesso, introduzir temas complexos da fabricação de concretos e gerar resultados representativos e inteligíveis. Ele permite observar os efeitos de cada parâmetro no traço, nos custos e nos indicadores de ecoeficiência, baseando-se em métodos de dosagem amplamente utilizados no Brasil e em uma abordagem inovadora para indicadores de ecoeficiência de concretos. Assim, por meio desta ferramenta, espera-se promover a divulgação e popularização de práticas, técnicas e materiais sustentáveis no setor da construção civil e na sociedade como um todo, além de possibilitar que a sustentabilidade seja abordada de forma dinâmica e simplificada nos cursos de engenharia civil.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – Projeto APQ-02637-21. Os autores também agradecem o apoio financeiro disponibilizado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecimentos também são devidos ao Grupos de Pesquisa SICon-CNPq/UFV.

REFERÊNCIAS

COSTA, Thiago Ferreira. et al. **Revisão bibliográfica comparativa entre métodos de dosagem de concreto para uso em ferramenta de apoio à obtenção de traços e indicadores de ecoeficiência**. XIV Simpósio de Integração Acadêmica UFV. 2023, Viçosa – Minas Gerais.

SINGE, Çankaya; BEYHAN, Pekey. A comparative life cycle assessment for sustainable cement production in Turkey. **Journal of Environmental Management**, v. 249 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109362>. Acesso em: 8 fev. 2024.

NOVAES, C. G.; et al. **Otimização de Métodos Analíticos Usando Metodologia de Superfícies De Resposta - Parte I: Variáveis de Processo**. Revista Virtual de Química. v. 9, n. 3. 5, abr. de 2017.

OLIVEIRA, Luís A. R.. **Verificação do Método de Dosagem Mais Eficiente Para o Parâmetro e Categoria Analisados**. Orientador: Denise D. M.. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

RODRIGUES, Públio P. F.. **Parâmetros de dosagem do concreto (ET-67)**. 3ª ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1988.

SALBEGO, Ricardo I.; GIRARDI, Ricardo. Análise de concretos para peças de pavimentação preparados com agregado reciclado e natural. **Revista Inovação e Tecnologia**, Porto Alegre, v. 9, n 23, dez. 2018.

SOUZA, Ariel M.; et al. Application of the desirability function for the development of new composite eco-efficiency indicators for concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 40, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102374>. Acesso em: 20 mar. 2024.

VIEIRA, Darli R.; CALMON, João L.; COELHO, Felipe Z.. Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review. **Construction and Building Materials**, v. 124, n. 15, out. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.125>. Acesso em: 20 mar. 2024.

CALCRETE: A DIDACTIC TOOL TO ASSIST IN OBTAINING TRACES, COSTS AND ECO-EFFICIENCY INDICATORS OF CONCRETE FOR ANDROID DEVICES

Abstract: *Calcrete is an innovative tool for the analysis of concrete and its environmental impacts. The application, developed with the React Native library, is capable of calculating concrete mix ratios, using the IPT/EPUSP and ACI/ABCP methods, receiving concrete mix ratios obtained by other methods and calculating eco-efficiency indicators and the costs of each material used. The tool was developed with a didactic bias and aims to facilitate analysis and promote debate and use of sustainable solutions in the production of concrete and in the construction industry, as well as enabling sustainability to be discussed in civil engineering courses in a dynamic and simplified way. For this, Calcrete adopts the modeling of eco-efficiency indicators based on the statistical desirability function and other solutions that aim to make the results more accessible and intelligible to users, while remaining representative.*

Keywords: *Concrete, Concrete mix design, Eco-efficiency, Application, Education.*

