

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DIREÇÃO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO LUIZ CAMPOS LOPES

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO MOBILE PARA
ESTIMATIVA IN SITU DA VIDA ÚTIL DE COMPONENTES EM CONCRETO
ARMADO FACE CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETOS, VIA ENSAIOS NÃO
DESTRUTIVOS**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2022

FRANCISCO LUIZ CAMPOS LOPES

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO MOBILE PARA
ESTIMATIVA IN SITU DA VIDA ÚTIL DE COMPONENTES EM CONCRETO
ARMADO FACE CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETOS, VIA ENSAIOS NÃO
DESTRUTIVOS**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de
Carvalho

ARACAJU

2022

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lopes, Francisco Luiz Campos

L864d Desenvolvimento de protótipo de aplicação mobile para estimativa *in situ* da vida útil de componentes em concreto armado face corrosão induzida por cloretos, via ensaios não destrutivos / Francisco Luiz Campos Lopes. - Aracaju, 2022.

104 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho. Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2022.

1. Concreto armado. 2. Durabilidade. 3. Corrosão estrutural. 4. Difusividade. 5. Cloreto. 5. Modelo de previsão. I. Carvalho, Carlos Henrique de. II. Título.

CDU 624.21

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 217

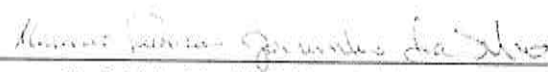
**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO MOBILE PARA
ESTIMATIVA IN SITU DA VIDA ÚTIL DE COMPONENTES EM CONCRETO
ARMADO FACE CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETOS, VIA ENSAIOS NÃO
DESTRUTIVOS**

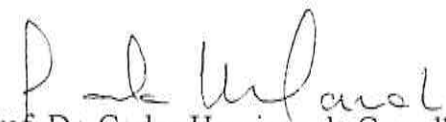
FRANCISCO LUIZ CAMPOS LOPES

Esta monografia foi apresentada às 19 horas do dia 10 de fevereiro de 2022 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof.ª. Dr.ª. Rosane Maria Pessoa Betano
Oliveira
(UFS – Campus São Cristóvão)


Prof. M.Sc. Igor Portella Garcia de
Carvalho
(PI Engenharia Diagnóstica)


Prof. M.Sc. Marcelo Fabiano Goivinho da Silva
(IFS- Campus Aracaju)


Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho
(IFS – Campus Aracaju)
Orientador


Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

A todos aqueles que não acreditaram em mim, duvidaram, ou tinham certeza do meu fracasso, a esses, minhas felicitações por me tornar vitorioso, batalhador e persistente.

AGRADECIMENTOS

À sinceridade que atende a essas palavras, poucos foram aqueles que auxiliaram, dito isso no universo de 7 bilhões de seres humanos, àqueles que me ensinaram a construir essa história, como os meus grandes professores da COEC (e assim sendo sejam todos os professores incluídos nesta relação); o Prof. Elber Gama, grande irmão de farda; o meu excelentíssimo orientador Carlos Henrique, professor de profissão e de vida, a Eng. Monalisa Oliveira, que sempre além de chefe foi minha amiga e professora; o meu sincero amigo Henrique Carvalho; a minha amada Mãe Andrea; o meu sábio Tio Lucas; as minhas avós Angélica e Lícia; a paciente e sempre presente Natalia Matos e meus irmãos Fred e Larah, à vocês eu necessitaria de um livro para me expressar e expor tudo aquilo que seria de direito de vocês meus ilustres companheiros de vida.

Mas, acima de tudo o meu Pai e meu Avô paterno, que além de me presentear com seu nome, me ensinaram a viver, duas personalidades que o tempo não desgastará, seres que acima de todos seus defeitos, indescritivelmente, conseguem obter toda minha admiração, pessoas que busco dia-a-dia ser igual ou melhor. Abençoado aquele que um dia na vida pôde sentir o amor que sinto por esses dois.

Nos braços da vida, ter um colo a se debruçar é luxo e benção, a estas pessoas que me deram suporte, amor e carinho, da melhor forma que souberam e puderam dar, minha gratidão é eterna e verdadeira.

Ao encerrar este trabalho, fecha-se mais um ciclo na vida e a partir dele, diversos outros se iniciam. Que eu possa ser feliz ao completar os próximos e dar aos senhores o orgulho e satisfação como pagamento por tudo aquilo que a mim um dia foi presenteado, obrigado.

Quanto mais nos elevamos
menores parecemos aos olhos
daqueles que não sabem voar
(Nietzsche, Friedrich, 1903)

RESUMO

LOPES, Francisco Luiz Campos. **Desenvolvimento de protótipo de aplicação mobile para estimativa in situ da vida útil de componentes em concreto armado face corrosão induzida por cloretos, via ensaios não destrutivos**. 104. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2022.

A corrosão é a manifestação patológica que mais afeta e onera estruturas de concreto armado. Na presença de cloretos, a corrosão desenvolve-se através da ação danosa dos íons cloretos nas superfícies dos aços das estruturas de concreto armado, sendo um processo agressivo rápido, autossustentável e de redução efetiva das seções das armaduras da estrutura. Portanto, demanda, imperiosamente, ações na fase da gestão da concepção com projetos de durabilidade, ações competentes na fase de gestão da produção e, de forma eficiente, ações na gestão da manutenção com o monitoramento ao longo da vida útil para a garantia do pleno desempenho com segurança e economia. Nesse contexto, o presente estudo monográfico objetivou o desenvolvimento de um protótipo de aplicação mobile, prático e rápido, via modelos de previsão, visando estimar a vida útil de componentes estruturais do compósito concreto armado diante da ação agressiva deletéria dos íons cloretos, subsidiado pelo uso dos ensaios não destrutivos, viabilizando uma boa portabilidade no campo. O protótipo foi validado através do comparativo com o DURACON e em estudos de caso em campo. Esta ferramenta desenvolvida possibilitou a obtenção da estimativa segura da vida útil de uma estrutura de concreto armado agredida por cloretos, via inferência do coeficiente de difusividade iônica desses íons, da resistência mecânica à compressão dos compósitos e do cálculo das probabilidades de despassivação dos aços imersos no concreto ao longo do tempo, de forma eficiente, com o apoio de ensaios não destrutivos à estrutura

Palavras-chave: Vida útil. Durabilidade. Corrosão Estrutural. Difusividade de íons cloreto. Modelos de previsão.

ABSTRACT

LOPES, Francisco Luiz Campos. **Development of a mobile application prototype for in situ estimation of the service life of reinforced concrete components face corrosion induced by chlorides, via non-destructive tests**. 104. Monograph (Bachelor in Civil Engineering) – Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe – Campus Aracaju. 2022

Corrosion is the pathological manifestation that most affects and burdens reinforced concrete structures. In the presence of chlorides, corrosion develops through the harmful action of chloride ions on the steel surfaces of reinforced concrete structures, being a fast, self-sustaining aggressive process that effectively reduces the reinforcement sections of the structure. Therefore, it imperatively demands actions in the design management phase with durability projects, competent actions in the production management phase and, efficiently, actions in the maintenance management with monitoring throughout the useful life to guarantee the full performance safely and economically. In this context, the present monographic study aimed at the development of a prototype of a mobile application, practical and fast, via prediction models, aiming to estimate the useful life of structural components of the reinforced concrete composite in the face of the harmful aggressive action of chloride ions, subsidized by the use of non-destructive testing, enabling good portability in the field. The prototype was validated through comparison with DURACON and in field case studies. This developed tool made it possible to obtain a reliable estimate of the service life of a reinforced concrete structure attacked by chlorides, through the inference of the ionic diffusivity coefficient of these ions, the mechanical resistance to compression of the composites and the calculation of the depassivation probabilities of the steels immersed in the concrete over time, efficiently, with the support of non-destructive testing of the structure.

Keywords: Service Life. Durability. Structural Corrosion. Chloride ion diffusivity. Forecast models.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo de Tuutti (1982) ampliado por Helene (1993).....	17
Figura 2 – Tipos de corrosão e seus respectivos causadores.....	21
Figura 3 – Teor crítico de cloreto de acordo com a qualidade do concreto e fatores ambientais.....	23
Figura 4 - Frente de carbonatação e respectivo fator tempo.....	31
Figura 5 – Fluxograma para a caracterização da estrutura e região	37
Figura 6 – Fluxograma para a caracterização da janela de ensaio	38
Figura 7 – Fluxograma para simulação dos cenários do coeficiente de difusividade efetiva de cloretos a partir do método fenomenológico	39
Figura 8 – Fluxograma para simulação dos cenários para fck estimado a partir da metodologia SonReb.....	40
Figura 9 – Fluxograma para simulação dos cenários do tempo necessário para haver a concentração crítica em uma dada profundidade	40
Figura 10 – Vista geral do reservatório elevado A.....	43
Figura 11 – Realização do ensaio de detecção magnética	43
Figura 12 – Realização dos ensaios colorimétricos	44
Figura 13 – Realização do ensaio de determinação da velocidade do pulso ultrassônico no concreto	44
Figura 14 – Realização do ensaio de determinação da dureza superficial por esclerômetro de reflexão.....	44
Figura 15 – Vista geral do pilarete da cobertura da garagem.....	45
Figura 16 – Realização do ensaio de detecção magnética	45
Figura 17 – Realização do ensaio de determinação da velocidade do pulso ultrassônico no concreto	46
Figura 18 – Realização do ensaio de determinação da dureza superficial por esclerômetro de reflexão.....	46
Figura 19 – Tela inicial	48
Figura 20 – Tela inicial e Tela de Cadastro	49
Figura 21 – Menu Inicial	50
Figura 22 – Menus Secundários – estruturas e concretos	51
Figura 23 – Menus Secundários – ambientes	51
Figura 24 – Tela de Cadastro e Edição dos parâmetros do concreto	52
Figura 25 – Tela de Cadastro e Edição dos parâmetros do Ambiente	54
Figura 26 – Cadastro da Estrutura	55
Figura 27 – Definição das informações da estrutura	56

Figura 28 – Menu da Estrutura – Aba de Dados	57
Figura 29 – Menu da Estrutura – Aba de Elementos.....	58
Figura 30 – Menu do Elemento – Guia de Dados e Guia de Janela Amostral	59
Figura 31 – Inputs necessários para o cálculo da Durabilidade da Janela Amostral - Propriedades do concreto conhecidas	61
Figura 32 – Inputs necessários para o cálculo da Durabilidade da Janela Amostral - Propriedades do concreto conhecidas e Propriedades de um corpo de prova extraído.	62
Figura 33 – Inputs necessários para o cálculo da Durabilidade da Janela Amostral – Estimar o coeficiente de Difusão de cloretos no concreto.....	63
Figura 34 – Inputs necessários para o cálculo da Durabilidade da Janela Amostral – Estimar a resistência à compressão axial do concreto.	64
Figura 35 – Aba de resultados – Gráfico da probabilidade da despassivação do aço ao longo do tempo.	65
Figura 36 – Aba de resultados – Gráfico do coeficiente de difusão do íon cloreto no concreto ao longo do tempo.....	66
Figura 37 – Influência do cobrimento nominal na probabilidade de corrosão obtido por Gjorv (2017) com uso do <i>DURACON</i> (2004)	67
Figura 38 – Influência do cobrimento nominal no tempo de vida útil obtido através do <i>ETAC</i> – 70, 90 e 120 mm.....	68
Figura 39 – Probabilidade de corrosão do ‘Nye Filipstadkaia’ (2002) obtido por Gjorv (2017) com uso do <i>DURACON</i> (2004).....	69
Figura 40 – Tempo de vida útil do ‘Nye Filipstadkaia’ (2002) obtido através do <i>ETAC</i>	70
Figura 41 – CAD 3D do reservatório A.....	72
Figura 42 – Resultado da probabilidade de despassivação gerado pelo <i>ETAC</i>	74
Figura 43 – Trincas e pequenos deslocamentos nos pilares do reservatório A.	75
Figura 44 – Resultado da probabilidade de despassivação gerado pelo <i>ETAC</i> (2022), com temperatura média igual a 10°C.....	76
Figura 45 – Gráfico da influência da temperatura na modelagem da vida útil.....	77
Figura 46 – Resultado da probabilidade de despassivação no pilar de concreto pré moldado situado em garagem, gerado pelo <i>ETAC</i>	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Teores máximos de íons cloreto em concreto.....	22
Tabela 2 – Concentração crítica de cloretos de acordo com normas internacionais.	23
Tabela 3 - Equivalência entre cimentos brasileiros, americanos e europeus e suas respectivas composições químicas.....	30
Tabela 4 – Valores sugeridos por Gjorv (2017) para a concentração superficial de cloretos de acordo com a presença de cloretos na atmosfera.	33
Tabela 5 –Parâmetros para análise da influência do cobrimento nominal na probabilidade de despassivação	67
Tabela 6 –Comparativo dos resultados obtidos por Gjorv (2017) e pelo ETAC para com a análise da influência do cobrimento nominal de concreto	68
Tabela 7 –Parâmetros utilizados para análise da durabilidade do Terminal de Containers do porto de Oslo em 2002 (Gjorv, 2017).....	69
Tabela 8 –Comparativo dos resultados obtidos por Gjorv (2017) e pelo ETAC para o tempo de vida útil do ‘Nye Filipstadkaia’ (2002)	70
Tabela 9 –Parâmetros para estimar o coeficiente de difusividade do íon cloreto no concreto	71
Tabela 10 –Parâmetros para análise da durabilidade da base do Pilar 1 do reservatório A.....	73
Tabela 11 – Análise da probabilidade de despassivação da base do Pilar 1 do reservatório A dado pelo ETAC.....	74
Tabela 12 – Análise da variação da temperatura média na probabilidade de despassivação da base do Pilar 1 do reservatório A, dado pelo ETAC.	76
Tabela 13 –Parâmetros utilizados para análise da durabilidade do pilar de concreto pré moldado situado em garagem.....	78
Tabela 14 – Análise da probabilidade de despassivação do pilar de concreto pré moldado situado em garagem, dado pelo ETAC.....	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL	15
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO.....	16
2.2	VIDA ÚTIL DO CONCRETO ARMADO.....	17
2.3	CORROSÃO DO AÇO NO CONCRETO ARMADO	18
2.4	DESPASSIVAÇÃO DAS ARMADURAS DE AÇO	19
2.5	CORROSÃO LOCALIZADA DEVIDO À ÍONS CLORETO	20
2.5.1	Concentração Crítica De Cloretos no Concreto.....	21
2.6	DIFUSÃO DE ÍONS CLORETO NO CONCRETO.....	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	CONCEPÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA UTILIZAÇÃO IN SITU	26
3.1.1	Determinação Do Coeficiente De Difusão Iônica Do Concreto	26
3.1.1.1	Determinação a partir de ensaios normatizados.....	27
3.1.1.2	Método fenomenológico para estimativa do coeficiente de difusão (Chidiac e Shafikhani, 2019)	28
3.1.1.2.1	<i>Estimativa da fração volumétrica de agregados (V_a)</i>	<i>29</i>
3.1.1.2.2	<i>Estimativa dos níveis de C_3S do cimento</i>	<i>29</i>
3.1.1.2.3	<i>Estimativa da resistência à compressão axial pelo método SonReb.....</i>	<i>30</i>
3.1.2	Estimativa Da Concentração Do Íon Cloreto No Concreto - C_x, t	31
3.1.2.1	Estimativa do tempo de penetração - $t(x, D_0)$	34
3.1.3	Definição Do Modelo Da Probabilidade De Falha	35
3.1.3.1	Simulação de cenários.....	36
3.2	MÉTODO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PRÓTOTIPO	36
3.2.1	Definição Dos Fluxogramas Para O Protótipo Da Aplicação Mobile	37
3.3	ESTUDOS DE CASOS.....	41
3.3.1	Estudo De Caso 01: Utilização Do Protótipo Em Inspeção De Pilar De Reservatório Elevado	42
3.3.2	Estudo De Caso 02: Utilização Do Protótipo Em Inspeção De Pilar Pré Moldado De Concreto Situado Em Garagem.....	45
4.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47

4.1 APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DA APLICAÇÃO MOBILE DESENVOLVIDA	47
4.1.1 Tela Inicial E De Cadastro.....	47
4.1.2 Tela Do Menu Principal.	49
4.1.3 Tela de Visualização, Cadastro E Edição de Concretos.	52
4.1.4 Tela de Visualização, Cadastro E Edição De Ambientes.	53
4.1.5 Tela do Menu Da Estrutura.	54
4.1.6 Tela do Menu Do Elemento Estrutural.....	58
4.1.6 Tela de Análise da Durabilidade.....	60
4.2 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO APLICAÇÃO MOBILE MEDIANTE À ESTUDOS DA LITERATURA	66
4.2.1 Análise Da Influência Do Cobrimento Nominal Na Durabilidade	67
4.2.2 Aplicação Prática Da Literatura - Terminal de Containers I, 'Nye Filipstadkaia'	69
4.3 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO APLICAÇÃO MOBILE <i>IN SITU</i> : ESTUDO DE CASO	71
4.3.1 Análise Dos Resultados Do Reservatório A	71
4.3.1 Análise Dos Resultados Do Pilar Pré Moldado De Concreto	77
5.0 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS.....	82
ANEXO A – COLETA DE DADOS DO PILAR P1 DO RESERVATÓRIO A.....	88
ANEXO B – COLETA DE DADOS DO PILAR DE CONCRETO PRÉ MOLDADO SITUADO EM CARAGEM	89
ANEXO C – FOLDER DE APRESENTAÇÃO DO ETAC 2022.	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

O efeito deletério do tempo nas estruturas de concreto armado, seja este precoce ou previsto, traz consigo deteriorações que, quando não identificadas e mitigadas em fases iniciais, demandam de um alto investimento para intervenção e recuperação.

A corrosão estrutural do aço embebido em concreto é a manifestação patológica que mais afeta e onera estruturas de concreto armado. Em zonas com presença de íons cloreto, a corrosão ocorre precipuamente pela eletroquímica da presença dos íons cloreto na superfície da armadura de aço, sendo um processo rápido, autossustentável e intenso, que causa a perda da seção metálica com consequente expulsamento do concreto de cobrimento.

Segundo Gjorv (2000), somente nos Estados Unidos da América, o custo estimado, em 1986, para recuperação de todas as pontes em processo de corrosão, superou os \$24 bilhões, com acréscimo anual de \$500 milhões. O autor acrescenta que, na Noruega, a maioria das pontes construídas na década de 70 e 80 se encontravam em um alto estado de degradação devido à corrosão estrutural das armaduras, sendo que algumas destas foram demolidas com apenas 25 anos de serviço.

De modo semelhante, Lopes et. al. (2021) verificaram durante inspeções visuais em 49 reservatórios de águas de concreto armado em Sergipe, Brasil, que a principal manifestação patológica era a corrosão eletroquímica, sendo responsável por causar severos deslocamentos de concreto em pilares e vigas, ocasionando riscos para habitações adjacentes à estrutura.

Ferreira (2004) salienta que a corrosão do aço embebido no concreto representa uma das maiores ameaças no tocante a segurança e economicidade das estruturas. Foi estimado pelo IPEN (2002), Dotto (2006) e por Ribeiro (2014), que o prejuízo anual de um país industrializado devido à corrosão varia de 3,5% a 5,0% do seu PIB.

A estimativa sobre o comportamento de uma deterioração estrutural, é explicitada por Ferreira (2004) por auxilia engenheiros e proprietários a desenvolverem estratégias

que tenham um melhor custo benefício durante concepção e/ou manutenção da estrutura.

A noção do comportamento de uma estrutura de concreto armado perante à corrosão induzida por íons cloreto é essencial para definição da periodicidade de inspeções e elaboração de planos de manutenção.

No entanto, para que se inicie o processo da corrosão estrutural devido à íons cloreto, deve-se haver o processo da despassivação da armadura de aço, que depende da concentração de íons cloreto na superfície da mesma. Uma vez atingida a concentração necessária para despassivação da armadura, esta fica suscetível à corrosão eletroquímica, marcando o fim da vida útil de serviço da estrutura.

Para se obter a estima da vida útil de uma estrutura, é necessário que se modele o seu respectivo processo de deterioração. O modelo é obtido a partir de uma série de equações e parâmetros que representem o processo. No caso da corrosão estrutural induzida por cloretos, o processo utilizado para a avaliação da vida útil é o mecanismo de transporte dos íons cloreto no concreto, que se dá majoritariamente pelo processo da difusão iônica, elucidado pela 2º Lei de Fick.

Porém, a obtenção do coeficiente de difusão de íons cloreto no concreto, exige, para estruturas já concebidas, a extração de testemunhos de concreto para realização de ensaios. Em casos onde não se é viável, seja economicamente ou por questão da segurança, a extração do testemunho, impossibilita-se a obtenção do coeficiente e, portanto, a análise da vida útil da estrutura.

Como alternativa, pode-se empregar os ensaios não destrutivos (ENDs) no intuito de se obter valores significativos e representativos sobre estrutura em um curto espaço de tempo, sem causar distúrbios aos usuários ou danos à estrutura. A partir de inferências, equações e modelos os resultados dos ENDs pode-se estimar propriedades importantes do concreto em análise, como a compacidade e resistência à compressão axial, dentre outros.

Os estudos desenvolvidos por Gjorv (2017) com uso do DURACON (2004) para modelagem da vida útil baseado na 2º Lei de Fick, evidenciou a potencialidade dos softwares e modelos de previsão de vida útil. No entanto, para execução do DURACON (2004), é necessário que se conheça o coeficiente de difusividade a íons

cloreto no concreto, bem como ter o conhecimento para executar o programa no *Prompt de Comando* do *Windows*, o que dificulta sua utilização no meio profissional.

1.2 OBJETIVO GERAL

O presente estudo monográfico objetivou o desenvolvimento de um protótipo de aplicação mobile, ágil e de interface amigável, via modelos de previsão, para estimar a vida útil de componentes estruturais do compósito concreto armado diante da ação deletéria dos íons cloretos, subsidiado pelo uso dos ensaios não destrutivos, viabilizando a portabilidade em campo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar o coeficiente de difusividade de íons cloreto através de ensaios não destrutivos;
- Modelar a vida útil de uma estrutura de concreto armado frente à ação de íons cloretos;
- Analisar a confiabilidade do protótipo através do comparativo com o Software DURACON (2004), utilizando pesquisas já conceituadas pela literatura acerca do assunto;
- Avaliar o uso do protótipo *in-situ*, em inspeções de estruturas já concebidas, possibilitando a análise da vida útil da mesma.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No presente capítulo, serão abordados e aprofundados os tópicos que fundamentam os métodos e que suportam o objetivo desta monografia.

2.1 DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO

O conceito de durabilidade se prenuncia no que diz ao desempenho do material nos estados limites último, de serviço e de durabilidade no microclima exposto. Diante do conceito holístico mundial vigente, relativo aos aspectos, econômicos, sociais e ambientais, torna-se mister uma mudança cultural tecnológica nas fases da gestão da concepção, da produção e da manutenção nas edificações e obras de artes especiais.

A ISO 13823 (2008) *apud* Possan e Domoliner (2013) expõe que a durabilidade representa a capacidade de uma estrutura de atender aos requisitos de desempenho especificados em projeto, por um dado período de específico de tempo, sob influências internas e externas à mesma, isto é: com resistências mecânicas e físicas regulares, acrescidas da resistência aos agentes agressivos ambientais.

Os princípios ambientais exigidos por comitês e órgãos de controle e certificação, conferem a exigência de obras mais duráveis diante da escassez de matéria prima e impactos ambientais dentro de um novo contexto de sustentabilidade sistêmica. Gjorv (2000) explicita que a utilização errônea de recursos na construção civil, como o de estruturas sem projetos de manutenção e durabilidade, aumenta ainda mais a problemática ambiental.

Os critérios técnicos estabelecidos pela NBR 6118:2014, em conformidade com os parâmetros de durabilidade, estabelecem marcos para a durabilidade na construção civil, incorporando o fator da classe de agressividade ambiental no projeto de uma estrutura, o que orienta a relação água-cimento e a classe de resistência do concreto, além de estabelecer cobrimentos mínimos para uma estrutura inserida em uma determinada classe de agressividade ambiental.

Helene (1993) salienta ainda que as propriedades de absorção capilar da água, permeabilidade, migração iônica e difusividade da água ou de gases no concreto são fatores determinantes para avaliação da durabilidade da estrutura. Pereira (2001)

afirma que para a abordagem da durabilidade de uma estrutura, é necessário o conhecimento da estimativa de vida útil da mesma.

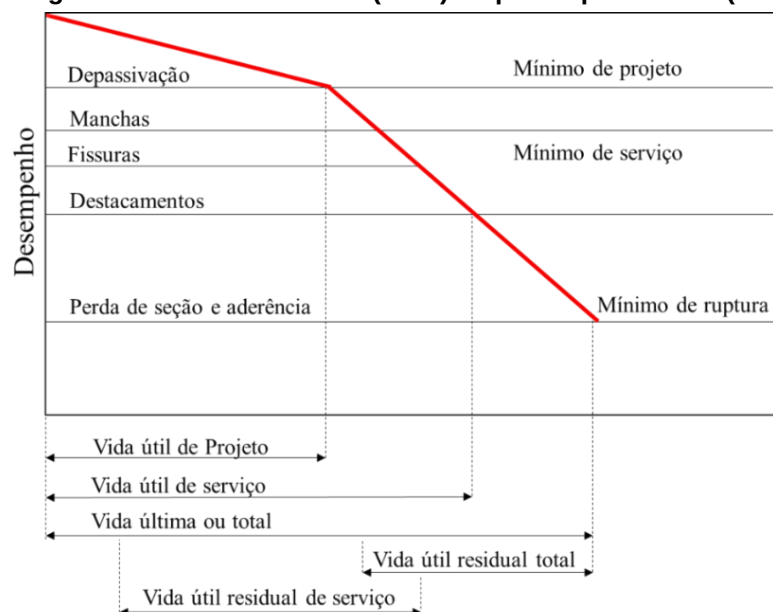
Portanto, o desenvolvimento de projetos de durabilidade para uma estrutura, bem como o seu monitoramento ao longo da sua vida útil, torna-se imperioso *modus operandi* na cadeia da indústria da construção civil.

2.2 VIDA ÚTIL DO CONCRETO ARMADO

A vida útil, definida dentro dos parâmetros da ISO 13823 (2008) e da NBR 15575 (2013), representa a durabilidade de uma estrutura e seus demais componentes estruturais. Diante dos paradigmas jurídicos sustentados pela NBR 15575-1:2013, a estrutura de concreto deve ter uma vida útil dos seus componentes estruturais de concreto armado de ao mínimo 50 anos, fato que leva a uma nova concepção na cadeia da produção civil e da inspeção e manutenção de estruturas.

Helene (1993) ampliou o modelo de vida útil proposto por Tuutti (1982), que inicialmente previa para a manifestação patológica da corrosão estrutural do aço embebido em concreto, um período de iniciação, que se dá pela penetração de agente agressivo e o início da despassivação da armadura, e um período de propagação, dado pelo momento em que a armadura já se encontra despassivada e sofrendo deterioração pelo processo eletroquímico, conforme Figura 1.

Figura 1 - Modelo de Tuutti (1982) ampliado por Helene (1993)



Fonte: Helene (1993), adaptado.

Ao ampliar o modelo proposto por Tutti (1982), Helene (1993) expôs à comunidade acadêmica 4 tipos de vida útil existentes durante o envelhecimento de uma estrutura: Vida útil de Projeto; Vida útil de serviço ou utilização; Vida útil total e Vida útil residual.

No modelo ampliado por Helene (1993) a vida útil residual corresponde ao período onde a estrutura ainda se encontra na capacidade de desempenhar suas funções, sendo marcada a partir do momento em que a estrutura recebe inspeção e/ou manutenção.

Os fatores que influenciam em um projeto de durabilidade vão desde a matéria prima do concreto, até o ambiente onde este estará inserido. No quesito durabilidade estrutural pode-se enunciar diversas manifestações patológicas que causam a perda precoce da vida útil. De acordo com o exposto no FIB 53 (2010), somente a utilização de modelos de predição de vida útil podem afirmar se uma estrutura é dita por ser durável ou não.

Para estruturas de concreto armado inseridas em ambientes com presença de agentes agressivos, a caracterização do seu material de composição e o conhecimento de suas propriedades intrínsecas à durabilidade é essencial para a estimativa da vida útil do projeto.

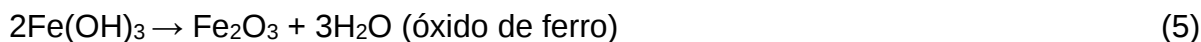
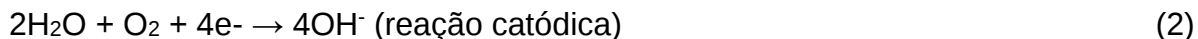
2.3 CORROSÃO DO AÇO NO CONCRETO ARMADO

A corrosão do aço carbono, é a degradação química natural e espontânea de liberação energética, onde o metal retorna ao seu estado mais estável de óxido. O aço usado na indústria de construção civil é uma liga do minério ferro associado a uma pequena fração de carbono, logo esse produto se encontra em níveis energéticos maiores do que sua matéria prima, como explicita Gentil (1996).

A corrosão eletroquímica do aço embebido no concreto se dá pela presença de: oxigênio; eletrólito nos poros e capilares do concreto e pela formação de regiões de potenciais eletronegativos diferentes no aço, regiões anódicas e catódicas.

A partir da ddp (E_{corr}) entre as regiões anódicas e catódicas do aço, ocorre o fluxo de elétrons entre as mesmas. Essa corrente que surge, denominada corrente de corrosão (I_{corr}), dita a transferência de elétrons da região anódica para a catódica,

representando a intensidade do processo corrosivo. As equações 1 a 5 apresentam as reações relativas ao processo corrosivo eletroquímico.



Os compostos ferrosos expansivos oriundos do processo degradativo do aço, acarretam na perda de aderência entre aço e concreto e no fissuramento, trincamento e consequente deslocamento do concreto de cobertura das armaduras, como explica Soares *et. al.* (2015).

Fanton (2017) explica que o estágio avançado da corrosão em armaduras de aço corrobora na perda de capacidade portante de uma estrutura, comprometendo de modo precoce a durabilidade da mesma.

2.4 DESPASSIVAÇÃO DAS ARMADURAS DE AÇO

Quando em estado pleno, sem contaminação por agentes agressivos, as armaduras de aço embebidas no concreto se encontram protegidas por uma passivação eletroquímica devido à solução alcalina presente nos poros e capilares do concreto, como explica Gjorv (2017).

A fina película formada por óxidos depende da disponibilidade de oxigênio e da alcalinidade do concreto, quanto menores forem a disponibilidade desses fatores, mais fina será a película passivadora.

Wolynec (2003) *apud* Araujo *et. al.* (2017) explanam a película passivadora como sendo uma camada aderente composta pelo óxido de ferro Fe_3O_4 . Araujo *et. al.* (2017) acrescenta que a presença da película mantém a densidade de corrente de corrosão (I_{corr}) a níveis desprezíveis

Gjorv (2017) indica que a destruição da película passivadora pode ocorrer devido ao fenômeno da carbonatação ou devido à presença de cloretos livres, isto é, solúveis na solução dos poros do concreto. Ao momento em que se ocorre o fenômeno da

despassivação das armaduras, se inicia o processo de corrosão eletroquímica das mesmas.

Como explicitado por Ferreira (2004), o ataque da película passivadora por parte dos íons cloreto, diferentemente do ataque por carbonatação, não reduz o pH do concreto. O autor acrescenta que, uma vez que dissolvida a película de passivação do aço, o íon cloreto, quando em concentrações suficientes na superfície da armadura, atua como catalisador no processo corrosivo.

À medida em que uma zona sofre despassivação, esta torna mais eletronegativa que outras sendo ditas por regiões anódicas, enquanto que as demais zonas ainda eletroquimicamente passivadas se tornam regiões catódicas.

2.5 CORROSÃO LOCALIZADA DEVIDO À ÍONS CLORETO

Segundo Araujo *et. al.* (2017), os íons cloretos afetam de maneira intensa a durabilidade de uma estrutura de concreto armado. Gjorv (1996) considera que a penetração de íons cloreto de forma descontrolada representa o mais sério, e tecnicamente mais difícil, problema para a durabilidade e segurança das estruturas de concreto armado.

Broomfield (2007) destaca que, por serem hidrofílicos, os íons cloreto favorecem a absorção a retenção de umidade no concreto, além disso as reações do processo corrosivo ocasionadas pelos íons cloreto são auto sustentáveis, pois ao final do consumo dos íons de ferro, os íons cloreto são liberados na solução eletrolítica dos capilares do concreto.

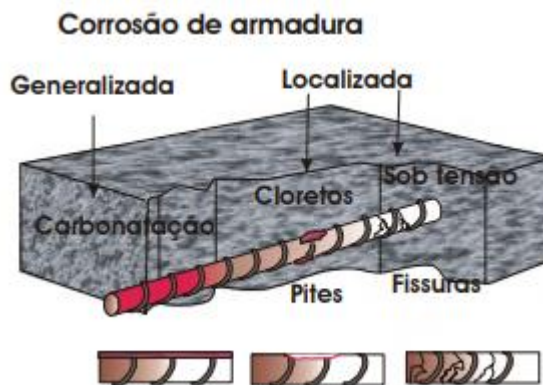
A presença de íons cloreto na solução eletrolítica do concreto, diminui a resistividade elétrica do concreto e torna a solução dos poros e capilares uma excelente condutora de corrente elétrica, aumentando assim a intensidade de corrente de corrosão (I_{corr}), consequentemente, aumentando a velocidade do processo degradativo das armaduras.

De acordo com Ferreira (2004), os íons cloretos livres reagem em regiões anódicas formando ácido clorídrico, destruindo a película passivadora do aço. Essa região extremamente anódica sofre uma corrosão puntiforme, também chamada de pite de corrosão.

Araujo *et. al.* (2017) completam que a corrosão induzida por cloreto ocorre inicialmente de forma localizada onde se há uma nucleação dos pites e, ao longo do acúmulo de produtos de corrosão na sua superfície, estes espalham-se lateralmente nas barras de aço, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 – Tipos de corrosão e seus respectivos causadores



Fonte: Cascudo (1997).

Ferreira (2004) conclui ainda que devido a acidez pontual no pite, uma vez que formado, este se mantém ativo e aumentando a perda de seção da armadura.

2.5.1 Concentração Crítica De Cloretos no Concreto

Gjorv (2017) apresenta que os cloretos podem existir dentro do concreto de três modos: quimicamente aderidos à composição química do concreto na forma de sais de Friedel, fisicamente adsorvidos nas superfícies dos poros do concreto, ou na forma de íons livres dissolvidos no eletrólito dos poros do concreto.

A contaminação do concreto por cloreto pode ocorrer na sua fase de concepção, seja pela adição de material componente do traço do concreto contaminado por cloreto (como água salobra ou areia não lavada) ou pelo uso de aditivos aceleradores de pega a base de cloreto de cálcio, ressalta-se que a norma NBR6118:2014 proíbe o uso de aditivos que contenham cloretos em sua composição, onde nesse caso o cloreto ficara aderido à composição química no concreto, ou pode ocorrer já na fase endurecida, pelo transporte dos íons cloreto livres pelos poros e capilares do concreto até as armaduras de aço.

Em uma análise mais específica, intrínseca à corrosão estrutural induzida somente por íons cloretos, a despassivação das armaduras ocorre devido a uma determinada concentração crítica de cloretos em regiões próximas ao aço, como afirmado por Duprat (2007).

De acordo com Alonso *et. al.* (2000), a concentração crítica de cloretos é regida pela relação $[Cl^-]/[OH^-]$ presentes nos poros do concreto, no entanto, a medição do nível de hidroxilas (OH^-) no concreto é um processo complexo necessitando de caracterizações elaboradas, como a utilização da difração por raios X.

Hausmann (1967) demonstrou através da simulação de Monte Carlo que se a concentração de Cl^- exceder em 0,6% a concentração de OH^- em zonas adjacentes às armaduras ocorrerá a despassivação das mesmas. Hausmann aduz que uma relação $[Cl^-]/[OH^-]$ igual a 0,6% sugere uma concentração de 0,4% de íons cloreto por massa de cimento.

A NBR 12655:2015 estabelece limites para o teor crítico de cloretos em relação à massa de cimento de acordo com a condição de serviço da estrutura e à classe de agressividade ambiental a que esta está exposta (Tabela 1).

Tabela 1 - Teores máximos de íons cloreto em concreto		
Classe de agressividade	Condição de serviço da estrutura	Teor máximo de Cl^- % sobre massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço)	0,40

Fonte: NBR 12655:2015

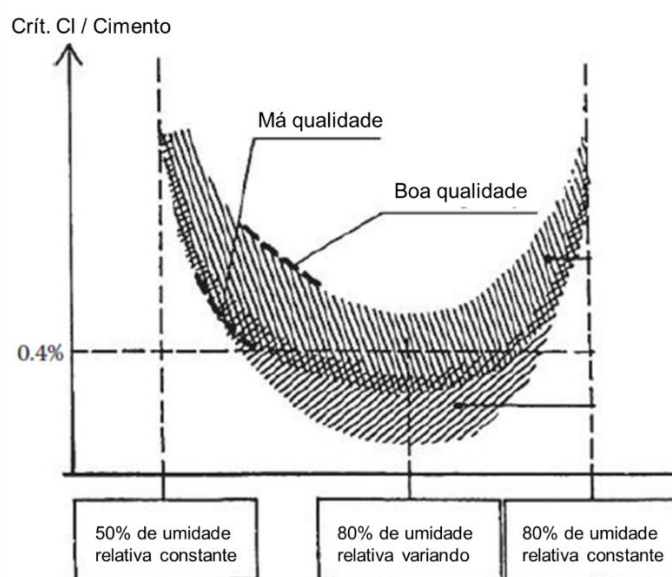
Diversas normas internacionais buscam estabelecer a concentração crítica de cloretos, porém, por ser um material heterogêneo, complexo e exposto a diversas intempéries ambientais, não se possui um valor fixado e único para a concentração crítica de cloretos, cabe ao engenheiro responsável pela análise utilizar a concentração que melhor represente o seu modelo.

Tabela 2 – Concentração crítica de cloretos de acordo com normas internacionais

País	Norma	Concentração crítica
		0,06% para concretos protendidos, em relação à massa de cimento.
EUA	ACI 316 (ACI, 2019)	1% em ambiente seco ou concreto protegido, em relação à massa de cimento.
		0,30% nos demais ambientes, em relação à massa de cimento
Inglaterra	CP 110-1 (BS, 1972)	0,35%, em relação à massa de cimento
Austrália	AS 3600 (AS, 2018)	0,22%, em relação à massa de cimento
Noruega	NS 3474-E (NNS, 1973)	0,60%, em relação à massa de cimento
Europa	Eurocode 2 (EM, 2004)	0,20%, em relação à massa de cimento
Japão	JSCE-JCG-15 (JSCE, 2010)	0,6 Kg/m ³ de concreto

Fonte: Adaptado de IBRACON (2021).

O Comitê Internacional do Betão (CEB, 1992) propôs uma representação gráfica muito usada na literatura sobre o tema, apresentada na Figura 3, onde se correlaciona o teor crítico de cloreto com as condições ambientais e a qualidade do concreto.

Figura 3 – Teor crítico de cloreto de acordo com a qualidade do concreto e fatores ambientais

Fonte: Adaptado de CEB (1992)

O gráfico proposto pelo CEB (1992) expõe a influência da umidade para com o teor crítico de cloreto, isto pois com a umidade relativa abaixo de 50% o concreto apresenta uma alta resistividade, o que mitiga o fenômeno da corrosão, já em condições de saturação total com umidade relativa igual a 100% não se há o processo corrosivo pois não se terá a presença do oxigênio livre nos poros capilares do concreto.

2.6 DIFUSÃO DE ÍONS CLORETO NO CONCRETO

A difusão iônica caracteriza-se pela movimentação de íons devido a um gradiente de concentração iônica em condições saturadas. No caso do concreto armado a difusão iônica dos íons cloretos livres se dá através da solução eletrolítica contida nos poros. Helene (2008) expõe que a difusão independe do fluxo de fluidos.

A difusão é o transporte de íons cloreto mais atuante no concreto, Andrade (1993) completa que com os poros totalmente saturados e em baixas pressões, o processo de ingresso predominante é o mecanismo de difusão de cloretos. O coeficiente de difusividade do concreto é uma propriedade característica do material que oferece uma visão quanti-qualitativa da vida útil da estrutura frente à corrosão induzida por cloretos.

Andrade (1993) apresenta que a difusão de cloretos pode ser de modo efetivo, em regime estacionário ou de modo aparente em regime não estacionário. A primeira lei de Fick determina que, em regimes estacionários onde não há alteração do gradiente iônico, o fluxo iônico de cloretos através de uma área é diretamente proporcional ao gradiente de concentração iônica e ao coeficiente de difusão do material.

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (8)$$

Onde:

J – Fluxo iônico através da seção (kg/m².s);

D – Coeficiente de difusão efetivo do material (m²/s);

$\frac{\Delta C}{\Delta x}$ - Gradiente de concentração iônica (kg/m⁴);

No caso da difusão do íon cloreto no concreto, esta se dá através do regime não estacionário, a segunda lei de Fick considera que nesse regime o fluxo iônico fica sujeito ao tempo (t) e à profundidade de penetração (x).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (9)$$

Onde:

C – Concentração iônica a uma profundidade x a um dado tempo t (kg/m³);

t- Tempo

D – Coeficiente de difusão aparente do material (m²/s);

x- profundidade de penetração (m);

3 METODOLOGIA

O presente capítulo abordará os métodos e equações que foram consideradas para elaboração do protótipo. Estes foram selecionados e adaptados visando atingir o objetivo da obtenção prática da vida útil através de uma aplicação mobile.

A partir da definição dos métodos de cálculo e definição dos inputs, realizou-se a diagramação a partir de fluxogramas do protótipo.

Para consolidação do protótipo realizou-se estudos de caso em estruturas já concebidas.

3.1 CONCEPÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA UTILIZAÇÃO IN SITU

Afim de se obter uma metodologia de fácil uso e de pouca interferência na estrutura em análise buscou-se métodos que a partir de estimativas e inferências, trouxessem um resultado confiável sobre a durabilidade da estrutura frente à corrosão induzida por íons cloreto.

Uma vez que não se possa realizar extração de testemunhos e queira se obter um entendimento sobre a vida útil da estrutura em análise, a utilização de estimativas e ensaios não destrutivos para obtenção de informações quanti-qualitativas do concreto, torna-se imprescindível para uma avaliação prévia e assertiva dentro dos parâmetros determinados.

3.1.1 Determinação Do Coeficiente De Difusão Iônica Do Concreto

Como já explicitado, o coeficiente de difusividade de íons cloreto reflete uma das propriedades mais importantes para a avaliação da durabilidade de uma estrutura de concreto armado, uma vez que o seu valor rege a penetração do agente agressivo íon cloro através do concreto.

Diversos autores e entidades normativas propuseram métodos e equações para determinar ou estimar o coeficiente de difusividade do cloreto no concreto com objetivo de caracterizar o desempenho do concreto frente à penetração de tais agentes agressivos.

3.1.1.1 Determinação a partir de ensaios normatizados

Gjorv (2017) considera os métodos não estacionários, tidos por métodos de migração acelerada de cloreto, como sendo apropriados para a caracterização do coeficiente de difusividade de cloreto. De acordo com o autor, apesar dos coeficientes obtidos por cada um dos ensaios normatizados se diferirem, estes ainda apresentam uma forte correlação entre si.

Como principais métodos normatizados para caracterização do coeficiente de difusividade iônica do concreto, citam-se:

- Ensaio em estado estacionário:
 - Método de migração em estado estacionário, NT Build 355 (NORDTEST, 1989)
 - Método de teste por imersão NT Build 443 (NORDTEST, 1995)
- Ensaio em estado não estacionário
 - Método de migração em estado não estacionário NT Build 492 (NORDTEST, 1999)
 - Teste de método padrão para indicação elétrica da habilidade do concreto para com a resistência a penetração iônica de cloreto (ASTM C 1202:12)

Os ensaios para determinação do coeficiente de difusão iônica do concreto utilizam de testemunhos de concreto extraídos do componente estrutural em análise. Em situações onde se tem a urgência dos resultados ou a impossibilidade da extração de testemunhos, tais ensaios tornam-se inviáveis.

Liu *et. al.* (2015) *apud* Chidiac e Shafikhani (2019) aduzem que tais ensaios e caracterizações são cansativos e demandam muito tempo para realização. Na realidade brasileira, estes ensaios são onerosos e demandam de laboratórios especializados que possuam os equipamentos necessários para sua execução, presentes em poucos estados da federação.

Diante do cenário atual da construção civil, torna-se dificultoso a realização de tais ensaios, seja devido à urgência da demanda, aos custos dos ensaios ou à logística de envio dos testemunhos de concreto.

3.1.1.2 Método fenomenológico para estimativa do coeficiente de difusão (Chidiac e Shafikhani, 2019)

Chidiac e Shafikhani (2019) propuseram um modelo fenomenológico para quantificar de maneira precisa e acurada o coeficiente de difusão efetivo de íons cloreto para concretos convencionais e autoadensáveis em qualquer idade.

Os autores abordaram de modo análogo a resistência à compressão axial do concreto, que depende diretamente da resistência e porosidade da pasta cimentícia, da aderência da pasta com os agregados e da resistência dos agregados em si, a propriedade da difusividade de cloreto em concreto que por sua vez depende diretamente da porosidade, conectividade dos poros, tortuosidade, fração volumétrica e granulometria dos agregados.

O modelo proposto pelos autores contempla a tortuosidade do concreto, a fração volumétrica dos agregados, a composição do traço e a composição química do cimento e adições se caso houver.

$$D_{cl} = \left(\frac{3 \cdot (1 - V_a)^2}{3 - V_a} \right) * 10^{-\left(\left(\frac{C_{CIM}^{CIM}}{100} + \frac{C_{EAF}^{EAF}}{100} + \frac{C_{SA}^{SA}}{100} \right) * f'_c + B \right)} \quad (10)$$

$$C_{CIM} = 0,037 * (C_3S - 0,18) \quad (11)$$

$$C_{EAF} = 1,39 * \left(\frac{(CaO + MgO + SiO_2)_{EAF}}{C_3S} \right) * C_{CIM} \quad (12)$$

$$C_{SA} = 3,60 * \left(\frac{(SiO_2)_{SA}}{C_3S} \right) * C_{CIM} \quad (13)$$

$$B = \begin{cases} 3,29 * (3,56 - C_3S) & C_3S > 0,34 \\ 10,59 & C_3S \leq 0,34 \end{cases} \quad (14)$$

Onde:

D_{cl} – Coeficiente de difusividade efetiva do íon cloreto no concreto (m²/s);

V_a – Fração volumétrica do agregado (m³/m³);

f'_c – Resistência à compressão característica axial do concreto a uma determinada idade (MPa);

C_{CIM} – Teor de cimento da pasta;

C_{EAF} – Fração de escória de alto forno da pasta;

C_{SA} – Fração de sílica ativa da pasta

Quando utilizado para determinar o coeficiente de difusividade de estruturas já concebidas, os inputs necessários no modelo proposto por Chidiac e Shafikhani (2019) necessitam de uma investigação acerca da composição do concreto da estrutura.

De forma a se obter o coeficiente de difusividade do concreto, pode-se estimar os possíveis valores dos inputs a partir de métodos não destrutivos e de conforme dados já obtidos pela literatura acerca de cada assunto.

3.1.1.2.1 *Estimativa da fração volumétrica de agregados (V_a)*

Nos estudos realizados por Chidiac e Shafikhani (2019), foram analisados 56 traços de concreto, com relação água-cimento variando de 0,32 a 0,6; analogamente Oh e Jang (2004) analisaram 9 amostras com relação água-cimento variando de 0,35 a 0,55.

Com um total de 65 traços amostrais trabalhados pelos autores supracitados tem-se uma média da fração volumétrica de agregado (V_a) igual a 0,6091 com um desvio padrão de 0,0441.

3.1.1.2.2 *Estimativa dos níveis de C_3S do cimento*

De acordo com Battangini (2011) a hidratação do C_3S , conhecido como alita, é a que ocorre de modo mais rápido no cimento anidro e é a responsável pela resistência inicial do cimento. O maior teor de C_3S resultará em um concreto com maior resistência mecânica.

O nível de C_3S pode ser determinado a partir do ensaio de difração de raios X, conforme demonstrado por Pillai *et. al.* (2016). No entanto, Chidiac e Shafikhani (2019) explicitam que o intervalo prático entre os níveis de C_3S no cimento se dá de 0,3 a 0,7.

Vichot e Ollivier (2008) apresentam uma porcentagem de 60% a 65% em massa, de teor de C_3S na composição mineralógica do clínquer de Cimento Portland, enquanto que Lea (2004) e Thomas (2001) encontraram teores de 50% a 70%.

Skalny *et. al.* (2002) *apud* Ferreira (2013), apresentaram a composição química dos cimentos brasileiros, europeus e americanos, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Equivalência entre cimentos brasileiros, americanos e europeus e suas respectivas composições químicas

Cimento Americano	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Norma ASTM	C150-86:1986	C150-86:1986	C150-86:1986	C150-86:1986	C150-86:1986
Cimento Europeu	CEM I	CEM II	CEM I	-	-
Norma CEM	EM 197-1:2000	EM 197-1:2000	EM 197-1:2000	-	-
Cimento Brasileiro	CP I	CP II	CP V ARI	BC	RS
Norma ABNT	NBR 5732:1991b	NBR 11578:1991a	NBR 5733:1991c	NBR 13116:1994c	NBR 5737:1992
C₃S (%)	42-65	35-60	45-70	20-30	40-60

Fonte: Adaptado de Skalny *et. al.* (2002) *apud* Ferreira (2013).

3.1.1.2.3 Estimativa da resistência à compressão axial pelo método SonReb

Além do quesito estrutural, o f_{ck} do concreto é um importante fator para a durabilidade das estruturas de concreto armado, Kondraivendhan e Bhattacharjee (2014), Audenaert *et. al.* (2010) e Chidiac e Shafikhani (2019) afirmam que a resistência à compressão axial e o coeficiente de difusividade de cloretos são propriedades dependentes da porosidade, distribuição e tamanho dos poros capilares do concreto.

A metodologia SonReb utiliza dos resultados obtidos no ensaio de determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica em concreto (NBR 8802:2009) e no ensaio de avaliação de dureza superficial por esclerômetro de reflexão (NBR 7584:2012), que são ensaios não destrutivos, para o desenvolvimento de modelos matemáticos que represente o f_{ck} em MPa de uma dada estrutura.

A equação desenvolvida por Breysse (2012) para a utilização do método prevê a determinação do fator de calibração k , que é obtido pela razão do f_{ck} estimado pelo f_{ck}

real, no entanto, uma vez não se fazendo possível a calibração do modelo, utiliza-se a equação 15, sem uso do fator k.

$$f_{cest} = 1,5 \cdot 10^{-10} \cdot V_{UTS}^{2,60} \cdot I'_{ESC}^{1,30} \quad (15)$$

Onde:

f_{est} – f_{ck} estimado do concreto (MPa);

I'_{ESC} – Índice esclerométrico do concreto em análise;

V_{UTS} – Velocidade do pulso ultrassônico no concreto em análise (m/s);

A equação proposta por Breyse (2012) foi validada por Stochino *et. al.* (2017) para estimar a resistência à compressão de concretos afetados por altas temperaturas.

Réus *et. al.* (2016) Constataram que a frente de carbonatação eleva os resultados obtidos com o esclerômetro de reflexão, podendo superar em mais de 50% os valores reais. No entanto, pode-se utilizar o coeficiente de correção denominado de fator tempo especificado no manual de operação do Esclerômetro de Reflexão Silver Schmidt (Proceq, 2008). O coeficiente é diretamente dependente da profundidade da frente de carbonatação conforme Figura 4.

Figura 4 - Frente de carbonatação e respectivo fator tempo

Fator tempo	Profundidade de carbonatação	
[%]	[mm]	[1/100 "]
100	0	0
97	0.5	2
93	1	4
89	1.5	6
85	2	8
81	2.5	10
79	3	12
76	3.5	14
73	4	16
71	4.5	18
68	5	20
65	5.5	22
62	6	24

Fonte: Proceq (2008), traduzido.

3.1.2 Estimativa Da Concentração Do Íon Cloreto No Concreto - $C_{(x,t)}$

Como já discutido, o transporte iônico do cloreto no concreto se dá através da difusão não estacionária. Gjorv (2017) apresenta a segunda lei de difusão de Fick adaptada por Collepardi *et. al.* (1970 e 1972) e abordada considerando a variação da

difusividade conforme o tempo de acordo com Takewaka e Mastumoto (1998) e Tang e Gulikers (2007).

$$C_{(x,t)} = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{(t)} * t}} \right) \right] \quad (16)$$

Onde:

$C_{(x,t)}$ – Concentração de cloreto a uma profundidade x em um dado tempo t (% em relação ao cimento);

C_s – Concentração de cloreto na superfície do concreto (% ao concreto);

t – Instante de tempo em que deseja obter a concentração de cloretos (s);

x – Profundidade de penetração de cloreto (m);

$D_{(t)}$ – Difusividade de cloretos em um determinado tempo (m^2/s);

erf – Função de erro de Gauss;

Tendo em vista a durabilidade de uma estrutura, os parâmetros da profundidade de penetração (x) e a concentração de cloretos $C_{(x,t)}$ são conhecidos, onde na profundidade x, dada pelo cobrimento de concreto não contaminado por cloreto se terá a concentração crítica de cloretos.

A dependência da difusividade para com o tempo é explanada a partir da equação a seguir. Gjorv (2017) aconselha, para o cimento Portland em ambientes de alta agressividade ambiental, o uso de um fator tempo (α) de valor médio de 0,4 com um desvio padrão de 0,08.

$$D_{(t)} = \frac{D_0}{1-\alpha} \left[\left(1 + \frac{t'}{t} \right)^{1-\alpha} - \left(\frac{t'}{t} \right)^{1-\alpha} \right] * \left(\frac{t_0}{t} \right)^\alpha * k_e \quad (17)$$

Onde:

D_0 – Coeficiente de difusividade de cloretos em um dado t_0 de referência (m^2/s);

$D_{(t)}$ – Coeficiente de difusividade de cloretos em um dado t (m^2/s);

t_0 – Idade do concreto em que se foi aferida a difusividade (s);

t' – Idade do concreto ao momento em que este foi exposto a cloretos referente à idade t_0 (s);

t – Instante de tempo em que deseja obter a concentração de cloretos (s);

α – Fator tempo;

De acordo com Polder (2005) o parâmetro k_e considera o efeito da temperatura no coeficiente de difusividade.

$$k_e = \exp \left[b_e \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{T+273} \right) \right] \quad (18)$$

Onde:

b_e – Parâmetro de regressão;

T – Temperatura (C°);

O autor acrescenta que com parâmetro b_e se dá na faixa de 4800 (K).

Para o uso do k_e de forma adaptada para outras regiões, pode-se adotar uma temperatura anual média fixa sem desvios padrões, uma vez que estes, a depender da região, podem se apresentar demasiadamente altos, prejudicando a modelagem de simulação.

Afim de se estimar a vida útil, adota-se uma concentração crítica em uma dada profundidade x . De acordo com a experiência empírica de Gjorv (2017), sustentada pelos estudos teóricos de Hausmann (1967), recomenda-se o uso de um valor médio igual a 0,4%, com um desvio padrão de 0,1%, por peso cimento para a concentração crítica de cloreto, que por representar a certeza da instalação do processo corrosivo, indica o fim da vida útil da estrutura em análise.

$$C_{(x)} = C_{CR} \quad (19)$$

Onde:

C_{CR} – Concentração crítica de cloretos

A concentração de cloretos na superfície do concreto (C_s) é estabelecida a partir de regressões da penetração de íons cloreto ajustado na segunda lei de difusividade de Fick. Gjorv (2017) explica a concentração de cloretos na superfície (C_s) é resultante da presença de cloretos na atmosfera onde a estrutura está inserida e da forma geométrica da peça em análise, além de intempéries ambientais como ventos e chuva, a Tabela 4 explicita valores sugeridos por pelo autor para o parâmetro.

Tabela 4 – Valores sugeridos por Gjorv (2017) para a concentração superficial de cloretos de acordo com a presença de cloretos na atmosfera.

Presença de cloretos	C _s (% por peso de cimento)	
	Valor médio	Desvio Padrão
Alto	5,5	1,3
Médio	3,5	0,8
Moderado	1,5	0,5

Fonte: Gjorv (2017)

No entanto o autor considera que para uma análise de durabilidade deve se considerar a concentração mais representativa possível para as partes mais expostas e críticas da estrutura.

3.1.2.1 Estimativa do tempo de penetração - $t_{(x,D_0)}$

Tendo em vista a análise da durabilidade de uma estrutura, os parâmetros da profundidade (x) e concentração crítica ($C_{(x)} = C_{CR}$) já são conhecidos.

Considerando a análise *in situ* onde a idade da estrutura (t') é igual à idade do concreto em que se determinou a difusividade (t_0), pode-se reorganizar a equação 16 adicionada da equação 17 de forma em que o tempo de exposição (t) fique em função da difusividade efetiva (D_0) e da profundidade de penetração (x), conforme a equação 20.

$$t_{(x,D_0)} = \left[\frac{x^2}{4} \text{inv_erf} \left(1 - \frac{C_{CR}}{C_S} \right)^{-2} \frac{(1-\alpha)t_0^{-\alpha}}{k_e D_0} + t_0^{(1-\alpha)} \right]^{(1-\alpha)^{-1}} - t_0 \quad (20)$$

Onde:

D_0 – Coeficiente de corrosão em um dado t_0 de referência (m^2/s);

t_0 – Idade do concreto em que se foi aferida a difusividade (s);

α – Fator tempo;

C_{CR} – Concentração de crítica de cloretos (% em relação ao cimento);

C_S – Concentração de cloreto na superfície do concreto (% ao concreto);

t – Instante de tempo em que deseja obter a concentração de cloretos (s);

x – Profundidade de penetração de cloreto (m);

k_e – Efeito da temperatura no coeficiente de difusividade

inv_erf – Inversa da função de erro de Gauss;

No entanto, como visto na equação 16 e 20, para determinação da concentração de cloretos ($C_{(x,t)}$) é necessário o uso da função erro de Gauss (erf). Shewmon (1983) propôs a utilização de um polinômio de 5º grau, conforme equação 21, para a resolução da função erro de Gauss, com um R^2 de 1,00.

$$f(x) = -0,028x^5 + 0,2032x^4 - 0,4314x^3 - 0,0547x^2 + 1,1553x - 0,0016 \quad (21)$$

Logo, para obtenção da inversa da função erro de Gauss é necessário o uso da inversa do polinômio proposto por Shewmon (1983), a qual é expressa na equação 22, que apresenta um $R^2=0,98$ para com a inversa da função erro de Gauss.

$$f(x)=0,325x^5-0,1597x^4+0,2806x^3-0,0063x^2+0,8866x-8*10^{-6} \quad (22)$$

3.1.3 Definição Do Modelo Da Probabilidade De Falha

O modelo de probabilidade de falha se baseia em uma abordagem probabilística onde se analisa a probabilidade de a solicitação superar a resistência. Visando determinar a vida útil frente à penetração de íons cloreto no concreto, a probabilidade de falha ressalta-se na despassivação das armaduras de aço, evento esse que foi usado por Ferreira (2004). O autor ressalta que apesar da despassivação da armadura não significar necessariamente uma manifestação patológica ou anomalia por si só, o fenômeno é necessário para que se inicie o processo corrosivo do aço, sendo assim um parâmetro decisivo para um projeto de durabilidade.

A probabilidade de falha a ser abordada na presente monografia pode ser definida pela equação 23:

$$P_{(t)} = P(C_{x(t)} > C_{CR}) \quad (23)$$

C_{CR} – Concentração de crítica de cloretos (% em relação ao cimento);

$C_{x(t)}$ – Concentração a uma profundidade x em um dado tempo t (% em relação ao cimento);

t – Tempo de serviço;

x – Profundidade da armadura de aço, definida pelo cobrimento da mesma (mm).

Sendo assim a partir da equação 20, aplicada em adaptação à equação 23, define-se o intervalo de tempo médio para ocorrer a despassivação da armadura de aço na janela de ensaio em análise, e ao aplicar a equação 16, obtêm-se as probabilidades de falha para cada período de tempo dentro do intervalo determinado pelo intervalo de tempo médio.

Ferreira (2004) explicita que nenhum modelo é capaz de reproduzir de modo fidedigno a realidade, logo cabe ao engenheiro compreender as especificidades e limitações de cada modelo bem como a interpretação do resultado do respectivo modelo. Porém, o autor considera que o uso de métodos probabilísticos fomenta modelos de predição de vida útil mais confiáveis.

3.1.3.1 Simulação de cenários

Tendo em vista que a metodologia em apresentação nesta monografia se utiliza de estimativas para definições dos inputs das equações, a simulação de Monte Carlo (SMC) se apresenta como modelo probabilístico mais viável para o desenvolvimento da mesma.

A SMC foi utilizada para simulação de 100 cenários distintos com a utilização da média de cada input e variando neste, com uma aleatoriedade distribuída normalmente, o seu respectivo desvio padrão.

Moore e Weatherford (2001) e Lustosa et. al. (2004) apud Saraiva et. al. (2011) sustentam que a SMC pode ser utilizada diante de decisões que envolvam riscos e incertezas.

Diante dessa perspectiva, realiza-se a simulação de cenários dos inputs para a obtenção dos seguintes outputs: resistência à compressão axial (utilização do método SonReb); estimativa da difusividade efetiva de cloretos (utilização do método fenomenológico proposto por Chidiac e Shafikhani (2019) e estimativa do tempo de vida útil de acordo com a equação adaptada da 2ª lei de Fick.

Para determinar a probabilidade de despassivação da armadura de aço embebida no concreto, faz-se inicialmente a simulação de 100 cenários utilizando a equação 20, com este resultado o protótipo determina o intervalo dos períodos de análise e então determina 10 períodos dentro desse intervalo. Em cada período é realizada a simulação de 100 cenários com a utilização da equação 16. Tendo em vista o modelo de falha, se calcula os cenários onde houve a falha, obtendo assim a probabilidade de falha naquele dado período.

3.2 MÉTODO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PRÓTOTIPO

Afim de se obter um produto tangente e útil tanto para o mercado de inspeção e perícias como para o mercado de elaboração de projetos, onde o projeto em concepção abordaria o quesito da durabilidade, desenvolveu-se um protótipo de aplicação mobile na plataforma *PowerApps* da Microsoft com uso da linguagem *Power Fx*, para a validação da proposta metodológica desenvolvida neste trabalho.

A aplicação mobile, foi desenvolvida em parceria com a MM Engenharia e a M&C Engenharia, sendo estas empresas especializadas em perícias e inspeções, atuantes no estado de Sergipe.

3.2.1 Definição Dos Fluxogramas Para O Protótipo Da Aplicação Mobile

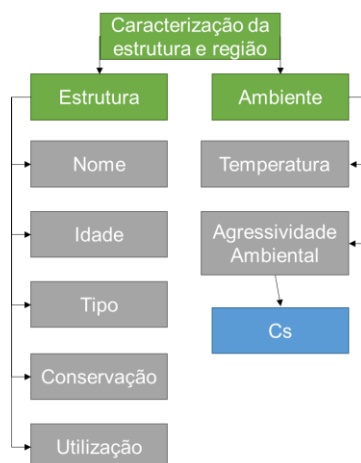
O protótipo de aplicação mobile pode ser dividido em 5 fluxogramas que apresentarão os inputs necessários para cada um dos processos e seus respectivos outputs, são eles:

- Caracterização da estrutura e região;
- Caracterização do elemento e janela de ensaio;
- Simulação dos cenários para f_{ck} estimado a partir da metodologia SonReb;
- Simulação dos cenários do coeficiente de difusividade efetiva de cloretos a partir do método fenomenológico;
- Simulação dos cenários do tempo necessário para haver a concentração crítica em uma dada profundidade.

Nos fluxogramas, as caixas cinzas e azuis representam os inputs que o usuário deverá inserir e os outputs que o aplicativo fornecerá respectivamente. Alguns dos outputs servirão como inputs para outras fases da aplicação.

Na Figura 5 apresenta-se o fluxograma referente à caracterização da estrutura e região. A caracterização da região se dará de modo simples inicialmente, cadastrando apenas as informações mais importantes para o quesito da durabilidade.

Figura 5 – Fluxograma para a caracterização da estrutura e região

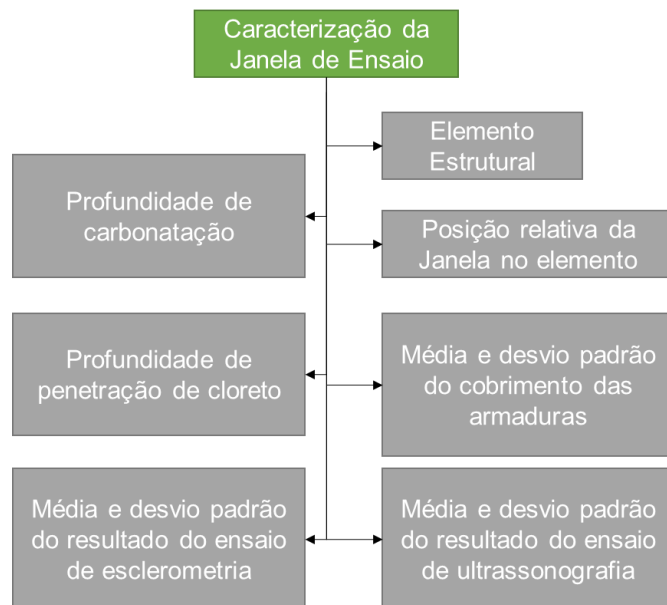


De modo análogo a caracterização da região é de suma importância, uma vez que cadastra a temperatura média da região e a agressividade ambiental de acordo com a NBR 6118:2014, a aplicação por sua vez irá fornecer a concentração superficial de cloretos (C_s).

A concentração superficial de cloretos (C_s) se dará conforme os valores propostos por Gjorv (2017) apresentados na Tabela 4. Ressalta-se que o engenheiro, durante o uso da aplicação, pode considerar valores distintos para concentração superficial de cloretos (C_s) na mesma estrutura, uma vez que se considere a geometria da peça estrutural em análise e a sua posição no ambiente.

A Figura 6 por sua vez apresenta o fluxograma que representa a caracterização da janela de ensaio, a presente proposta metodológica irá trabalhar em função de uma janela de ensaio em um elemento de estrutural em estudo, assim, se obterá o tempo estimado para que haja a concentração crítica de cloreto na profundidade determinada.

Figura 6 – Fluxograma para a caracterização da janela de ensaio



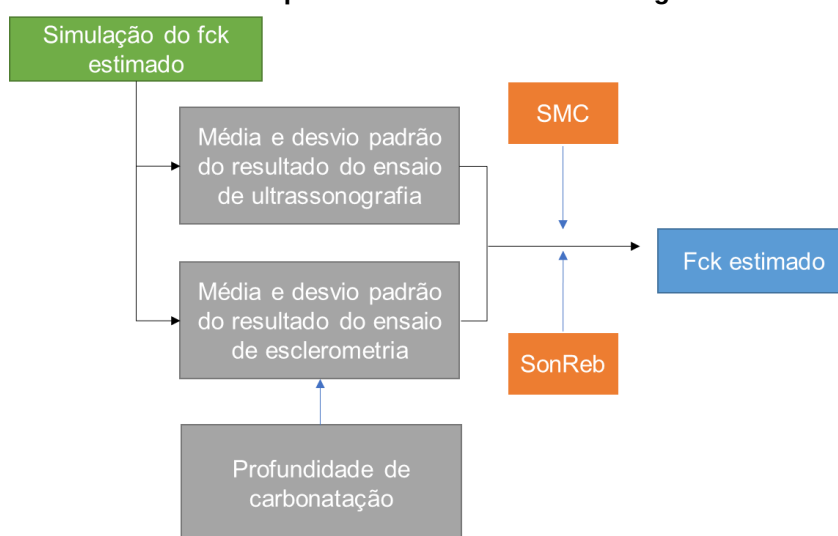
Fonte: Autor (2022)

Os resultados médios e respectivos desvios padrão dos ensaios de pulso ultrassônico em concreto e esclerometria serão utilizados para utilização da metodologia SonReb. Para que se use o fator de correção que considera a influência da carbonatação nos resultados da esclerometria, será necessário determinar a profundidade de

carbonatação, para tal pode-se utilizar o ensaio colorimétrico de aspersão de fenolftaleína, conforme apresentado na Figura 7.

Deve ser obtido, por meio de projeto ou ensaio, o cobrimento médio de concreto das armaduras de aço e seu respectivo desvio padrão. Ressalta-se que o cobrimento considerado para a estimativa da vida útil, não deve estar contaminado por íons cloretos livres, diante disso, deve-se determinar a frente de penetração de cloretos a partir do ensaio colorimétrico de aspersão de nitrato de prata.

Figura 7 – Fluxograma para simulação dos cenários do coeficiente de difusividade efetiva de cloretos a partir do método fenomenológico

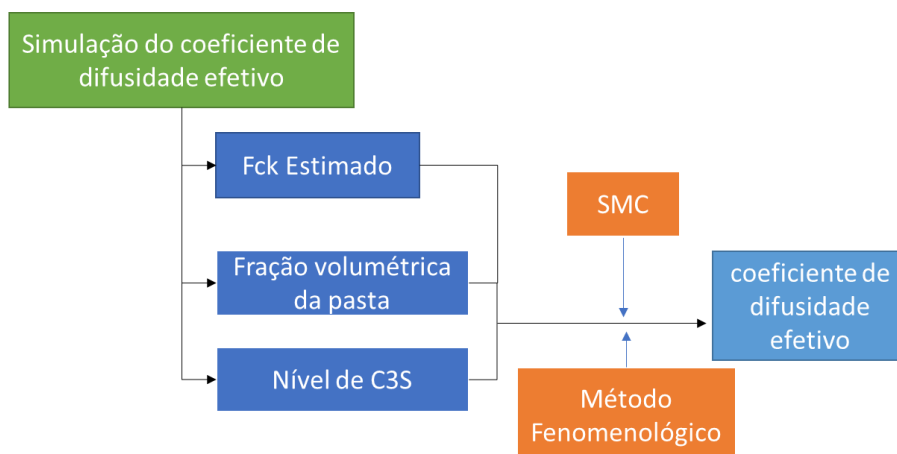


Fonte: Autor (2022)

Com a obtenção dos 100 cenários simulados para o f_{ck} estimado parte-se para a simulação dos 100 cenários simulados do coeficiente de difusividade efetivo de acordo com o uso do modelo fenomenológico proposto por Chidiac e Shafikhani (2019), conforme explicitado na Figura 8. No protótipo desenvolvido neste trabalho somente se considerará concretos sem adições à pasta.

O nível de C_3S fornecido na aplicação mobile será de acordo com a Tabela 3, onde se trará os valores médios de C_3S para cada tipo de cimento. Já para a fração volumétrica de agregados se adotará a média de valores de traços de concreto estudados por Chidiac e Shafikhani (2019) e Oh e Jang (2004), conforme apresentado anteriormente.

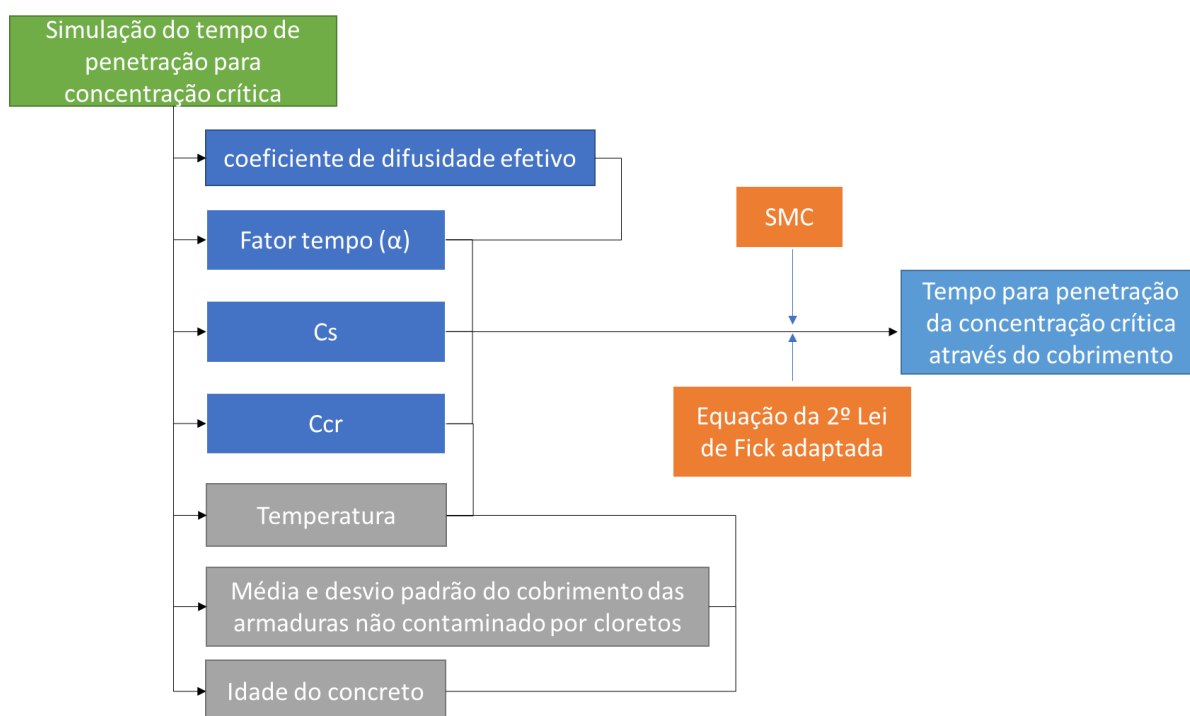
Figura 8 – Fluxograma para simulação dos cenários para fck estimado a partir da metodologia SonReb



Fonte: Autor (2022)

Para a simulação dos cenários da estimativa do tempo para penetração para que haja a concentração crítica de cloretos na profundidade x , a aplicação irá partir dos dados coletados e resultados dos cenários, propor níveis para o fator tempo (α), concentração crítica de cloretos e concentração superficial de cloretos de acordo com a literatura apresentada no presente trabalho (Figura 9).

Figura 9 – Fluxograma para simulação dos cenários do tempo necessário para haver a concentração crítica em uma dada profundidade



Fonte: Autor (2022)

O valor padrão do fator tempo (α) pode ser adotado de acordo com o valor proposto por Gjorv (2017) para ambientes agressivos, conforme discutido anteriormente. O teor crítico de cloretos por sua vez trará os valores expostos na Tabela 1 e na Tabela 2, abordando diversas normas internacionais, bem como o estabelecido pelo CEB (1997) e usado por Gjorv (2017).

O protótipo da aplicação mobile permitirá ao usuário usar ou não as estimativas e modelos oferecidos, sendo útil para inspeções em estruturas que impossibilitem a extração de testemunhos de concreto e em estudos de campo e/ou laboratório que possibilitem a obtenção de valores a partir de ensaios normatizados para caracterização dos materiais.

3.3 ESTUDOS DE CASOS.

De modo a avaliar a performance do protótipo da aplicação mobile em campo e validar o seu uso *in situ*, realizou-se a inspeção de um reservatório elevado de concreto armado, componente do sistema de abastecimento hídrico do Estado de Sergipe e a inspeção de pilaretes de concreto pré-moldados em zona de garagem de um condomínio em Aracaju-SE, com o uso de ensaios não destrutivos (END's), em parceria com a MM Engenharia, empresa do ramo de engenharia diagnóstica especializada em perícias e inspeções com uso de END's.

A definição dos pontos amostrais e metodologias de operação para os ensaios não destrutivos não serão abordados nesta monografia, uma vez que cada usuário pode adotar uma metodologia própria de análise.

Ressalta-se que cada inspeção é única e utiliza de metodologia de ensaio, própria do engenheiro responsável, onde, muita das vezes difere-se de outros engenheiros atuantes na área, em vista disso, o protótipo da aplicação mobile não abordou em seu escopo a metodologia de uso dos END's. No entanto, recomenda-se que o usuário siga o preconizado por normas vigentes para cada respectivo ensaio abordado na aplicação.

Foram realizados os ensaios de detecção magnética de armaduras para avaliação dos cobrimentos, determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica conforme a NBR 8802:2013, avaliação da dureza superficial com esclerômetro de reflexão conforme NBR 7584:2012.

No estudo de caso referente ao reservatório se realizou também a determinação da frente de carbonatação por aspersão de fenolftaleína e determinação da frente de penetração de cloretos por aspersão de nitrato de prata.

Os resultados dos ensaios são apresentados no capítulo 4. Uma vez coletados os dados a partir dos ensaios, estes foram tratados para uso na aplicação e geração do relatório de durabilidade da estrutura.

3.3.1 Estudo De Caso 01: Utilização Do Protótipo Em Inspeção De Pilar De Reservatório Elevado

Para este trabalho, visando apenas a validação, uso e análise dos resultados, foram apenas inspecionadas a região da base dos pilares dos reservatórios, a 1,20 metros de altura do solo com uma janela amostral de 45x50cm. Para análise exemplificação da durabilidade foi considerado apenas 1 pilar.

O reservatório possuía um baixo índice de manifestações patológicas, no entanto já se faziam presentes, no dia da inspeção, manchas alaranjadas escorridas na superfície do concreto dos pilares que indicavam a instalação do processo corrosivo em suas armaduras.

Porém, visando obter a vida útil remanescente e um intervalo de tempo mais apropriado para realização de intervenções, corretivas ou não, procedeu-se com a análise da durabilidade da estrutura.

Figura 10 – Vista geral do reservatório elevado A



Fonte: Autor (2022)

Figura 11 – Realização do ensaio de detecção magnética



Fonte: Autor (2022)

Figura 12 – Realização dos ensaios colorimétricos



Fonte: Autor (2022)

Figura 13 – Realização do ensaio de determinação da velocidade do pulso ultrassônico no concreto



Fonte: Autor (2022)

Figura 14 – Realização do ensaio de determinação da dureza superficial por esclerômetro de reflexão



Fonte: Autor (2022)

3.3.2 Estudo De Caso 02: Utilização Do Protótipo Em Inspeção De Pilar Pré Moldado De Concreto Situado Em Garagem.

Os pilares inspecionados faziam parte do sistema de cobertura da garagem externa, sendo pilares de concreto armado de seção 10x30cm e altura de 2,30m. Foram inspecionadas janelas amostrais de 30x50 a aproximadamente 50cm do solo.

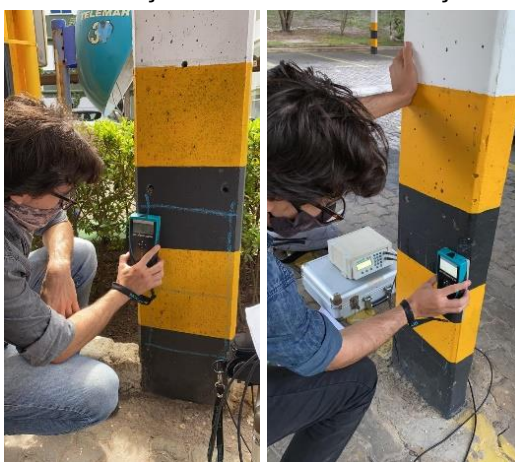
A utilização do protótipo da aplicação neste caso visou determinar o prazo e periodicidade para manutenções preventivas nos pilares. A cargo desta monografia e exemplo da aplicação somente o resultado de um dos pilares será apresentado.

Figura 15 – Vista geral do pilarete da cobertura da garagem



Fonte: Autor (2022)

Figura 16 – Realização do ensaio de detecção magnética



Fonte: Autor (2022)

Figura 17 – Realização do ensaio de determinação da velocidade do pulso ultrassônico no concreto



Fonte: Autor (2022)

Figura 18 – Realização do ensaio de determinação da dureza superficial por esclerômetro de reflexão



Fonte: Autor (2022)

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, se expõem os resultados obtidos neste estudo monográfico. Apresentando-se o produto desenvolvido, sua validação perante à literatura e seu uso em campo respectivamente.

4.1 APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DA APLICAÇÃO MOBILE DESENVOLVIDA

O protótipo de aplicação mobile foi denominado de “ETAC”, acrônimo para “Estimar O Tempo Para Atingir A Concentração Crítica De Cloretos No Concreto”. O protótipo possui as opções de linguagem em português e inglês, estando os resultados também adaptados para esta função. O aplicativo possui as seguintes telas e janelas:

- Tela Inicial;
- Tela de Cadastro;
- Tela do Menu Principal;
 - Galeria de Estruturas;
 - Galeria de Concretos;
 - Galeria de Ambientes;
- Tela de Visualização, Cadastro e Edição de Concretos;
- Tela de Visualização, Cadastro e Edição de Ambientes;
- Tela do Menu da estrutura;
 - Dados principais;
 - Elementos registrados;
- Tela do Menu do Elemento;
 - Dados principais;
 - Galeria das janelas amostrais;
- Tela de Análise da Durabilidade
 - Inserção dos parâmetros de análise;
 - Resultados da análise.

4.1.1 Tela Inicial E De Cadastro.

Na tela inicial o usuário pode realizar o login ou realizar um novo cadastro, ao optar por registrar um novo cadastro no botão “novo usuário”, este é redirecionado para tela de cadastro onde deverá preencher as informações solicitadas:

- Nome de Usuário;
- Senha;

- Nome;
- País;
- Ocupação;
- Instituição;
- Departamento;
- Bio (Uma biografia resumida de até 120 palavras).

Após cadastrado o usuário deve realizar o login com seu usuário e senha registrados, tendo assim acesso aos seus dados salvos localmente no seu respectivo smartphone. A possibilidade do cadastro do usuário mediante senha, reflete o padrão de segurança dos seus dados e projetos, além de possibilitar, no futuro, o compartilhamento de dados e projetos entre usuários (Figuras 19 e 20).

Figura 19 – Tela inicial



Fonte: Autor (2022)

Figura 20 – Tela inicial e Tela de Cadastro

Novo Usuário



Carregar

Nome de Usuário

Senha

Nome

País

Ocupação

Professor Pesquisador 

Instituição

Departamento

Bio

Fonte: Autor (2022)

4.1.2 Tela Do Menu Principal.

Após realizar o login, o usuário é direcionado para a tela de menu principal (Figura 20) onde este pode acessar as galerias de estruturas, ambientes e tipos de concretos salvos. O protótipo da aplicação traz na memória os estudos de casos realizados na presente monografia.

Os ícones do “Globo” e da “Mensagem” estão desativados por não fazerem parte do escopo inicial desta monografia e por não estarem completos dentro do protótipo. O ícone do “Globo” acessaria a rede social interna da aplicação e o ícone de “Mensagem” acessaria a tela de mensagem da aplicação. Essas funções seriam para possibilitar o intercâmbio de informações e estudos entre pesquisadores usuários da aplicação (Figura 21).

Figura 21 – Menu Inicial

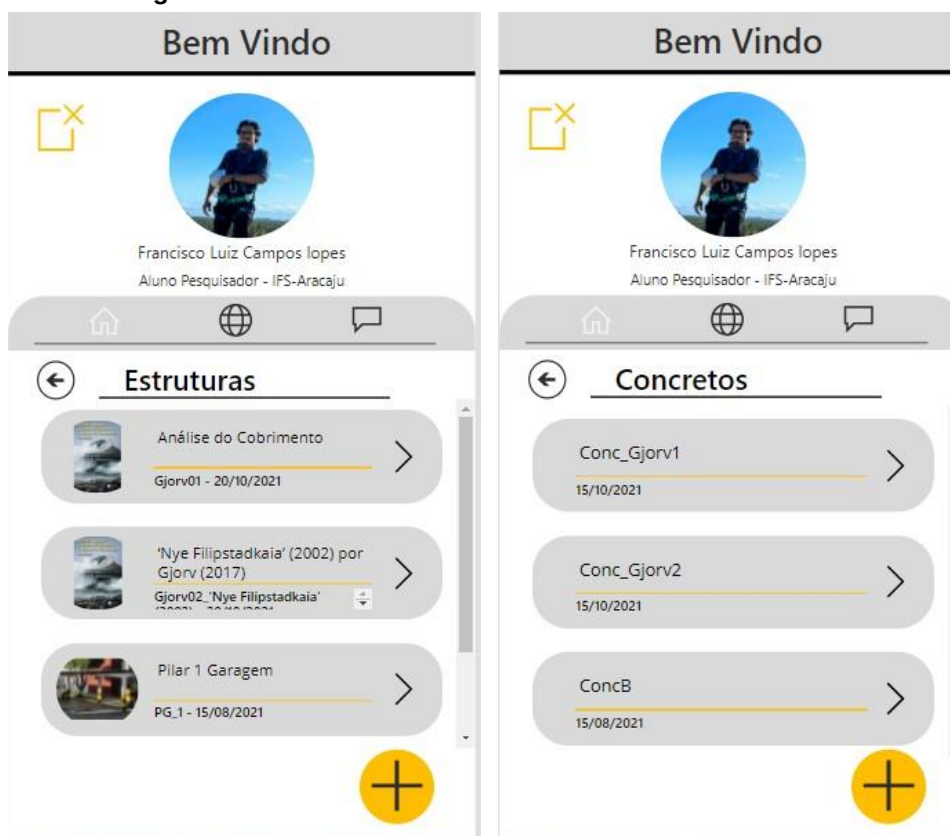


Fonte: Autor (2022)

O menu inicial foi concebido visando uma maior praticidade para o usuário em campo, sendo assim, a utilização de menos informação na tela possibilita o foco e a facilidade no uso.

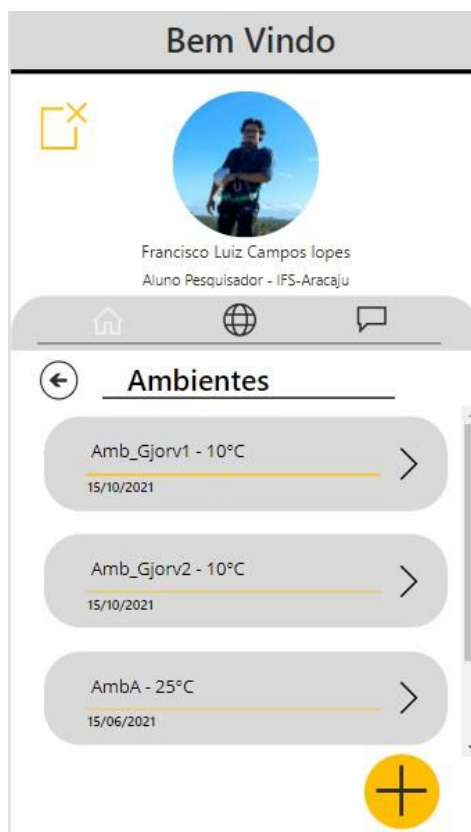
Nos menus secundários de cada galeria se encontram os dados salvos na memória do protótipo com a possibilidade de se criar novos dados, conforme apresentado na Figura 22 e 23.

Figura 22 – Menus Secundários – estruturas e concretos



Fonte: Autor (2022)

Figura 23 – Menus Secundários – ambientes



Fonte: Autor (2022)

4.1.3 Tela de Visualização, Cadastro E Edição de Concretos.

Ao acessar a galeria de “Concretos” (Figura 22) pode-se criar um novo concreto ou acessar as propriedades de um já existente. A Figura 24 apresenta os prints de tela contendo os inputs necessários para o cadastro do concreto, são eles:

- Referência;
- Local;
- Fonte;
- Declarar se as propriedades do concreto são conhecidas (verdadeiro/falso);
- Tipo de cimento;
- Relação água cimento;
- Relação água aglomerante;
- Aditivos incorporados;
- Descrição do traço;
- Valor médio e desvio padrão da resistência à compressão axial do concreto (MPa);
- Valor médio e desvio padrão do coeficiente de difusividade de íons cloreto no concreto (10^{-12}m/s).

Figura 24 – Tela de Cadastro e Edição dos parâmetros do concreto

The figure displays two side-by-side screenshots of a mobile application interface for managing concrete data. Both screens have a header titled "Descrição do Concreto" and a subtitle "Novo Traço de Concreto".

Left Screenshot (Cadastro/Edição):

- Fields: Referência, Local, Fonte.
- Toggle: "As propriedades do concreto são conhecidas?" (currently turned on).
- Section: **Traço do Concreto**
 - Fields: Tipo de cimento, Relação água cimento, Relação água aglomerante, Aditivos Incorporados.
 - Text area: Descrição do traço (with placeholder text: "Descreva as especificidades do traço do concreto").
 - Section: **Resistência à compressão axial (MPa)**
 - Fields: Valor Médio, Desvio Padrão.

Right Screenshot (Cadastro/Edição):

- Fields: Tipo de cimento, Relação água cimento, Relação água aglomerante, Aditivos Incorporados.
- Text area: Descrição do traço (with placeholder text: "Descreva as especificidades do traço do concreto").
- Section: **Resistência à compressão axial (MPa)**
 - Fields: Valor Médio, Desvio Padrão.
- Section: **Coeficiente de Difusividade de Íons Cloretos ($10^{-12} \times \text{m}^2/\text{s}$)**
 - Fields: Valor Médio, Desvio Padrão.
- Button: Save.

Caso as propriedades do concreto não forem conhecidas, os inputs da tela, a partir do controle seletor 'switch', ficarão desabilitadas. Esta opção é para uso em perícias de campo que, seja por tempo, recurso ou ausência de projeto, não possuem informações técnicas sobre o concreto.

Como em uma única estrutura, pode-se existir diferentes concretos com diferentes propriedades (de resistência, durabilidade ou qualidade), o aplicativo registra de modo independente o concreto da estrutura, podendo a vir ser referenciado futuramente no cadastro do elemento estrutural. Desta forma pode-se realizar o mapeamento do concreto de uma estrutura através do app.

O objetivo de se ter uma caracterização completa do concreto é de ter a possibilidade de realizar, através de um conjunto de dados amplo e confiável, inferências sobre as propriedades do concreto e seu respectivo comportamento perante a durabilidade e outros fatores.

4.1.4 Tela de Visualização, Cadastro E Edição De Ambientes.

Através da galeria de “Ambientes” tem-se acesso à tela de cadastro e edição de ambientes. Através dela se declara brevemente informações mais importantes sobre o ambiente e como este se relaciona com a durabilidade da estrutura. São registrados os seguintes parâmetros:

- Referência;
- Local;
- Temperatura (°C);
- Agressividade;
- Descrição.

De modo semelhante à tela de Cadastro e Edição de “Concretos” a Tela de “Ambientes” busca obter dados mais críticos com relação à durabilidade da estrutura e que pudessem formatar um conjunto de dados para inferências e análises (Figura 25).

Figura 25 – Tela de Cadastro e Edição dos parâmetros do Ambiente

A interface de usuário para o cadastro e edição de parâmetros do ambiente. No topo, há uma barra de título com um ícone de seta para trás e o texto "Descrição do Ambiente". Abaixo, o texto "Novo Ambiente" indica o modo de edição. O formulário contém os seguintes campos:

- Referência:** Campo de texto único.
- Local:** Campo de texto único.
- Temperatura (°C):** Campo de entrada numérica.
- Agressividade:** Campo de texto único.
- Descrição:** Campo de texto único.

Na base do formulário, há um botão ovalizado com o texto "Save".

Fonte: Autor (2022)

O registro do “Ambiente” também foi desenvolvido de forma a ficar independente da estrutura, analogamente ao registro do concreto, uma estrutura pode possuir diversos microclimas que podem ser registrados como ambientes, possuindo assim suas próprias características e influências.

4.1.5 Tela do Menu Da Estrutura.

A Tela de menu da estrutura permite o cadastro das informações gerais sobre a estrutura que tenham importância para a caracterização da durabilidade da mesma. O objetivo é descrever de modo mais completo e sucinto possível a estrutura (Figura 26 e 27).

Os Inputs da Tela de menu da estrutura são:

- Referência;
- Nome da Estrutura;
- Vista Geral;
- Latitude & Longitude;
- Data da Inspeção;

- Idade (anos);
- Descrição da Estrutura;
- Descrição do Concreto;
- Descrição do Ambiente.

As informações cadastradas nesta etapa servem de base para subsidiar a elaboração de laudos e/ou relatórios técnico uma vez que registra as informações mais cruciais para caracterização da estrutura. Sendo assim, com tais informações registradas, versões futuras e consolidadas do app podem apresentar ferramentas para exportação de laudos/relatórios completos para o usuário.

Outro objetivo da coleta de dado sobre a estrutura é a de possibilitar o intercâmbio de informações entre usuários, sendo assim, quão mais descrito for a composição e situação da estrutura, maior a possibilidade de inferências e convergências de resultados para com comparativos, sejam estes quantitativos ou qualitativos, sobre a durabilidade da estrutura.

Figura 26 – Cadastro da Estrutura

The screenshot displays a mobile application interface. At the top, a grey header bar contains the text "Bem Vindo". Below this, a user profile is shown with a circular profile picture of a man, the name "Francisco Luiz Campos lopes", and the title "Aluno Pesquisador - IFS-Aracaju". A yellow square icon with a white 'X' is located to the left of the profile picture. Below the profile, a navigation bar contains three icons: a house, a globe, and a speech bubble. The main content area is titled "Estruturas" with a back arrow icon on the left. Below the title, there is a form with two input fields: "Referência" and "Nome". At the bottom left of the form is a circular icon with a white 'X', and at the bottom right is a yellow button labeled "Save!".

Figura 27 – Definição das informações da estrutura

The image displays two side-by-side screenshots of a mobile application interface for defining structure information.

Left Screenshot (Vista Geral):

- Header:** "Estrutura" with a save icon.
- Vista Geral:** A large "ETAC" logo with a yellow "Upload Image" button below it.
- Localização:** A satellite map showing a location near Itaubira, São José, and São Mat. To the right of the map are the coordinates: Latitude -20.2449417 and Longitude -43.778885.
- Form Fields:** "Nome da Estrutura" (containing "Estrutura A") and "Data da Inspeção" (containing "21/11/2021").

Right Screenshot (Form):

- Header:** "Estrutura" with a save icon.
- Map:** A satellite map at the top showing the same location as the left screen.
- Form Fields:**
 - "Nome da Estrutura" (containing "Estrutura A")
 - "Data da Inspeção" (containing "21/11/2021") and "Idade (anos)" (empty)
 - "Descrição da Estrutura" (empty text area)
 - "Descrição do Concreto" (empty text area)
 - "Descrição do Ambiente" (empty text area)

Fonte: Autor (2022)

O protótipo possibilita que o usuário obtenha a localização no momento da inspeção, registrando a latitude e longitude, e disponibilizando a imagem em satélite da região, de acordo com o zoom de preferência do usuário (barra lateral à imagem em satélite). Dessa forma outras informações como, altitude, precipitação, mapa de ventos, dentre outras informações acerca do ambiente da estrutura podem ser obtidas.

Após cadastradas as informações sobre a estrutura, o usuário é redirecionado para a tela de menu de apresentação da estrutura, onde se tem acesso à Aba de Dados e Aba de Elementos. Na Aba de Dados se apresentam as informações coletadas sobre a estrutura (Figura 28).

Figura 28 – Menu da Estrutura – Aba de Dados

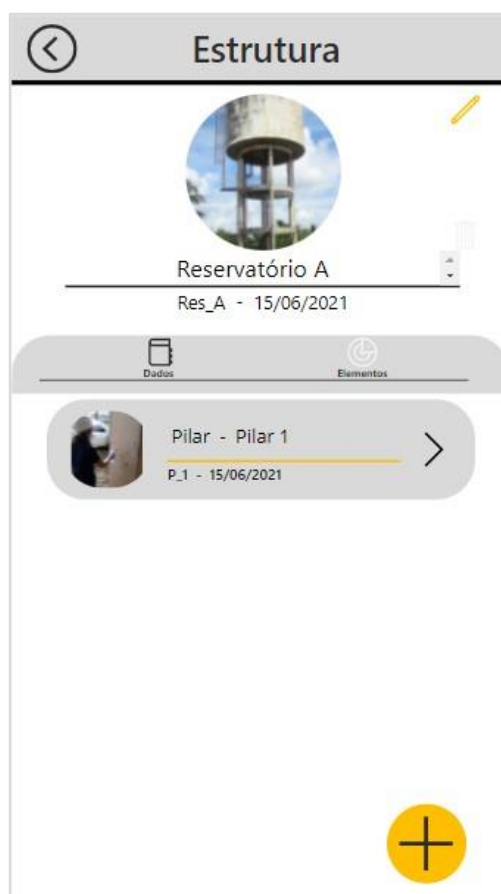


Fonte: Autor (2022)

A descrição da estrutura, concreto e ambiente permite o rastreamento da estrutura e possibilita a inferência com outros projetos, sejam estes semelhantes ou não. Considerando a elaboração de um relatório completo sobre uma estrutura, quanto mais detalhado e específico for sua descrição, melhor será de se analisar causas e efeitos do ambiente sobre essa e vice versa.

Na Aba de Elementos o usuário tem acesso à Galeria de Elementos da estrutura, onde são apresentados os Elementos cadastrados na dada Estrutura. Ao selecionar ou criar um novo Elemento o usuário é redirecionado para a Tela de Menu do Elemento (Figura 29).

Figura 29 – Menu da Estrutura – Aba de Elementos



Fonte: Autor (2022)

4.1.6 Tela do Menu Do Elemento Estrutural.

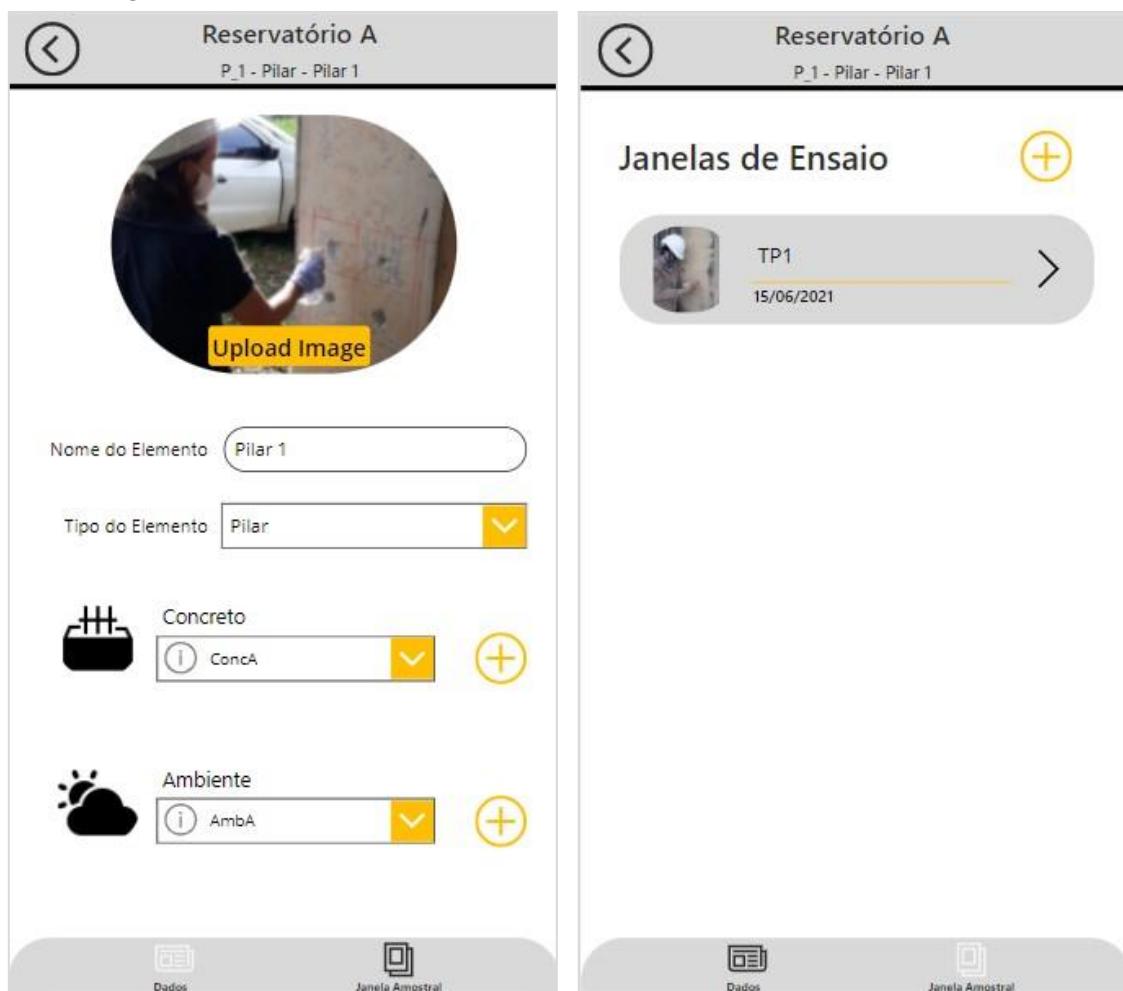
Ao se criar um novo Elemento Estrutural para a Estrutura, se cadastram as seguintes informações sobre o mesmo:

- Nome do Elemento;
- Vista Geral do Elemento;
- Tipo;
- Concreto;
- Ambiente.

O usuário deve declarar o tipo de elemento (pilar, viga, laje ou parede de concreto) e informar qual o concreto de composição do mesmo, podendo adotar um já existente na memória do app ou registrar um novo, o mesmo se aplica à indicação do ambiente onde este inserido.

Na Tela de Menu do Elemento o usuário tem acesso à guia de Dados e à guia de Janela Amostral (Figura 30).

Figura 30 – Menu do Elemento – Guia de Dados e Guia de Janela Amostral



Fonte: Autor (2022)

Na Guia de Janela Amostral se apresenta a Galeria das janelas amostrais de ensaio registradas para o dado Elemento em análise.

O elemento estrutural pode reaver as propriedades dos concretos e ambientes salvos na memória interna. Há a possibilidade de criação de novos concretos ou ambientes a partir do ícone de “mais” ao lado do seletor. Ao clicar no ícone de informações, dentro da caixa de seleção, se expõem as informações sobre o concreto ou ambiente selecionado pelo seletor.

4.1.6 Tela de Análise da Durabilidade

Ao acessar ou criar uma Janela Amostral de Ensaio, o usuário é redirecionado para a Tela de Análise da Durabilidade, onde será realizado o cálculo da probabilidade de despassivação da Janela Amostral em análise em um dado tempo. O usuário deve preencher os seguintes campos:

- Referência da Janela de Ensaio;
- Descrição;
- Idade do concreto no momento da exposição ao ambiente (dias);
- Média e desvio padrão do cobrimento nominal de concreto (mm);
- Profundidade de Cloretos (mm);
- Média e desvio padrão do Fator de dependência do tempo (α);
- Média e desvio padrão da Concentração crítica de cloreto (C_{cr});
- Seletor do tipo da metodologia a ser utilizado quanto ao coeficiente de difusividade de cloreto no concreto;
 - Usar Propriedades do Concreto;
 - Difusividade de um testemunho extraído;
 - Norma;
 - Valor médio;
 - Desvio Padrão;
 - Estimar a difusividade do concreto (Modelo Fenomenológico, Chidiac e Shafikhani, 2019);
 - Fração volumétrica de agregado (V_a);
 - Teor de C_3S ;
 - Seletor do tipo da metodologia a ser utilizado quanto à resistência à compressão axial do concreto f_{ck} (MPa);
 - Usar propriedades do concreto;
 - Corpo de prova extraído;
 - Média;
 - Desvio padrão;
 - Estimar Resistência (Modelo SonReb, Breyse, 2012);
 - Índice Esclerométrico;
 - Norma;
 - Médio;
 - Desvio padrão;
 - Velocidade Ultrassônica (m/s);
 - Norma;
 - Média;
 - Desvio padrão;
- Temperatura Média ($^{\circ}C$);
- Média e Desvio padrão do teor cloretos, C_s (% por peso de aglomerante).

Ao preencher os Inputs referidos acima, o usuário deve pressionar o botão “calculate”, o protótipo então irá rodar os cálculos para: estimar a resistência à compressão axial do concreto; estimar o coeficiente de difusividade de íon cloreto no concreto; traçar o gráfico da probabilidade de despassivação do aço ao longo do tempo; traçar o gráfico do coeficiente de difusividade do íon cloreto no concreto ao longo do tempo (Figura 31).

Figura 31 – Inputs necessários para o cálculo da Durabilidade da Janela Amostral - Propriedades do concreto conhecidas

The image displays two screenshots of a mobile application interface for concrete durability calculations. The left screenshot shows the 'Reservatório A' screen with fields for 'Referência da Janela de Ensaio' (TP1), 'Descrição' (Janela amostral de 45x50cm a 1,20m, concreto com uma fina), 'Idade do concreto no momento da avaliação da difusividade (anos): 28', 'Idade do concreto no momento de exposição ao ambiente (dias): 28', 'Cobrimento nominal de concreto (mm)' (Md: 30,9, Dp: 0,2), 'Profundidade de Cloretos (mm): 0', 'Cobrimento não contaminado por cloretos (mm): 30,9', and 'Fator de dependência do tempo (α)' (Md: 0,4, Dp: 0,08). The right screenshot shows the 'Reservatório A' screen with fields for 'Cobrimento não contaminado por cloretos (mm): 30,9', 'Fator de dependência do tempo (α)' (Md: 0,4, Dp: 0,08), 'Concentração crítica de cloretos (Ccr)' (Md: 0,4, Dp: 0,1), a dropdown menu for 'Estimar a difusividade do concreto' (selected), 'Fração volumétrica de agregados (V_a)' (Média: 0,6091, Dp: 0,0441), 'Teor de C3S' (Média: 0,45, Dp: 0,01), and 'Resistência do Concreto - f_{ck} (MPa)' (Estimar Resistência).

Fonte: Autor (2022)

O usuário deve informar como irá prosseguir quanto às informações sobre o coeficiente de difusão do íon cloreto. A partir da caixa seletora, o usuário escolhe entre:

- Usar as Propriedades do Concreto;
- Difusividade de um testemunho extraído;
- Estimar a difusividade do concreto.

Ao selecionar a opção de “Usar as Propriedades do Concreto”, será considerado para o cálculo, o coeficiente de difusão salvo para o concreto previamente cadastrado e escolhido para o elemento estrutural em análise.

Ao optar por “Difusividade de um testemunho extraído”, o usuário deve informar a norma do ensaio que foi utilizado para determinar o coeficiente de difusão iônica, bem como a média e o desvio padrão obtido através do ensaio (Figura 32).

Figura 32 – Inputs necessários para o cálculo da Durabilidade da Janela Amostral - Propriedades do concreto conhecidas e Propriedades de um corpo de prova extraído.

Fonte: Autor (2022)

Cabe salientar que, uma vez que o aplicativo realize a estimativa através da Simulação de Monte Carlo, quão maior for o desvio padrão, de menor qualidade e confiança será a estimativa pois, esta assumirá valores discrepantes e distantes entre si, não oferecendo ao final, uma curva de vida-útil satisfatória e confiável.

Nos casos onde não se tem as informações sobre as propriedades do concreto, o protótipo estima a resistência do concreto através da metodologia SonReb com uso da equação proposta por Breyse (2012) e o coeficiente de difusividade pelo método fenomenológico desenvolvido por Chidiac e Shafikhani (2019).

Nesse caso o usuário deve selecionar a opção “Estimar a difusividade do concreto”, onde terá de preencher os inputs. Para o modelo fenomenológico (Chidiac e Shafikhani, 2019), o usuário pode sentir um pouco de dificuldade quanto aos inputs, no entanto, ao clicar no ícone de informações (lado esquerdo do nome do input) o usuário tem acesso a um breve texto referenciado e ao valor padrão usual. Os valores padrões usuais foram definidos previamente no capítulo da metodologia (Figura 33).

Figura 33 – Inputs necessários para o cálculo da Durabilidade da Janela Amostral – Estimar o coeficiente de Difusão de cloretos no concreto

The image displays two side-by-side screenshots of a mobile application interface for estimating concrete durability. Both screens show the 'Reservatório A' screen with the 'Pilar - Pilar 1 - TP1' section. The left screen shows the 'Modelo Fenomenológico (Chidiac and Shafikhani, 2019)' section with inputs for 'Fração volumétrica de agregados (Va)' (Média: 0,6091, Dp: 0,0441), 'Teor de C3S' (Média: 0,45, Dp: 0,01), 'Resistência do Concreto - fck (MPa)' (Usar Propriedades do concreto), and 'Condições do Ambiente' (AmbA, Temperatura Média (°C): 25). The right screen shows the same section but with 'Corpo de Prova Extraído' selected for 'Resistência do Concreto - fck (MPa)'. Both screens have a bottom navigation bar with 'Parâmetros' and 'Resultados' tabs.

Fonte: Autor (2022)

Como o modelo fenomenológico necessita da resistência à compressão axial do concreto, o usuário pode optar por:

- Usar Propriedades do concreto;
- Corpo de Prova Extraído;
- Estimar Resistência.

As opções de “Usar Propriedades do concreto” e “Corpo de Prova Extraído” são semelhantes às opções referentes ao coeficiente de difusão (Figura 34). Para com a opção de “Estimar Resistência” o protótipo faz uso da metodologia SonReb, a partir da equação proposta por Brevsse (2012), neste caso deve-se informar os resultados obtidos no ensaio de avaliação de dureza superficial por esclerômetro de reflexão (NBR 7584:2012) e no ensaio de determinação da velocidade ultrassônica no concreto (NBR 8802:2013).

Figura 34 – Inputs necessários para o cálculo da Durabilidade da Janela Amostral – Estimar a resistência à compressão axial do concreto.

Reservatório A
Pilar - Pilar 1 - TP1

Resistência do Concreto - fck (MPa)
Estimar Resistência

**Modelo SonReb
(Brevsse, 2012)**

Índice Esclerométrico
Norma: NBR 7584:2012
Md: 40,7 Dp: 0,9
Prof. de Carbonat. (mm): 0

Velocidade Ultrassônica (m/s)
Norma: NBR 8802:2013
Md: 3623,0 Dp: 71,5

Condições do Ambiente
AmbA
Temperatura Média (°C): 25

Parâmetros Resultados

Fonte: Autor (2022)

Na aba de resultados, o usuário visualiza todos os parâmetros que foram considerados para análise da durabilidade da estrutura.

O ETAC fornece como resultado principal o gráfico de probabilidade de despassivação das armaduras de concreto ao longo do tempo (Figura 35). O protótipo também calcula a variação do coeficiente de difusão iônica do cloreto no concreto ao longo do tempo, o que permite ao usuário inferir sobre o comportamento das propriedades de durabilidade do concreto ao longo do tempo (Figura 36).

A cada vez que o botão de calcular for pressionado, uma nova simulação será calculada e assim novos gráficos serão plotados. Parte do usuário a análise do gráfico para definição da probabilidade que este achar mais significativa para o seu modelo de durabilidade.

Figura 35 – Aba de resultados – Gráfico da probabilidade da despassivação do aço ao longo do tempo.



Fonte: Autor (2022)

Figura 36 – Aba de resultados – Gráfico do coeficiente de difusão do íon cloreto no concreto ao longo do tempo.



Fonte: Autor (2022)

4.2 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO APLICAÇÃO MOBILE MEDIANTE À ESTUDOS DA LITERATURA

Para avaliar a precisão e acurácia e se obter uma confiabilidade comparativa do protótipo de aplicação mobile quanto a determinação da probabilidade da despassivação das armaduras de aço embebidas em concreto, buscou-se realizar testes com cenários já estudados pela literatura acerca do assunto.

Adotou-se as análises desenvolvidas através dos estudos realizados por Gjorv (2017) com uso do software DURACON (2004) desenvolvido por Ferreira (2004). Tais análises são aceitas pela comunidade científica e representam um comparativo ideal para o protótipo desenvolvido.

4.2.1 Análise Da Influência Do Cobrimento Nominal Na Durabilidade

Gjorv (2017) avaliou a influência do aumento do cobrimento nominal do concreto na probabilidade de despassivação das armaduras de aço devido a íons cloreto, mediante uso do software *DURACON* (2004). Com uso dos mesmos parâmetros (Tabela 5), avaliou-se de modo comparativo o resultado oferecido pelo *ETAC* com o exposto por Gjorv (2017), conforme Figuras 38 e 37 respectivamente.

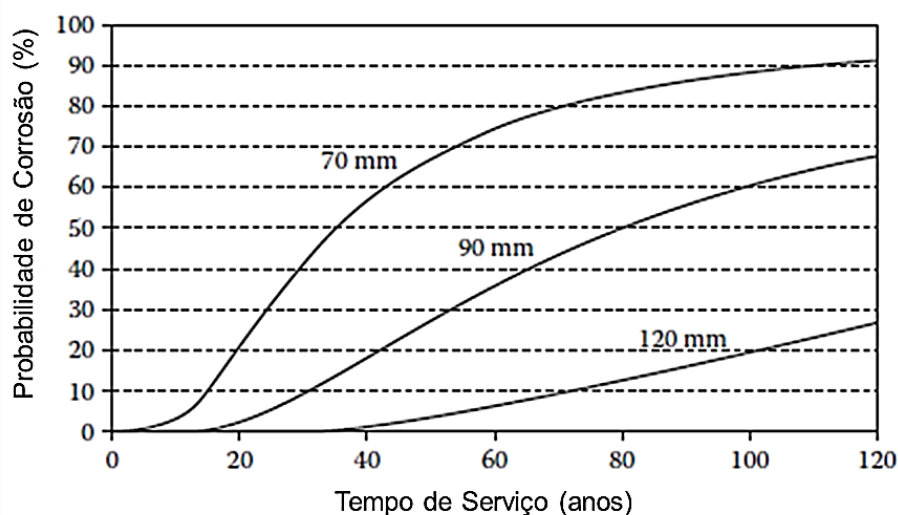
Tabela 5 –Parâmetros para análise da influência do cobrimento nominal na probabilidade de despassivação

	Média	Desvio Padrão
Temperatura (°C)	20	-
Coeficiente de difusão do concreto ($D_{28} 10^{-12} \times m^2/s$)	6,0	0,64
Fator tempo (α)	0,4	0,08
Concentração crítica de cloretos (% em relação ao cimento)	0,4	0,10
Concentração superficial de cloretos (% em relação ao cimento)	5,5	1,3
Cobrimento (mm)	70	6
	90	6
	120	6

Fonte: Adaptado de Gjorv (2017)

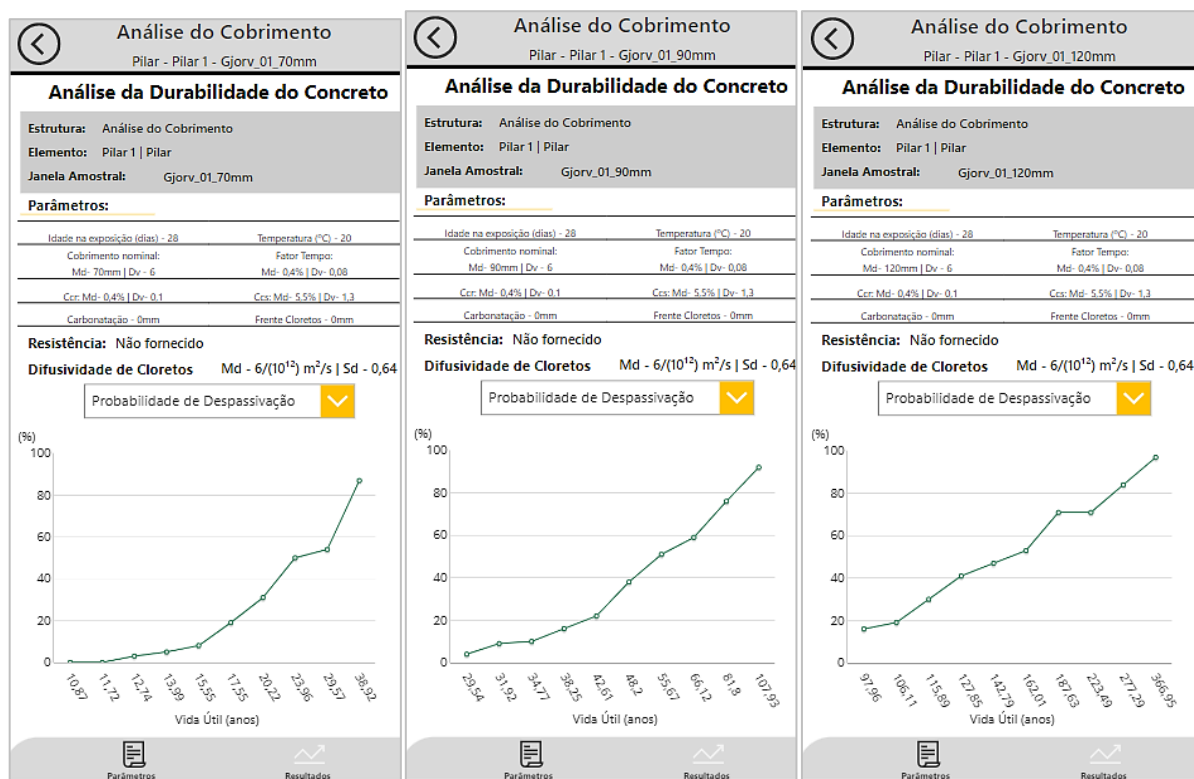
A percepção do uso do software e do protótipo neste tipo de caso, sugere a possibilidade do uso em projetos de durabilidade para empreendimentos novos. Assim o engenheiro tem a possibilidade de avaliar se a sua estrutura estaria realmente apta para o dado cenário perante à corrosão estrutural devido a íons cloreto. O mesmo poderia ser feito para manuais ou guias de manutenção condominial, apresentando o período recomendado para realização de inspeções e ou intervenções na estrutura.

Figura 37 – Influência do cobrimento nominal na probabilidade de corrosão obtido por Gjorv (2017) com uso do *DURACON* (2004)



Fonte: Adaptado de Gjorv (2017)

Figura 38 – Influência do cobrimento nominal no tempo de vida útil obtido através do ETAC – 70, 90 e 120 mm



Fonte: Autor (2022)

Nota-se que os resultados obtidos pelo software e pelo protótipo são semelhantes quando a probabilidade de despassivação é igual a 20%, variando menos que 15%, conforme exposto na Tabela 6:

Tabela 6 –Comparativo dos resultados obtidos por Gjorv (2017) e pelo ETAC para com a análise da influência do cobrimento nominal de concreto

Cobrimento nominal (mm)	Probabilidade de despassivação	ETAC (2022)	Gjorv (2017)	Variação
70	20%	17,55 anos	20 anos	12,25%
	40%	~22 anos	~30 anos	26,6%
	60%	~30 anos	~40 anos	25%
90	20%	42,61 anos	~40 anos	6,52%
	40%	48,20 anos	~65 anos	25,84%
	60%	66,12 anos	~98 anos	32,53%
120	20%	106,11 anos	100 anos	6,11%
	40%	127,85 anos	-	-
	60%	~187,63 anos	-	-

Fonte: Autor (2022)

Tendo em vista o uso tanto do software quanto do protótipo para tomada de decisões para com inspeções e/ou intervenções, estes se apresentam semelhantes e

complementares, podendo ser usados de forma individual ou para convalidação dos resultados.

4.2.2 Aplicação Prática Da Literatura - Terminal de Containers I, 'Nye Filipstadkaia'

Objetivando a análise comparativa de uma aplicação prática, utilizou-se o estudo realizado por Gjorv (2017) acerca do Terminal de Containers I, 'Nye Filipstadkaia', no Porto de Oslo, Noruega, em 2002. Adotou-se os mesmos valores e parâmetros considerados pelo autor (Tabela 7), no intuito de se identificar divergência nas análises feitas a partir dos resultados obtidos através do *DURACON* (2004) e do *ETAC*, conforme Figuras 40 e 39 respectivamente.

Tabela 7 –Parâmetros utilizados para análise da durabilidade do Terminal de Containers do porto de Oslo em 2002 (Gjorv, 2017)

	Média	Desvio Padrão
Temperatura (°C)	10	-
Coeficiente de difusão do concreto ($D_{28} 10^{-12} \times \text{m}^2/\text{s}$)	6,0	0,6
Idade do concreto no período do teste (dias)	28	-
Idade do concreto no período de exposição (dias)	28	-
Fator tempo (α)	0,4	0,08
Concentração crítica de cloretos (% em relação ao cimento)	0,4	0,10
Concentração superficial de cloretos (% em relação ao cimento)	3,8	0,9
Cobrimento (mm)	65	7

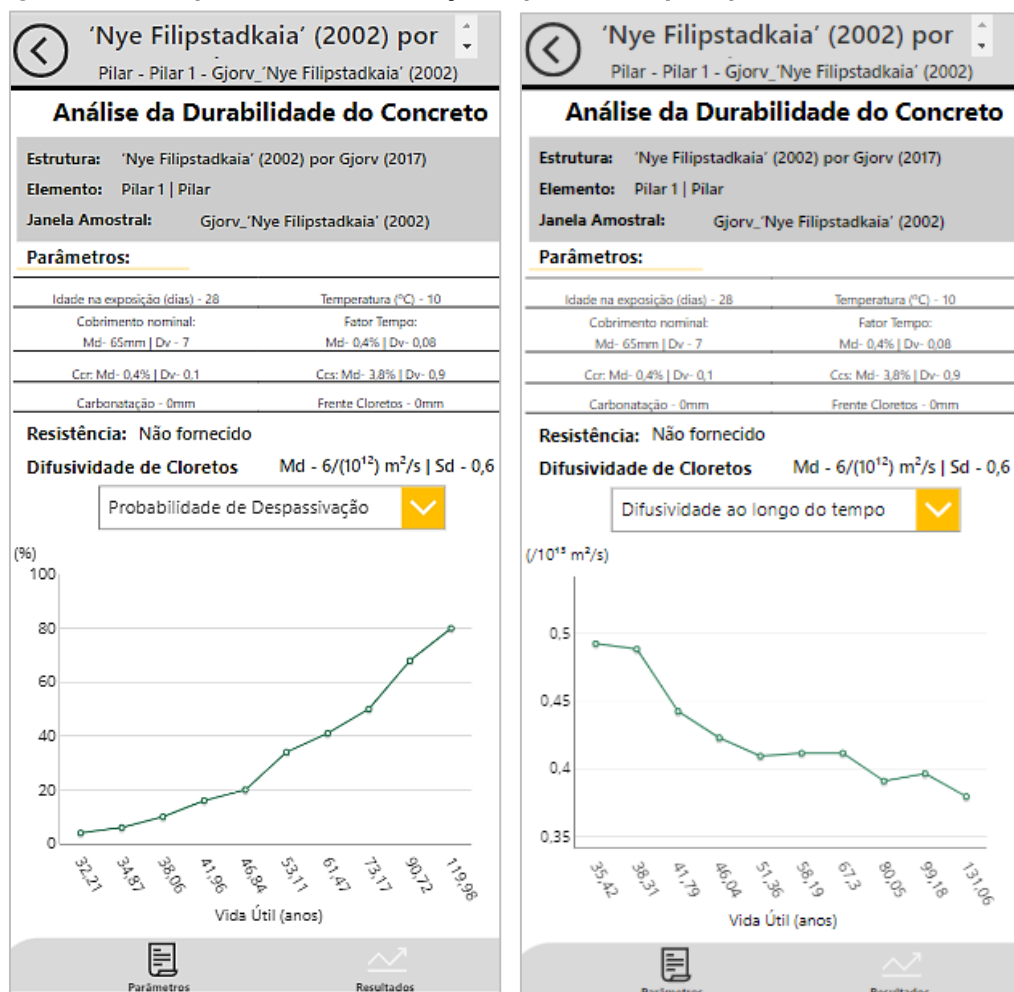
Fonte: Adaptado de Gjorv (2017)

Figura 39 –Probabilidade de corrosão do 'Nye Filipstadkaia' (2002) obtido por Gjorv (2017) com uso do *DURACON* (2004)



Fonte: Adaptado de Gjorv (2017)

Figura 40 – Tempo de vida útil do ‘Nye Filipstadkaia’ (2002) obtido através do ETAC



Fonte: Autor (2022)

A partir dos resultados obtidos respectivamente pelo software *DURACON* (2004) e pelo protótipo *ETAC* verifica-se que os resultados convergem ao longo da vida útil, isto é, com uma maior probabilidade de despassivação, conforme Tabela 8.

Tabela 8 –Comparativo dos resultados obtidos por Gjorv (2017) e pelo ETAC para o tempo de vida útil do ‘Nye Filipstadkaia’ (2002)

Probabilidade de despassivação	ETAC (2022)	Gjorv (2017)	Variação
10%	38,06 anos	~27 anos	40,96%
20%	46,84 anos	~38 anos	23,26%
30%	~50 anos	~45 anos	11,11%
40%	61,47 anos	~55 anos	11,76%
50%	73,17 anos	~65 anos	12,57%
60%	~80 anos	~82 anos	2,44%
70%	90,72 anos	-	-
80%	119,98 anos	-	-

Fonte: Autor (2022)

O gráfico da difusividade do íon cloreto no concreto ao longo do tempo, fornecido pelo ETAC permitiu avaliar a influência do fator tempo no cálculo da probabilidade de despassivação do aço, paralelamente pode se avaliar o comportamento da durabilidade do concreto ao longo do tempo.

4.3 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO APLICAÇÃO MOBILE *IN SITU*: ESTUDO DE CASO

O protótipo da aplicação mobile foi validado em campo a partir da inspeção de um reservatório de concreto armado e de um pilar de concreto pré-moldado, componente de uma garagem condominial.

Foi utilizado como ferramenta um *Smartphone* com o sistema operacional tipo Android. O protótipo funcionou de modo leve e rápido no *Smartphone*, não apresentando nenhum travamento ou perda de dados.

O ETAC possibilitou a estimativa do coeficiente de difusividade do íon cloreto nos concretos, pelo método fenomenológico desenvolvido por Chidiac e Shafikhani (2019), e a estimativa da resistência à compressão dos concretos através do modelo SonReb com uso da equação proposta por Breysse (2012).

Como os concretos tinham suas propriedades desconhecidas, os parâmetros da “Fração volumétrica de agregados (V_a)” e “Teor de C_3S ” foram baseados nas médias obtidas a partir dos dados de Chidiac e Shafikhani (2019) e Oh e Jang (2004) e a partir da revisão das normas referentes a cimentos adaptado de Skalny *et. al.* (2002) *apud* Ferreira (2013), respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9 –Parâmetros para estimar o coeficiente de difusividade do íon cloreto no concreto

Parâmetros	Média	Desvio Padrão
Fração volumétrica de agregados (V_a)	0,6091	0,0441
Teor de C_3S	0,45	0,01

Fonte: Autor (2022)

4.3.1 Análise Dos Resultados Do Reservatório A

O reservatório tipo cilíndrico de concreto armado A, localizado nas coordenadas: 10°14'33.13"S e 37°8'51.69"O (Datum WGS84), encontrava-se em uso sendo este para fornecimento de 7 povoados no interior de Sergipe com capacidade de 100m³.

O reservatório de 28 anos era composto de 4 pilares de seção 20x45 cm. A agressividade ambiental em que este estava submetida foi considerada fraca uma vez que se encontrava em região rural, no entanto possuía o ataque por cloretos devido à água tratada com altos teores de cloro.

A superfície de concreto dos pilares na região à 1,20m do solo se apresentava com algumas brocas e defeitos de concretagem em sua superfície, a mesma possuía um revestimento de pintura a base de cal. Algumas regiões apresentavam manchas oriundas de escoamento constante de água, no entanto no momento da inspeção não se detectou vazamentos no reservatório.

Figura 41 – CAD 3D do reservatório A



Fonte: Autor (2022)

Foi observado ao longo dos pilares fissuras e trincas longitudinais, além de pequenas manchas alaranjadas, indicativos de que o processo de corrosão estrutural já teria se instalado nos pilares.

Somente se coletou a amostra do pó do concreto para análise da presença de cloretos e de presença de carbonatação até 2,0 cm. Todos os pilares estavam contaminados por cloretos e carbonatados, no entanto procedeu-se com a análise de durabilidade uma vez que esta pudesse inferir um possível intervalo de tempo para manutenções corretivas.

Como o reservatório já apresentava sinais de corrosão nos seus pilares, decidiu-se realizar a análise da durabilidade simulando o seu comportamento durante a sua vida útil desde sua concepção, isto é, adotou-se uma idade da estrutura de 28 dias e sem frentes de contaminação no cobrimento do concreto, para que assim, pudesse se inferir sobre o resultado da estimativa do protótipo e o caso real do reservatório.

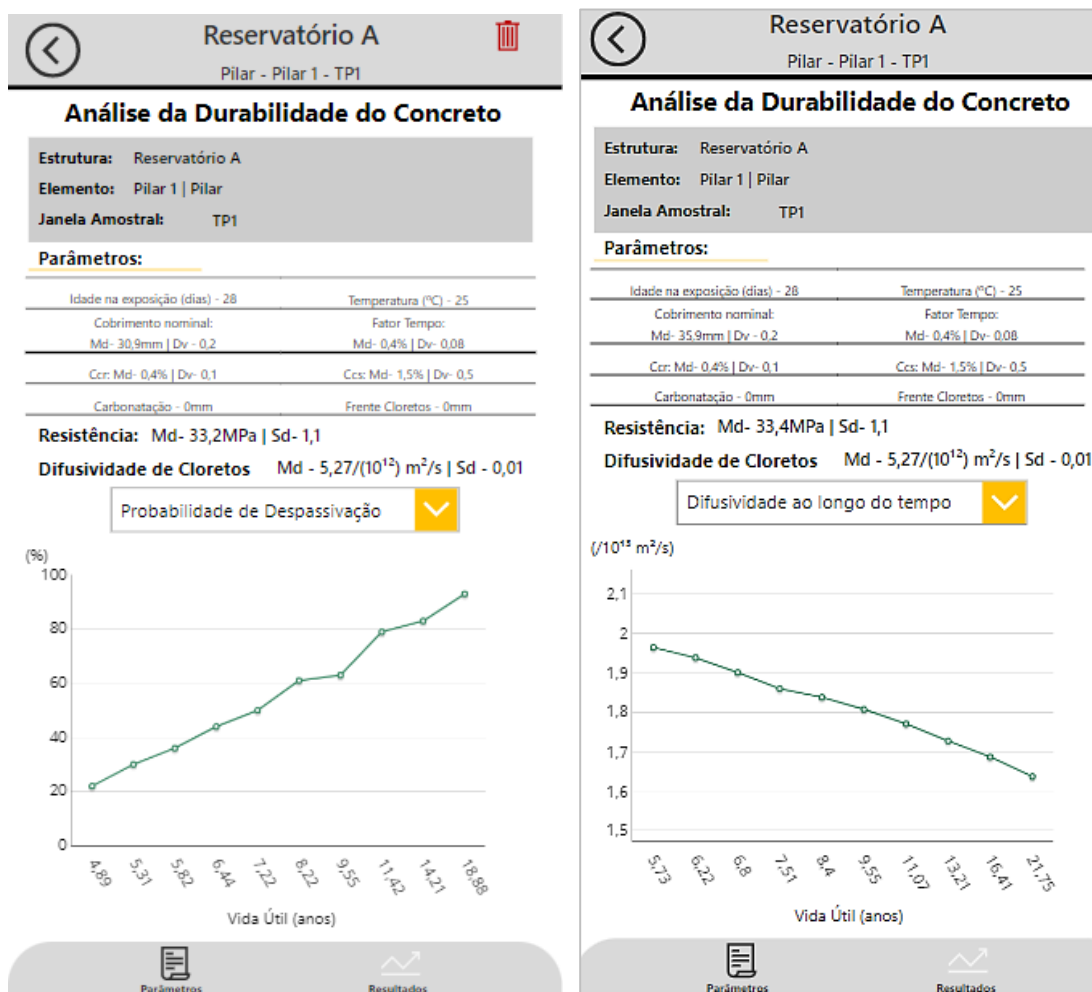
A Tabela 10 apresenta os parâmetros considerados para a estimativa do tempo de vida útil do reservatório A. Considerou-se uma concentração superficial de cloretos baixa, uma vez que o ambiente onde estava situada a estrutura não apresentava uma atmosfera salina no tocante à presença de íons cloreto.

Tabela 10 –Parâmetros para análise da durabilidade da base do Pilar 1 do reservatório A

Parâmetros	Média	Desvio Padrão
Cobrimento das armaduras (mm)	35,9	0,2
Velocidade pulso ultrassônico (m/s)	3623	71,5
Índice esclerométrico	40,7	0,9
Profundidade de carbonatação	0,0	-
Presença de cloretos	0,0	-
Temperatura (°C)	25	-
Idade do concreto no período do teste (anos)	28	-
Idade do concreto no período de exposição (dias)	28	-
Fator tempo (α)	0,4	0,08
Concentração crítica de cloretos (% em relação ao cimento)	0,4	0,10
Concentração superficial de cloretos (% em relação ao cimento)	1,5	0,5

Fonte: Autor (2022)

Figura 42 – Resultado da probabilidade de despassivação gerado pelo ETAC.



Fonte: Autor (2022)

Tabela 11 – Análise da probabilidade de despassivação da base do Pilar 1 do reservatório A dado pelo ETAC.

Tempo de Serviço	Probabilidade de despassivação do aço
4,89 anos	22%
5,31 anos	30%
5,82 anos	36%
6,44 anos	44%
7,22 anos	50%
8,22 anos	61%
9,55 anos	63%
11,42 anos	79%
14,21 anos	83%
18,88 anos	93%

Fonte: Autor (2022)

Foi obtido um f_{ck} estimado de média igual a 33,4 MPa e desvio padrão de 1,1 MPa e um coeficiente de difusividade de íon cloreto igual a $5,27 \cdot 10^{-12}$ m²/s com um desvio padrão de $0,01 \cdot 10^{-12}$ m²/s.

O gráfico da probabilidade de despassivação do aço no concreto gerado pelo ETAC, sugere que o reservatório deveria passar por inspeções periódicas a cada 5 anos, já que neste tempo, apresentaria uma probabilidade de 20% de já se ter iniciado o fenômeno da despassivação nas armaduras da base do pilar.

No entanto, para uma idade superior a 18 anos, já se teria uma probabilidade de mais de 90% para a despassivação das armaduras, paralelamente, como se consta nos pilares de 28 anos através das manchas alaranjadas e fissuras e trincas longitudinais, estes já teriam sua vida útil encerrada.

Portanto, o resultado apresentado pelo protótipo se assemelhou com o obtido em campo, assim pode-se considerar que a despassivação ocorreu com aproximadamente 18-20 anos e com mais 8 a 10 anos de serviço a corrosão eletroquímica ocasionou o trincamento dos pilares e expulsamento dos produtos de corrosão (corrimento marrom/alaranjado nas faces dos pilares).

Figura 43 – Trincas e pequenos deslocamentos nos pilares do reservatório A.

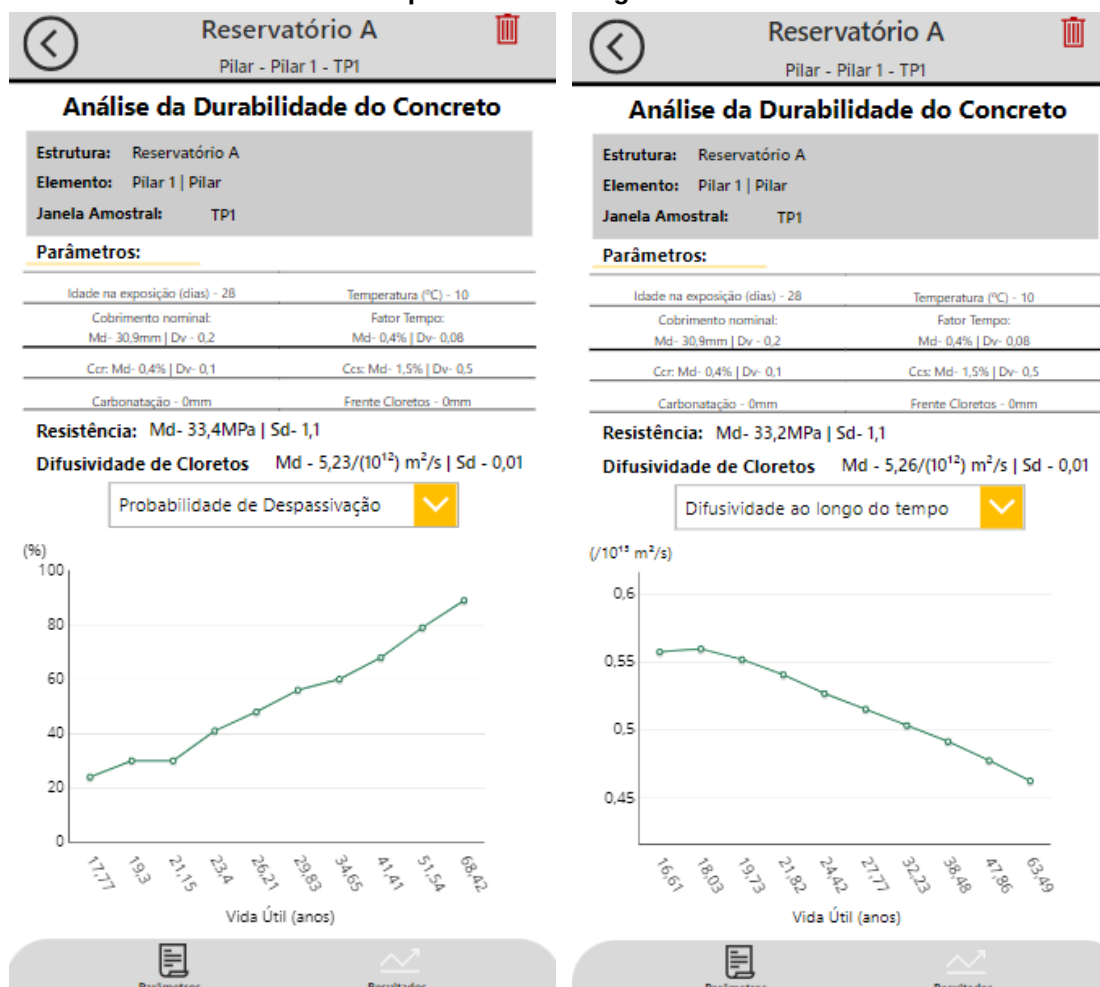


Fonte: Autor (2022)

Objetivando analisar a influência da temperatura na estimativa da probabilidade de despassivação ao longo do tempo de serviço, realizou-se 5 simulações adotando as temperaturas médias de: 22°C, 19°C, 16°C, 13°C e 10°C.

A Figura 44 apresenta o gráfico da probabilidade de despassivação do aço obtido pelo ETAC para uma temperatura média de 10°C, enquanto que a Tabela 12 apresenta os tempos de serviço obtidos pelo ETAC, para uma probabilidade de despassivação igual a 30%, 60% e 80%, de cada temperatura média simulada.

Figura 44 – Resultado da probabilidade de despassivação gerado pelo ETAC (2022), com temperatura média igual a 10°C.



Fonte: Autor (2022)

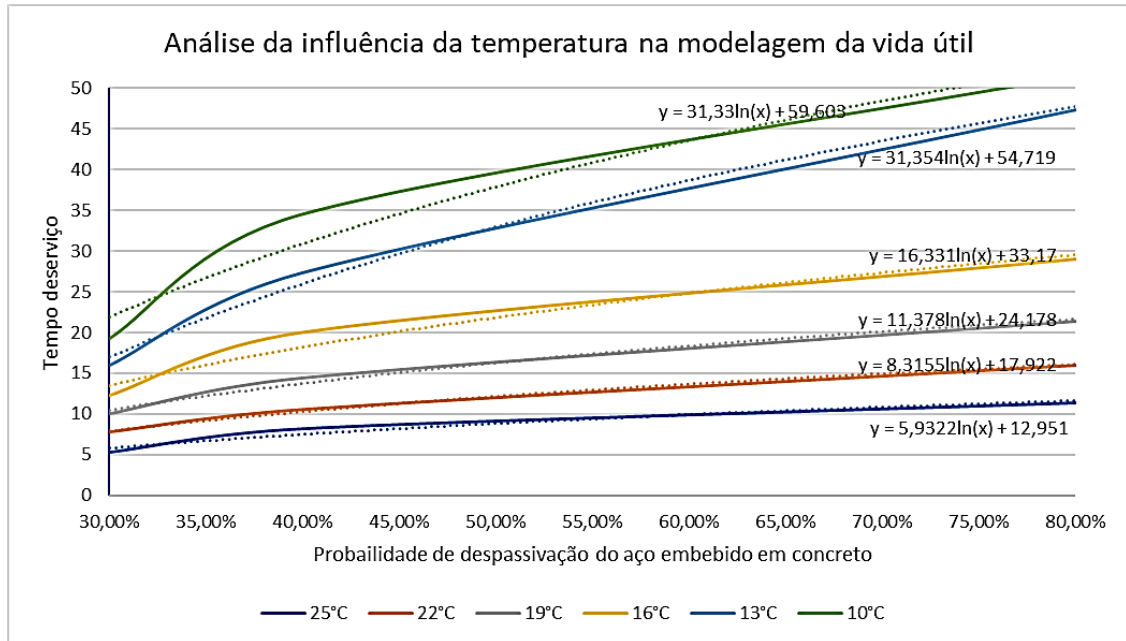
Tabela 12 – Análise da variação da temperatura média na probabilidade de despassivação da base do Pilar 1 do reservatório A, dado pelo ETAC.

Temperatura	Probabilidade de despassivação do aço	Tempo de Serviço (anos)
22°C	30%	7,75
	60%	10,53
	80%	16
19°C	30%	10
	60%	14,43
	80%	21,44
16°C	30%	12,24
	60%	20
	80%	29
13°C	30%	16
	60%	27,36
	80%	47,32
10°C	30%	19
	60%	34,55
	80%	51,54

Fonte: Autor (2022)

O gráfico da Figura 45 apresenta os valores da Tabela 12. Os coeficientes de angulação das linhas de tendência logarítmicas permitem inferir que quão menor a temperatura maior será a vida útil da estrutura, uma vez que o coeficiente aumenta no caso de uma menor temperatura.

Figura 45 – Gráfico da influência da temperatura na modelagem da vida útil



Fonte: Autor (2022)

Na análise pode-se inferir que em temperaturas médias elevadas, a despassivação ocorrerá em menor período de tempo, indicando que o fluxo de íons cloreto seja catalisado pelo aumento temperatura, enquanto que em temperaturas médias mais baixas, a penetração do cloreto é dificultada, apresentando um maior tempo de serviço.

Na hipótese do reservatório A estar localizado em uma região de temperatura média igual a 10°C, o ETAC aponta uma probabilidade de 30% de despassivação da armadura aos 20 anos de serviço da estrutura, sendo uma vida útil quase 3 vezes maior do que em um ambiente com temperatura média de 25°C.

4.3.1 Análise Dos Resultados Do Pilar Pré Moldado De Concreto

O pilar de concreto pré moldado era componente do sistema estrutural de uma garagem em condomínio fechado situado no centro urbano de Aracaju-SE. Não se observou nenhuma manifestação patológica evidente no pilar.

Como não foi autorizada a extração de material do concreto, não foi possível aferir a profundidade de cloretos nem a frente de carbonatação existente. No entanto, objetivou-se identificar o período ideal para realizações de inspeções e/ou intervenções nos pilares da garagem. A Tabela 13 apresenta os parâmetros utilizados para a análise da durabilidade do elemento.

Tabela 13 – Parâmetros utilizados para análise da durabilidade do pilar de concreto pré moldado situado em garagem.

	Média	Desvio Padrão
Cobrimento das armaduras (mm)	30,9	0,3
Velocidade pulso ultrassônico (m/s)	4341,7	6,3
Índice esclerométrico	43,7	2,6
Temperatura (°C)	25	-
Idade do concreto no período do teste (anos)	28	-
Idade do concreto no período de exposição (dias)	28	-
Fator tempo (α)	0,4	0,08
Concentração crítica de cloretos (% em relação ao cimento)	0,4	0,10
Concentração superficial de cloretos (% em relação ao cimento)	1,5	0,5

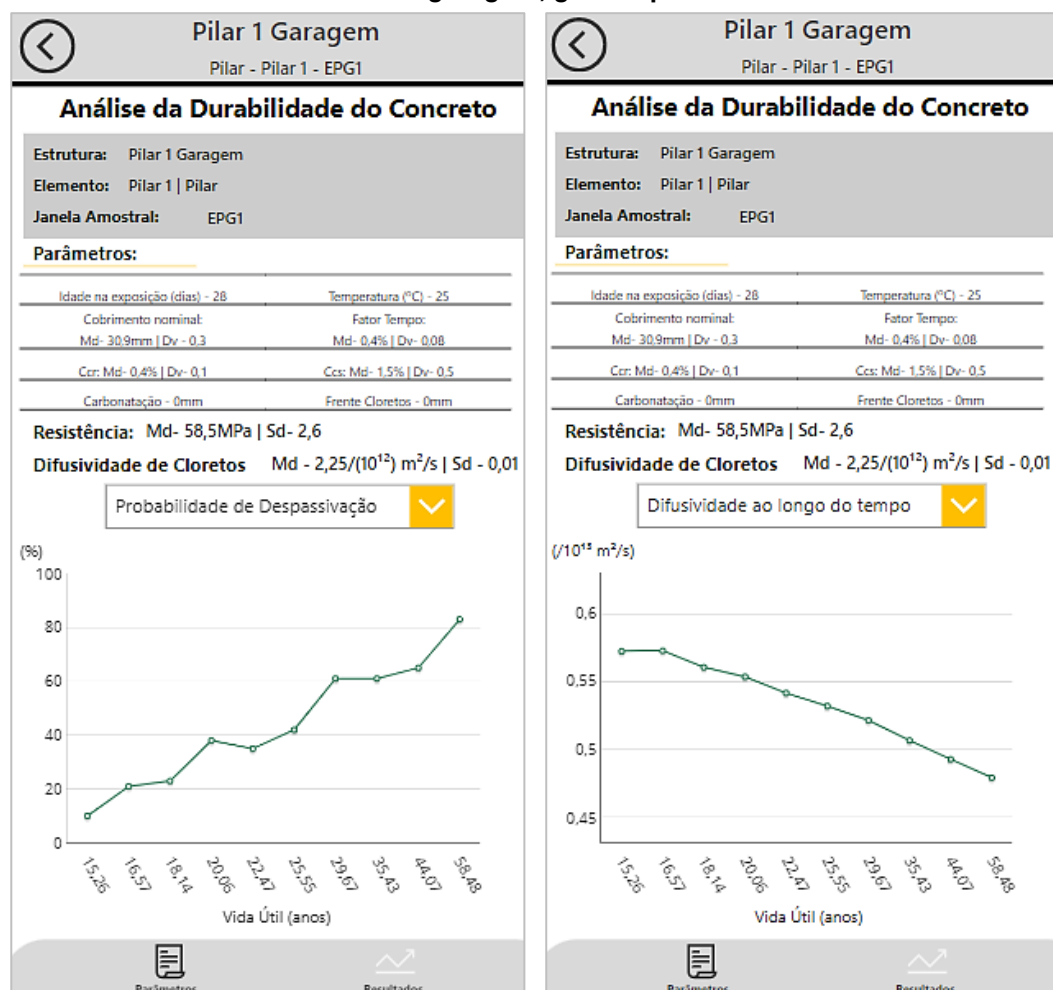
Fonte: Autor (2022)

Tabela 14 – Análise da probabilidade de despassivação do pilar de concreto pré moldado situado em garagem, dado pelo ETAC.

Tempo de Serviço	Probabilidade de despassivação do aço
15,26 anos	10%
16,57 anos	21%
18,14 anos	23%
20,06 anos	38%
22,47 anos	35%
25,55 anos	42%
29,67 anos	61%
35,43 anos	61%
44,07 anos	65%
58,48 anos	83%

Fonte: Autor (2022)

Figura 46 – Resultado da probabilidade de despassivação no pilar de concreto pré moldado situado em garagem, gerado pelo ETAC.



Fonte: Autor (2022)

Foi obtido um f_{ck} estimado de média igual a 58,5 MPa e desvio padrão de 2,6 MPa e um coeficiente de difusividade de íon cloreto igual a $2,2 \cdot 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ com um desvio padrão de $0,01 \cdot 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$.

Nota-se a obtenção de uma alta resistência à compressão axial e um baixo coeficiente de difusividade de íon cloreto no concreto, o que indica um concreto durável. No entanto, o resultado das estimativas pode ter sofrido influência do revestimento, uma vez que não se pôde realizar a preparação de superfície do elemento.

O gráfico da probabilidade de despassivação do aço no concreto gerado pelo ETAC sugere que o sistema de garagem, no tocante a corrosão devido a íons cloreto, deve passar por inspeções periódicas a cada 16 anos, já que neste tempo, apresentaria uma probabilidade de 20% de se ocorrer a despassivação das armaduras do pilar.

5.0 CONCLUSÕES

O protótipo desenvolvido atingiu o objetivo proposto de possibilitar ao usuário a obtenção da estimativa da vida útil de uma estrutura de concreto armado, frente ao ataque de íons cloreto, através do cálculo das probabilidades de despassivação do aço embebido em concreto ao longo do tempo, de forma eficaz e prática, com a utilização de métodos não destrutivos de mínimo impacto à estrutura.

O modelo fenomenológico desenvolvido por Chidiac e Shafkhani (2019) associado ao modelo SonReb, com uso da equação proposta por Breysse (2012), para estimativa da resistência à compressão axial do concreto, possibilitou a estimativa do coeficiente de difusividade do íon cloreto em concretos de propriedades desconhecidas, de forma rápida e tangível.

A análise comparativa do protótipo com o DURACON (2004), revelou que o protótipo apresenta cálculos concisos e um resultado que se assemelha a padrões aceitos internacionalmente pela literatura.

Por ser uma zona litorânea e de temperatura média elevada, o Estado de Sergipe possui uma intensa agressividade ambiental. Foi demonstrado a partir da aplicação prática do protótipo, a influência inversamente proporcional da temperatura para com o tempo de vida útil da estrutura. Sendo assim, torna-se ainda mais necessárias para as construções de concreto armado, existentes no estado, a realização de inspeções periódicas, intervaladas por um tempo que condiga com sua capacidade durável.

A inserção do protótipo no mercado de inspeções sergipano, através das empresas parceiras, possibilitará a elaboração de projetos de durabilidade, sejam estes voltados à concepção ou manutenção da estrutura, de modo rápido e prático, agregando valor aos trabalhos desenvolvidos por essas empresas.

Cabe ressaltar que as empresas envolvidas no presente projeto são pioneiras no uso dessa tecnologia no mercado de inspeção brasileiro, se tornando assim, destaque e referência para projetos de durabilidade. O uso do protótipo trará facilidade para obtenção da vida útil das estruturas em análise, sendo assim de grande valia para os futuros laudos e trabalhos de inspeção que envolvam a durabilidade da estrutura a determinação da vida útil da estrutura frente às manifestações patológicas, em especial à corrosão estrutural.

A capacidade de se inferir de modo analítico e quantitativo o tempo para uma inspeção e/ou manutenção de uma estrutura de concreto armado trará impactos positivos para proprietários, síndicos e empresas da construção civil, uma vez que estes poderão monitorar o comportamento da sua estrutura frente à ação de íons cloreto, ao longo do tempo. Assim, o monitoramento contínuo poderá trazer dados e inferências cada vez mais confiáveis para o usuário.

A análise da durabilidade realizada pelo protótipo, depende de fatores intrínsecos ao concreto de composição da estrutura e do ambiente onde está inserida. No entanto, existe uma escassez de dados referente aos parâmetros utilizados para análise da durabilidade.

Gjorv (2017) destaca que a análise da durabilidade depende do julgamento do engenheiro para com os parâmetros mais relevantes à análise, sendo assim, o mesmo deve avaliar a variabilidade e validade dos seus dados. O autor acrescenta que a seleção de parâmetros intrínsecos, como a concentração superficial de cloretos (C_s) ou o fator tempo (α), devem se basear em experiências já realizadas com concretos e condições semelhantes.

Sendo assim, será objetivo de trabalhos futuros a possibilidade de apresentação e compartilhamento de dados entre usuários do protótipo, permitindo o intercâmbio de parâmetros e análises entre profissionais de todo planeta. O protótipo também deverá disponibilizar um banco de dados com parâmetros filtrados e tratados.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **“ABNT NBR 12655:2015. Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento”**. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **“ABNT NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento”**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **“ABNT NBR 7584. Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio”**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **“ABNT NBR 7584. Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio”**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **“ABNT NBR 8802. Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica”**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **“ABNT NBR 8802. Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica”**. Rio de Janeiro, 2019.

ALONSO, C.; ANDRADE, C.; CASTELLONE, M.; CASTRO, P. **Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized OPC mortar**. Cement and Concrete Research, v. 30, n. 7, p. 1047-1055, 2000.

ANDRADE, C. **Calculation of chloride diffusion in concrete from ionic migration measurements**. Cement and Concrete Research, v.23, n.3, p.724-742, 1993.

ANDRADE, C.; GONZALEZ, J. A. **Quantitative Measurements of Corrosion Rate of Reinforcing Steel Embed in Concrete Using Polarization Resistance Measurements**. Werkstoffe und Korrosion, Vol. 29, 1978. p.515-519.

ARAUJO, A.; CARDOSO, J. L.; PACHECO, M. S.; FILHO, M. L. P.; PANOSSIAN, Z. (2017). **Corrosão do aço-carbono em concreto armado**. 14ª Conferência sobre tecnologia de Equipamentos – COTEQ2017-058, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 12655: concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento**. Rio de Janeiro, 2006. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575 - Partes 1-6: Desempenho de Edifícios Habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASTM. (2012). *ASTM C 1202-12: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. ASTM International, West Conshohocken, PA.

AUDENAERT K., Yuan Q., SCHUTTER G.D., **On the time dependency of the chloride migration coefficient in concrete**, Constr. Build. Mater. 24; 396–402, 2010.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto – Ciência e Tecnologia**. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

BREYSSE, D. “**Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods**”. *Construction and Building Materials*, 33, pp. 139–163. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.103>.

BROOMFIELD, J. B. **Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair**. 2.ed. London: E & FN Spon, 2007. 271 p.

BROWNE R et al **Marine durability survey of the Tongue Sand Tower. Concrete in the Ocean Program**, CIRIA UEG Technical Report No. 5. Cement and Concrete Association, London; 1980.

CASCUDO, OSWALDO. **O controle da corrosão de armaduras em concreto – inspeção e técnicas eletroquímicas**. Goiânia, GO: Editora UFG, 1997. 237p.

CEB, **Durable Concrete Structures—Design Guide**, Comité Euro-International du Béton—CEB, Bulletin D'Information 183, Thomas Telford, London, England, 1992.

CHIDIAC, S. E., & Shafikhani, M., “**Phenomenological model for quantifying concrete chloride diffusion coefficient**”, *Construction and Building Materials*, 224, 773-784, 2019.

COLLEPARDI M., Marcialis A., Turriziani R. **Kinetics of penetration of chloride ions in concrete**. *l'Industria Italiana del Cemento* 4:157–164; 1970.

COLLEPARDI M., Marcialis A., Turriziani R. **Penetration of chloride ions into cement pastes and concretes**. *J Am Ceram Soc* 55(10):534–535; 1972.

COLLEPARDI M., Marcialis A., Turriziani R.: **The Kinetics of Chloride Ions Penetration in Concrete**, *Il cemento*, Vol. 67, pp. 157-164, 1970.

DOTTO, J. M. R. **Corrosão do aço induzida por íons cloreto – Uma análise crítica das técnicas eletroquímicas aplicadas ao sistema aço-concreto com ou sem**

pozolana. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2006.

DUPRAT, F. **Reliability of RC beams under chloride-ingress**. Construction and Building Materials, v. 21, n. 8, p. 1605-1616, 2007.

FANTON, T. **Proposta de método de ensaio acelerado para determinação do coeficiente de difusão de íons cloreto em concretos na condição saturada**. Rio Grande, 2017. Dissertação. Programa de Pós-graduação em engenharia oceânica (PPGEO). Universidade Federal do Rio Grande (FURG), 2017. 163p.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (FIB 53) **Structural Concrete Textbook on behaviour, design and performance. Second edition**, Volume 3: Design of durable concrete structures, 2010, 390p.

FERREIRA, E. G. A. **Avaliação da alteração nas propriedades da pasta de cimento em ambiente de repositório**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações). Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, 2013. 105p.

FERREIRA, R. M, **Probability Based Durability Analysis Of Concrete Structures In Marine Environment**, ISBN: 972 – 8692 – 16 – 1 University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal. Braga, 2004.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GJØRV O. E., **Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments**, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2017.

GJØRV, O.E., **Symposium on concrete for marine structures, Proceedings**, editado por P.K. Mehta, CANMET/ACI, pp. 259-279, 1996.

GJØRV, O.E.: **Controlled service life of concrete structures and environmental consciousness, Proceedings, International Workshop on Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century**, ed. by O.E. GjØrv and K. Sakai, E & FN Spon, London and New York, pp. 1-13, 2000.

HAUSMANN, D. A. **Steel corrosion in Concrete: how does it occur?** Materials Protection, v. 6, n. 11, p. 19-23, 1967.

HELENE, P. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: USP, 1993. Tese (Livre Docência) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993. 271p.

IBRACON. **Procedimento de ensaios de difusão e migração de cloretos, visando a estimativa de VUP em concretos**, 1ª Edição, p. 1-48, ISBN / ISSN: 978-65-89675-09-9, 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). **Área de materiais desenvolve estudos contra a corrosão.** Notícias - Jornal Órbita. Jul. 2002. <http://www.ipen.br/sitio?idc=896>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **General Principles on the Design of Structures for Durability. ISO 13823.** Geneva: ISO/TC, 2008.

Kondraivendhan B., Bhattacharjee B., **Prediction of strength, permeability, and hydraulic diffusivity of ordinary Portland cement paste**, ACI Mater. J. 111, 2014.

LEA, F.M. **The chemistry of cement and concrete.** 4^aed. New York: Chemical Publishing Company, Inc., 2004. 1053p.

LIU Y., PRESUEL-MORENO F.J., PAREDES M.A., **Determination of chloride diffusion coefficients in concrete by electrical resistivity method**, ACI Mater. J. 112 (5) (2015).

LOPES, F. L. C. OLIVEIRA M. M. B. MATOS N. S. C. CARVALHO E. M. **"Aplicação de metodologia baseada em critérios empíricos para priorização de inspeções diagnósticas em reservatórios de água, em Sergipe."** Anais do XVI Congresso Latinoamericano de Patología de la Construcción & XVIII Congreso de Control en la Construcción. ISBN 978-65-86819-19-9. 2021. DOI: <https://doi.org/10.4322/conpat2021.688>. 2173-2185p.

LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R.; DOMINAS, W. R. **Simulação.** In: CORRAR, L. J.; THEÔPHILO, C. R. (Orgs.). Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração. São Paulo: Atlas, 2004.

MEDEIROS, M. H. F. HELENE P. **Estimativa da elevação da vida útil do concreto armado através do coeficiente de difusão de cloretos.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/504, 14 p. São Paulo: EPUSP, 2008.

MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R. **Decision modeling with Microsoft Excel.** 6th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

NORDTEST. (1989). *NT Build 355: Concrete, Repairing Materials and Protective Coating: Diffusion Cell Method, Chloride Permeability.* NORDTEST, Espoo, Finland.

NORDTEST. (1995). *NT Build 443: Concrete, Hardened: Accelerated Chloride Penetration.* NORDTEST, Espoo, Finland.

NORDTEST. (1999). *NT Build 492: Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials, Chloride Migration Coefficient from Non-Steady State Migration Experiments.* NORDTEST.

OH B.H., JANG S.Y., **Prediction of diffusivity of concrete based on simple analytic equations**, Cem. Concr. Res. 34 (3); 2004.

PEREIRA, V. G. A. **Avaliação do coeficiente de difusão em concreto armado: Influência do tipo de cimento, da relação a/c, da temperatura e do tempo de cura**. Porto alegre, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 138p.

PILLAI, C. S.; SANTHAKUMAR, A.R.; POONGUZHALI, A.; PUJAR, M.G.; KUMAR J. A., PREETHA, R.; MUDALI, U. K.; **Evaluation of microstructural and microchemical aspects of high density concrete exposed to sustained elevated temperature**. Construction and Building Materials, Volume 126, 2016, Pages 453-465, ISSN 0950-0618.

POLDER R. B., de ROOIJ M. R. **Durability of marine concrete structures—field investigations and modelling**. HERON 50(3):133–153; 2005.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C.A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: Abordagem geral**. Revista Técnico-Científica 2013, 5–7.

PROCEQ SA. **Silver Schimidt - Operating Instructions**. 820 34 101E ver 04 2008 Copyright © 2007 by Proceq SA, Schwerzenbach., 2008.

RÉUS, G. C.; SOUZA, D. J.; SILVESTRO, L.; GOMES, G. R.; MEDEIROS, M. H. F.; FILHO, M. L. S. **Influência da frente de carbonatação na resistência superficial do concreto obtida pelo método da esclerometria**, Belém-PA, pp. 861–870, 2016.

RIBEIRO, Daniel Verás. **Corrosão em Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini. 255pg. 2001.

SARAIVA JÚNIOR, A. F. et al. **Simulação de Monte Carlo ... análise econômica de pedido. Produção**, v. 21, n. 1, p. 149-164, jan./mar. 2011.

SHEWMON P. G., **Diffusion in solids**. J. Willians : OK, p. 13, 1983.

SKALNY, J.; MARCHAND, J.; ODLER, I. **Sulfate Attack on Concrete**, 1 ed., E & FN Spon, London, 2002.

SOARES, A. P. F. VASCONCELOS, L. T. NASCIMENTO, F. B. C. **Corrosão Em Armaduras De Concreto**, ISSN 2357-9919, Ciências exatas e tecnológicas, Maceió, v. 3, n.1, p. 177-188, 2015.

STOCHINO, F.; MISTRETTA, F.; MELONI, P.; CARCANGIU, G. Integrated Approach for Post-fire Reinforced Concrete Structures Assessment. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, [S. l.], v. 61, n. 4, p. 677–699, 2017. 10.3311/PPci.9830.

TAKEWAKA K., MASTUMOTO S. **Quality and cover thickness of concrete based on the estimation of chloride penetration in marine environments**. In: Malhotra VM (ed) Proceedings, second international conference on concrete in marine environment. ACI SP 109, pp 381–40; 1988.

TANG L., GULIKERS J. **On the mathematics of time-dependent apparent chloride diffusion coefficient in concrete**. Cem Concr Res 37(4):589–595; 2007.

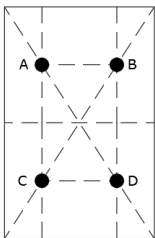
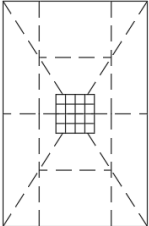
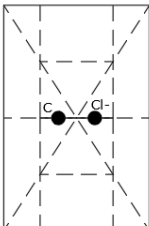
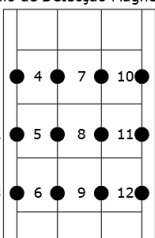
THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. RJ – 2001.

TUUTTI, K., **Corrosion of Steel in Concrete**, Report 4, Swedish Cement and Concrete Institute, Stockholm, Sweden, 1982.

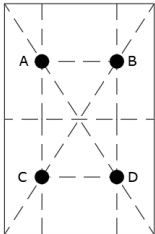
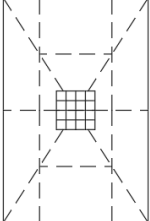
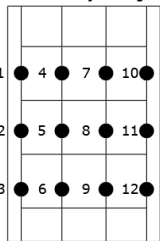
VICHOT, A. OLLIVER, J. P. **La durabilité des bétons: ascs scientifiques pour la formulation de béton durables dans leur environnement**. Paris: presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 2008.

WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. São Paulo, EDUSP, 2003.

ANEXO A – COLETA DE DADOS DO PILAR P1 DO RESERVATÓRIO A

COLETA DE DADOS - RESERVATÓRIO A							
ENSAIO DE ULTRASONOGRAFIA - NBR 8802:2013							
Método: Direto		Distância entre Transdutores: 20,0 cm				Aparelho: UsLab Agricef	
PILAR P1 - Velocidade em m/s							
A-A		B-B		C-C		D-D	
1	3687,7	1	3520	1	3622,2	1	3555,5
2	3722,2	2	3520	2	3622,5	2	3610,7
3	3752,2	3	3520	3	3623,5	3	3610,7
4	3722,1	4	3535	4	3680	4	3625
5	3675,5	5	3535	5	3680	5	3640,5
Média:		3623,0		Desvio Padrão:		71,5	
ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL - NBR 7584:2012							
Aparelho: Esclerômetro de reflexão modelo Schmidt							
PILAR P1							
1	40	5	41,5	9	39,5	13	41
2	41	6	42	10	39	14	41,5
3	41	7	40	11	41,5	15	42
4	40	8	40,5	12	40	16	41
Média:		40,7		Desvio Padrão:		0,9	
DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (C)							
Solução: Fenolfataleína							
PILAR P1							
						Profundidade:	2,0
DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE ÍONS CLORETO (Cl-)							
Solução: Nitrato de Prata							
PILAR P1							
						Profundidade:	2,0
ENSAIO DE DETECÇÃO MAGNÉTICA							
Aparelho: Profoscope Proceq							
PILAR P1 - Profundidade em mm							
1	35,7	4	36	7	36,3	10	35,8
2	35,7	5	36	8	36,2	11	35,6
3	35,6	6	35,9	9	36,3	12	35,7
Média:		35,9		Desvio Padrão:		0,2	
Janela Amostral Padrão Coleta de Pontos de Ultrassom  Janela Amostral Padrão Coleta de Pontos de Esclerometria  Janela Amostral Padrão Ensaio Colorimétrico  Janela Amostral Padrão Ensaio de Detecção Magnética 							

ANEXO B – COLETA DE DADOS DO PILAR DE CONCRETO PRÉ MOLDADO SITUADO EM CARAGEM

COLETA DE DADOS – PILARETE DA GAREGEM							
ENSAIO DE ULTRASONOGRAFIA - NBR 8802:2013							
Método: Direto		Distância entre Transdutores: 10,0 cm			Aparelho: UsLab Agricef		
PILAR P1 - Velocidade em m/s							
A-A		B-B		C-C		D-D	
1	4344	1	4344,4	1	4355,2	1	4335,2
2	4344	2	4344,4	2	4355,5	2	4330,5
3	4343	3	4345	3	4340,5	3	4337
4	4340,5	4	4345	4	4340	4	4330
5	4340,2	5	4343	5	4340	5	4335,5
Média:		4341,7		Desvio Padrão:		6,3	
ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL - NBR 7584:2012							
Aparelho: Esclerômetro de reflexão modelo Schmidt							
PILAR P1							
1	38	5	47	9	44	13	46
2	43	6	42	10	45	14	46
3	38	7	44	11	44	15	46
4	44	8	42	12	46	16	44
Média:		43,7		Desvio Padrão:		2,6	
ENSAIO DE DETECÇÃO MAGNÉTICA							
Aparelho: Profoscope Proceq							
PILAR P1 - Profundidade em mm							
1	23,7	4	23,8	7	23,7	10	23
2	23,5	5	24	8	23,5	11	23,1
3	23,5	6	23,6	9	23,5	12	23
Média:		23,5		Desvio Padrão:		0,3	
Janela Amostral Padrão Coleta de Pontos de Ultrassom  Janela Amostral Padrão Coleta de Pontos de Esclerometria  Janela Amostral Padrão Ensaio de Detecção Magnética 							

ANEXO C – FOLDER DE APRESENTAÇÃO DO ETAC 2022.



Problemática

Corrosão devido à íons cloreto, um dos arqui-inimigos da durabilidade estrutural

Após a inspeção de 49 reservatórios de água, 2 pontes e uma série de prédios, todos de concreto armado em Sergipe-Brasil, percebeu-se a constante e intensa presença da corrosão estrutural devida à íons cloretos. Os danos econômicos e estruturais não se limitam somente às fronteiras brasileiras, Gjorv (2002) explicitou que em 1986, somente nos EUA, o custo de reparo em pontes devido à corrosão estrutural chegou a 24 bilhões de dólares.

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO



Problemática

A necessidade de uma avaliação rápida e prática da durabilidade do concreto

Quão mais cedo a corrosão for diagnosticada, menor será o custo de intervenção. Objetivando uma resposta prática e rápida sobre a durabilidade da estrutura, o ETAC utiliza da 2ª Lei de Fick para estimar a probabilidade do tempo de depassivação do aço embebido em concreto.

O ETAC também fornece a possibilidade de se estimar o coeficiente de difusividade do concreto a partir do método desenvolvido por Chidiac e Shafikhani (2017) e o Fck pelo método SonReb, desenvolvido por Brevsse (2012).

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO

ETAC

ESTRUTURAS ANTIGAS

Com impossibilidade da extração de testemunho, métodos estimativos são imprescindíveis para uma caracterização rápida e com boa confiabilidade.

ESTRUTURAS NOVAS

A determinação da probabilidade de depassivação em um dado tempo auxilia na decisão da periodicidade de inspeções na estrutura

CONCEPÇÃO DE ESTRUTURAS

A definição de um projeto de durabilidade de uma estrutura é fator crucial na sua vida útil, decisões sobre materiais e cobrimento por exemplo são críticas para a durabilidade

Problemática

Utilização dos Ensaios Não Destrutivos

Diante da impossibilidade da extração de corpos de prova, ou falta de laboratórios para realização dos ensaios de caracterização do concreto, os Métodos Não Destrutivos se apresentam como uma ferramenta indispensável ao Engenheiro Diagnóstico.

A partir dos ENDs são realizadas inferências e correlações para com as reais características da estruturas. A literatura acerca do assunto demonstra a busca de diversos pesquisadores por equações que estimem e/ou predigam parâmetros específicos do concreto como a sua resistência à compressão ou coeficiente de difusão.



ETAC

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO

Parcerias Envolvidas no Projeto



**Instituto Federal de
Educação Ciência e
Tecnologia de Sergipe**
Instituição de Ensino

Instituição de Ensino Federal onde foi desenvolvido o presente protótipo.



M&C Engenharia
Empresa do Ramo de
Perícias

Atuante na área de Perícias no estado de Sergipe, contribuiu ao projeto com a participação em inspeções em reservatórios de água.



ENGENHARIA DIAGNÓSTICA
& CONSULTORIA

**MM Engenharia
Diagnóstica e
Consultoria**
Empresa do Ramo de
Inspeções

Especialista na área de Inspeções com uso de Ensaios não Destrutivos no estado de Sergipe, contribuiu ao projeto permitindo a utilização dos equipamentos, resultados e metodologias.

ETAC



Apresentação do Protótipo

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO

Novo Usuário

 **Carregar**

Nome de Usuário
Francisco_LCL

Senha
.....

Nome
Francisco Luiz Campos lopes

País
Brasil

Ocupação
Aluno Pesquisador

Instituição
IFS-Aracaju

Departamento
Engenharia Civil

Bio

ETAC

Estimar o Tempo para Alargir a Concentração Crítica de Cloretos no Concreto

Desenvolvido por Francisco Lopes 2021

Nome de Usuário
Francisco_LCL

Senha
.....

Login

Parceiros:

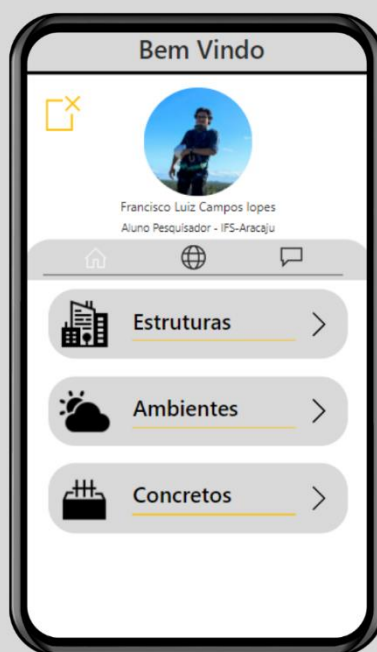


ETAC

Cadastrando Usuários

Tendo a ideia de um dia poder vir a ser uma rede social

A criação do usuário coleta as informações básicas para um curto perfil, após criado o usuário, este tem acesso através do seu Login.


ET4C

O menu inicial expõe as galerias de estruturas, ambientes e concretos cadastrados.

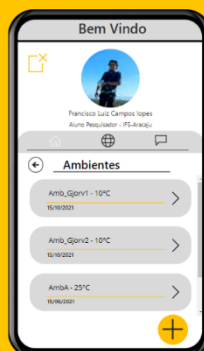
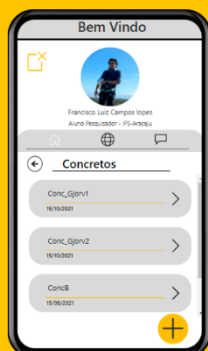
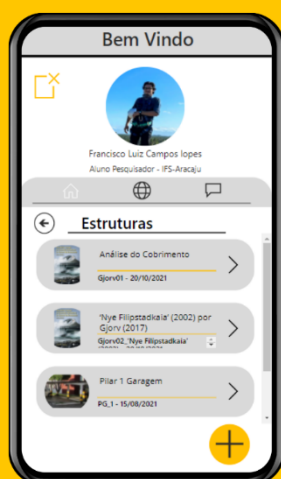


O ícone de "Globo", desativado na versão protótipo, ofereceria ao usuário o feed de compartilhamento de dados.



O ícone de "Mensagens", desativado na versão protótipo, ofereceria ao usuário a aba de mensagens entre pesquisadores.

Menus Secundários



O usuário pode cadastrar Estruturas, Concretos e Ambientes. Para cadastro da Estrutura é necessário o cadastro do seu Concreto de composição e seu Ambiente onde está inserida

ET4C

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO



Cadastro do Concreto

Identificação do concreto →

Cadastra-se a origem do concreto, como este foi desenvolvido, onde será aplicado, o mapeamento do concreto é fundamental para identificação do mesmo.

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO

Concreto de Traço conhecido →

Caso o traço do concreto em questão seja conhecido, o usuário irá declarar as informações associadas a este, quanto mais completo a descrição, melhores poderão ser as inferências.

Concreto de traço desconhecido →

Na maioria dos casos em inspeções, o concreto é desconhecido, logo, apenas se declara as origens deste concreto e o local de sua aplicação.



Cadastro do Ambiente

Apesar de simples, a caracterização do ambiente é parte crítica e de grande influência no cálculo da previsão da vida útil.

A temperatura possui uma grande influência no coeficiente de difusividade do concreto ao longo do tempo e na penetração do cloreto.

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO

Cadastro de Estrutura

LOCALIZAÇÃO

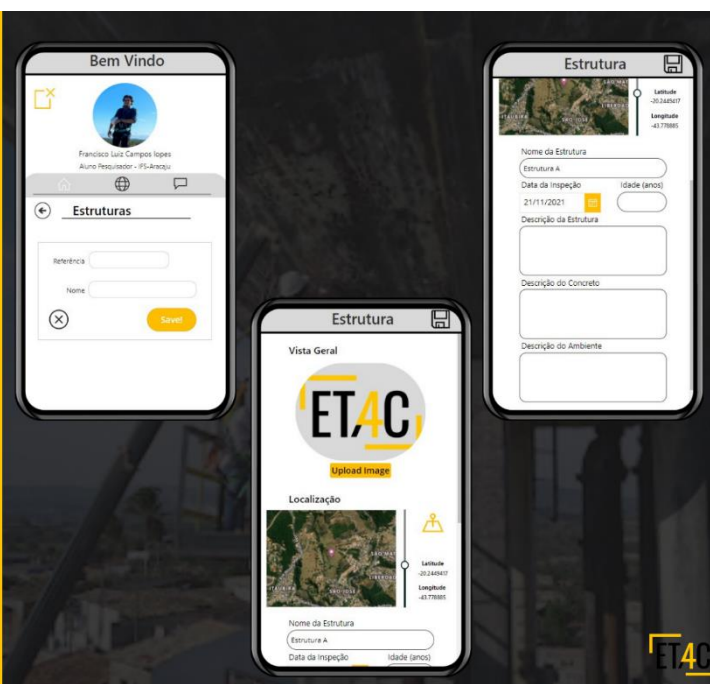
O protótipo coleta a posição relativa do usuário a partir da latitude e longitude e oferece a visão de satélite da área.

IDADE DA ESTRUTURA

A idade da estrutura é crucial para avaliar o grau de deterioração da estrutura. A data da inspeção é o intermédio dessa avaliação.

DESCRIÇÃO DO CONJUNTO

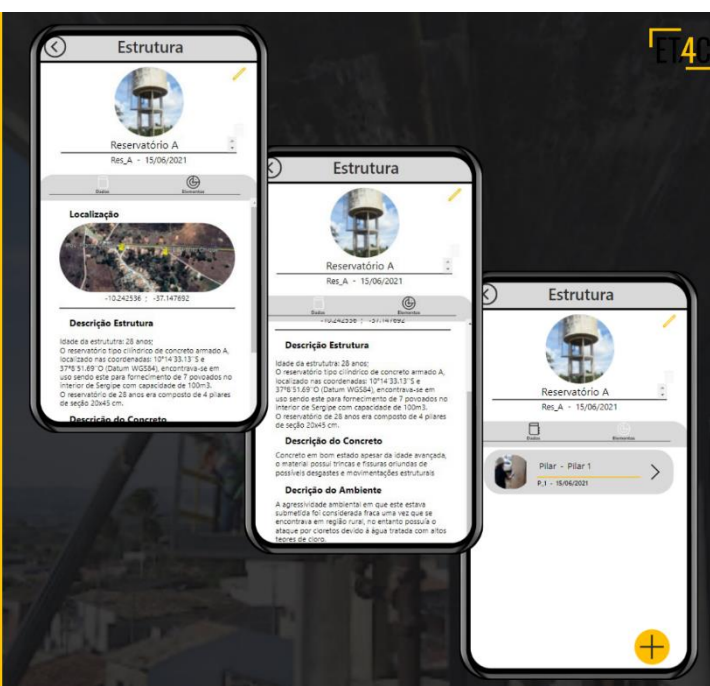
Resume-se a estrutura, o concreto e o ambiente da estrutura de modo a se ter uma visão geral da obra.



Apresentação da Estrutura

DADOS DA ESTRUTURA

Na guia inicial são apresentados os resumos e características básicas da estrutura. A estrutura é separada por Elementos Estruturais.



Cadastro do Elemento Estrutural

Definição do ambiente e concreto de composição do elemento

Cada Elemento Estrutural pode possuir um concreto específico, de diferente traço ou fck, ou um ambiente específico, de diferente agressividade ou condição.

Cada Elemento Estrutural pode possuir uma ou mais janela amostral, onde será realizado o cálculo para previsão da durabilidade da peça estrutural



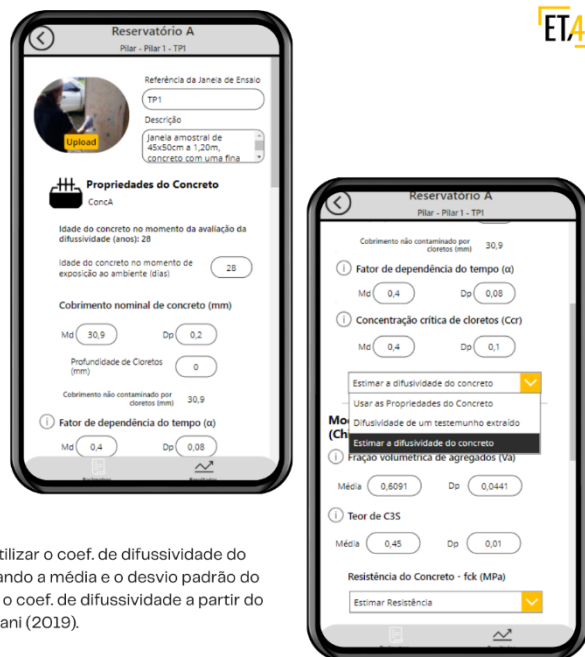
Cadastro da Janela Amostrai

Parâmetros Iniciais

Informa-se os parâmetros que influenciam na durabilidade da estrutura. O protótipo também oferece informações sobre os parâmetros mais específicos como o Fator Tempo (α) e a Concentração crítica de Cloretos.

Escolha do tipo de obtenção do Coeficiente de Difusividade

O protótipo oferece a possibilidade de se utilizar o coef. de difusividade do concreto obtido a partir de ensaios, informando a média e o desvio padrão do coef. de difusividade obtido, ou se estimar o coef. de difusividade a partir do método desenvolvido por Chidiac e Shafkhani (2019).



Entrada dos Parâmetros do Concreto

Concreto de propriedades conhecidas

Determinação do Coef. de difusividade a partir de ensaios laboratoriais

Estimar o coef. de difusividade. Chidiac e Shafikhan (2019).

Estimar o fck (MPa) do concreto Brevsse (2012).

Parâmetro dos Ambientes

Temperatura

A temperatura média do ambiente possui uma grande influência no cálculo, sendo inversamente proporcional à durabilidade, de acordo com a 2ª Lei de Fick.

Teor de Cloretos Superficiais

Este parâmetro é único para cada janela amostral, sofrendo influência da geometria da peça, ventos, umidade. É de suma importância que o usuário saiba indicar de modo representativo o teor de cloretos superficiais da janela amostral.

Parâmetros utilizados pelo Protótipo

Teor Crítico de Cloretos

A fim de se estimar a vida útil, adota-se uma concentração crítica em uma dada profundidade x . De acordo com a experiência empírica de Gjorv (2017), sustentada pelos estudos teóricos de Hausmann (1967), recomenda-se o uso de um valor médio igual a 0,4% com um desvio padrão de 0,1% por peso cimento para a concentração crítica de cloreto, que por representar a certeza da instalação do processo corrosivo, indica o fim da vida útil da estrutura em análise.

Fator Tempo (α)

A dependência da difusividade para com o tempo é explanada a partir da equação a seguir. Gjorv (2017) aconselha, para o cimento Portland em ambientes de alta agressividade ambiental, o uso de um fator tempo (α) de valor médio de 0,4 com um desvio padrão de 0,08.

$$D_{(t)} = \frac{D_k}{1-\alpha} \left[\left(1 + \frac{t'}{t} \right)^{1-\alpha} - \left(\frac{t'}{t} \right)^{1-\alpha} \right] * \left(\frac{t_k}{t} \right)^{\alpha} * k_p$$

Teor de Cloretos Superficiais

A concentração de cloretos na superfície do concreto é estabelecida a partir de regressões da penetração de íons cloreto ajustado na segunda lei de difusividade de Fick. Gjorv (2017) explica a concentração de cloretos na superfície (ρ) é resultante da presença de cloretos na atmosfera onde a estrutura está inserida e da forma geométrica da peça em análise, além de intempéries ambientais como ventos e chuva.

Resistência à Compressão Axial – MPa

Além do quesito estrutural, o fck do concreto é um importante fator para a durabilidade das estruturas de concreto armado. Kondraivendhan e Bhattacharjee (2014), Audenaert et. al. (2010) e Chidiac e Shafikhani (2019) afirmam que a resistência à compressão axial e o coeficiente de difusividade de cloretos são propriedades dependentes da porosidade, distribuição e tamanho dos poros capilares do concreto.

Fração Volumétrica de Agregados

Nos estudos realizados por Chidiac e Shafikhani (2019), foram analisados 56 traços de concreto com relação água cimento variando de 0,32 a 0,6; analogamente Oh e Jang (2004) analisaram 9 amostras com relação água cimento variando de 0,35 a 0,55. Com um total de 65 traços amostrais trabalhados pelos autores supracitados tem-se uma média da fração volumétrica de agregado (V_a) igual a 0,6091 com um desvio padrão de 0,0441.

Teor de C3S

De acordo com Battangini (2011) a hidratação do C3S, conhecido como alita, é a que ocorre de modo mais rápido no cimento anidro e é a responsável pela resistência inicial do cimento. O maior teor de C3S resultará em um concreto com maior resistência mecânica.



Método de Falha Utilizado

O modelo de probabilidade de falha se baseia em uma abordagem probabilística onde se analisa a probabilidade de a solicitação superar a resistência. Visando determinar a vida útil frente à penetração de íons cloreto no concreto, a probabilidade de falha se ressalta na depassivação das armaduras de aço, evento esse que foi usado por Ferreira (2004).

Tendo em vista que a metodologia em apresentação nesta monografia se utiliza de estimativa para definições dos inputs das equações, a simulação de Monte Carlo (SMC) se apresentou como a mais viável para o desenvolvimento da mesma.

A SMC foi usada para simulação de 100 cenários distintos com a utilização da média de cada input e variando neste, com uma aleatoriedade distribuída normalmente, o seu respectivo desvio padrão.



Apresentação dos Resultados da Estimativa da Probabilidade de Depassivação do aço no concreto.

ETAC

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO



Guia de Resultados

ETAC

Probabilidade de Depassivação

O protótipo oferece como resultado o gráfico de probabilidade de depassivação do aço em um dado período baseado na concentração crítica de cloretos.

O usuário pode então avaliar o melhor período para realizar inspeções e intervenções na estrutura.

Caso em fase de concepção de projeto, pode-se ir avaliando as influências das propriedades intrínsecas à durabilidade do concreto

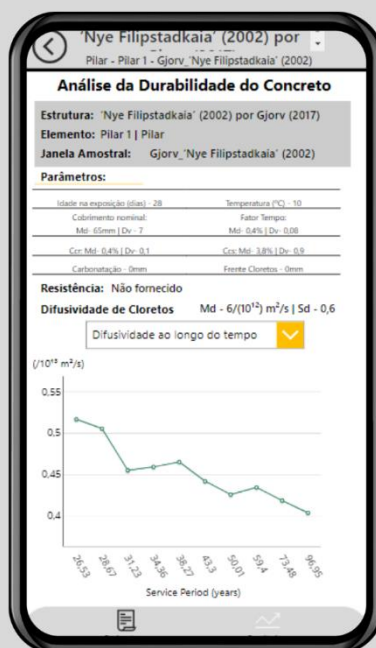
Guia de Resultados

Coef. de Difusividade ao longo do tempo

O protótipo também possibilita a visualização do comportamento do coef. de difusividade ao longo do tempo.

Com isto o usuário pode avaliar a influência de cada parâmetro no comportamento da durabilidade de sua estrutura.

Permitindo que se avalie o melhor momento para uma intervenção, caso o coeficiente fique muito baixo em um dado período.



ETAC



ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO

Objetivos Futuros

A criação de uma Rede Social para Pesquisadores

O ideal futuro é possibilitar o compartilhamento de dados e projetos entre pesquisadores, sejam estes trabalhos de campos ou pesquisas laboratoriais sobre os parâmetros adotados na aplicação.

Objetivos Futuros

Publicação do Aplicativo nas Lojas

Com o Aplicativo pronto, este será publicado para uso nas lojas dos smartphones.

Rede Social para Pesquisadores

O aplicativo deve possibilitar a comunicação e o compartilhamento de dados entre pesquisadores, permitindo através do feed, apresentação de trabalhos, acadêmicos e/ou profissionais. Será desenvolvidas parcerias para conexões com redes sociais acadêmicas/profissionais como o LinkedIn, Researchers Gate e o Academia.edu.

Expansão dos métodos estimativos

Trazer os índices de confiabilidade dos métodos utilizados pelo aplicativo e orientações de uso e situação para cada método. Inclusão de novos métodos preditivos para outras propriedades intrínsecas do concreto.

Banco de Dados

Uma das maiores dificuldades entre pesquisadores é encontrar dados que sigam as mesmas metodologias. O aplicativo trará um banco de dados acessível aos usuários.

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO



Sobre o Autor do Projeto e Desenvolvedor do Protótipo

Francisco Luiz Campos Lopes

Bacharelado em Engenharia Civil no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Sergipe.

Pesquisador Acadêmico

Pesquisador na área da durabilidade das estruturas, tendo participado ativamente de 6 pesquisas acadêmicas

Atuante em Perícias e Inspeção

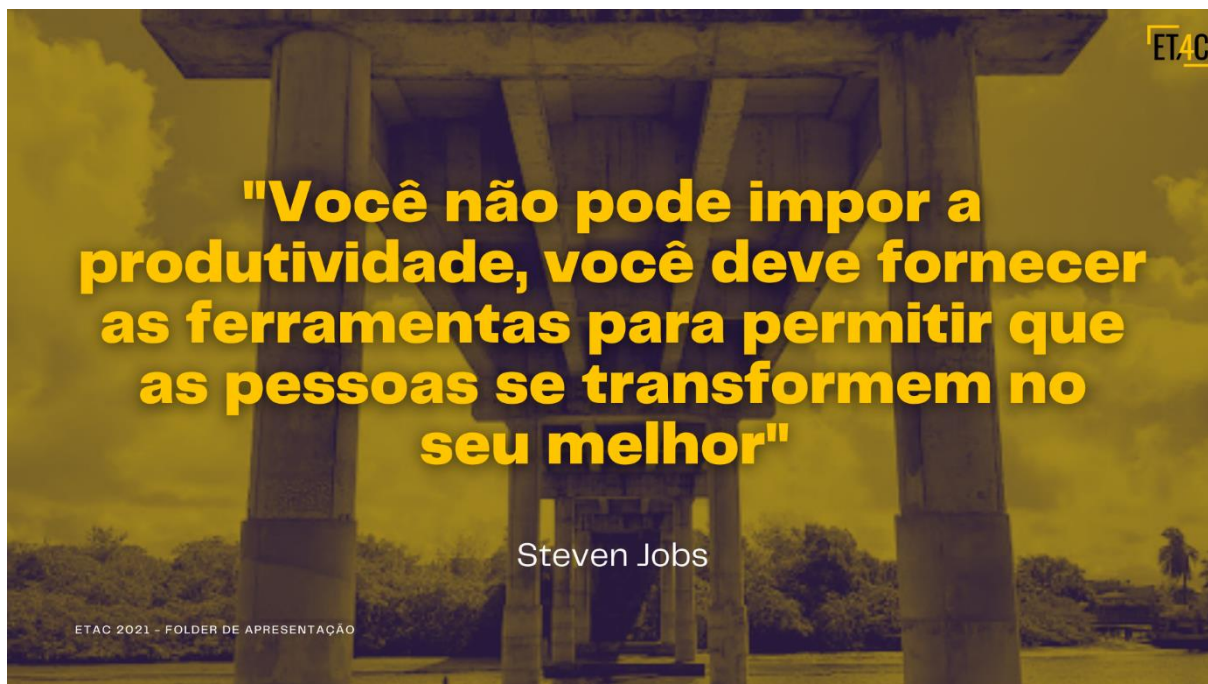
Atuou como estagiário na M&C Engenharia, na MM Engenharia & Consultoria e na PI Engenharia.

Criador e Líder do Grupo de pesquisa INEND

Responsável pela criação e administração do blog e da programação do banco de dados e dos aplicativos, acesse em inend.wordpress.com.

✉ francisco.campos.lopes@gmail.com

in [linkedin.com/in/francisco-luiz-campos-lopes-691472182](https://www.linkedin.com/in/francisco-luiz-campos-lopes-691472182)



ETAC

**"Você não pode impor a
produtividade, você deve fornecer
as ferramentas para permitir que
as pessoas se transformem no
seu melhor"**

Steven Jobs

ETAC 2021 - FOLDER DE APRESENTAÇÃO