

Mapeamento de pontes e da concentração de íons cloretos do estado do Ceará- Brasil

Tallis Rubens¹, Guilherme Moreira¹, Esequiel Mesquita^{1*}

¹ LAREB, Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, 62900-000, Russas, Ceará, Brazil.

Autor correspondente: emesquita@ufc.br

Abstract: A agressividade ambiental no estado do Ceará é uma das maiores do Brasil, ocasionada, principalmente, por conta da extensa faixa litorânea. Fator este que favorece à degradação de elementos estruturais de concreto armado e protendido no estado. O presente trabalho tem como objetivo construir um mapa da concentração de cloretos na atmosfera do estado e ainda mapear as pontes presentes no estado. Foi possível estimar a agressividade ambiental nas cidades que não foram estudadas nos trabalhos de Luna *et al.* (2008) e Sousa e Silva (2011), através de uma interpolação de dados, utilizando o software Surfer. Posteriormente, realizou-se o estudo da localização, condição e data de construção das pontes Federais e Estaduais, sendo observado que os principais problemas encontrados nas pontes, são patologias relacionadas ao deslocamento do concreto em relação à armadura, e ainda, a desp passivação e exposição das armaduras. O estudo possibilitou a construção do mapa final, com a união das informações de agressividade e da localização das pontes.

Palavras chaves: Mapeamento, pontes, agressividade ambiental, íons-cloretos

1. Introdução

As obras de arte especiais, conhecidas por OAE'S, nos ajudam na passagem sobre rios e rodovias, chamadas de pontes e viadutos, respectivamente. Essa parte especial da engenharia necessita de um cuidado e zelo muito maiores do que estruturas comuns, tanto por afetar, muitas vezes, diretamente o fluxo de uma determinada região, quanto por apresentar gastos com intervenções extremamente onerosos. Correntemente, as pontes e os viadutos estão localizados em zonas de agressividade ambiental elevada, seja pela agressividade marinha ou industrial, presentes em cidades litorâneas, industriais e grandes capitais, ou pelo conjunto das duas. Dispondo como exemplo a cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, onde apresenta-se uma extensa costa marítima banhada pelo Oceano Atlântico. A capital é a quinta maior cidade brasileira, possuindo uma faixa litorânea extensa e altamente agressiva (cerca de 2404,85 (Cl-/m².dia) no posto de monitoramento da Cofeco) para as construções de aço, concreto armado e protendido que estão próximas à essa faixa.

No estado do Ceará, existem cerca de 610 OAEs, sendo que 399 são de responsabilidade do governo federal e 211 são pertencentes ao governo estadual. Das 399 OAEs federais, sabe-se que cerca de 113 são classificadas pelo DNIT como problemáticas e necessitam passar por inspeções e atividades de manutenção em caráter de urgência. O contexto indica uma grande necessidade de se realizar serviços de manutenção e intervenções urgentes em 28% das pontes localizadas no estado do Ceará. O monitoramento periódico e constante de pontes, viadutos e passarelas possibilitam identificar de forma preventiva as manifestações patológicas que afetam essas estruturas e propor métodos de ensaios não destrutivos para a caracterização dos danos. O conhecimento do estado atual e futuro dessas estruturas permite que sejam realizadas intervenções e atividades de manutenção mais eficientes e econômicas, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e econômica, que consequentemente combatem a escassez de matérias-primas, a poluição gerada durante a produção dos materiais utilizados na construção civil e as demolições desnecessárias.

Os cloretos presentes na atmosfera se depositam na superfície das estruturas de concreto. Com o acúmulo dessa deposição e pelo efeito da difusão iônica e da absorção capilar, os cloretos se deslocam para o interior do concreto (BORBA JÚNIOR, 2011). Logo, percebemos que, quanto maior a concentração de cloretos na atmosfera, maior será a quantidade de cloretos encrustados na superfície de concreto da estrutura. Para

Cascudo (1997), no Brasil, pelo fato de as principais cidades estarem localizadas em regiões costeiras, onde existe uma quantidade muito grande de íons cloro, a manifestação patológica mais encontrada é a corrosão de armaduras. E mesmo em outras cidades mais afastadas da costa, que tenham um alto índice de poluição, o ambiente torna-se agressivo às estruturas. A maior preocupação em relação às construções dentro dessas faixas de agressividade elevada, se dá em respeito a durabilidade e a degradação dessas estruturas ao longo do tempo, já que elas estão expostas a níveis elevados de íons cloretos.

As estruturas de concreto armado têm sua vida útil reduzida quando sujeita à corrosão, segundo Pontes (2006), já que esse tipo de deterioração afeta diretamente o desempenho da estrutura. O processo de corrosão das armaduras se inicia a partir da superfície da estrutura e adentra até o seu interior. Desta forma, o aço e o concreto perdem aderência com a desagregação da camada de concreto e consequentemente fissuração da estrutura (ARAÚJO & SILVA FILHO, 2009). O diagnóstico precoce dos danos em uma estrutura e a adoção de medidas de manutenção e segurança em tempo hábil podem evitar ou minimizar problemas estruturais graves que podem acarretar consequências indesejadas e drásticas.

Estudos atuais estão utilizando modelos de predição baseados em redes neurais para prever a deposição de íons cloretos no ar em pontes localizadas em zonas costeiras, usando dados meteorológicos (JEON, JUNG, *et al.*, 2022). Já na Flórida, Estados Unidos, foi desenvolvido um trabalho que objetivou realizar análises probabilísticas e determinísticas de Custo de Ciclo de Vida para pontes de concreto armado com polímeros reforçados com fibra - PRF e pontes de concreto armado e protendido convencionais, localizadas em áreas da cidade de elevada intensidade de cloretos. Concluiu-se que, a solução que utiliza PRF apresentou redução do custo a longo prazo, maior confiabilidade financeira e revelou-se mais econômica no curto prazo (CADENAZZI, LEE, *et al.*, 2021). O conhecimento da agressividade ambiental e de outros parâmetros que possam interferir na vida útil das OAEs, tais como: espessura do recobrimento, diâmetro das armaduras, relação água/cimento, estado de conservação atual das estruturas, entre outros, é importante para o desenvolvimento de modelos de previsão de vida útil e de planos de trabalho de inspeção capazes de identificar preventivamente a ação de fatores danosos às estruturas (BORAH, DEY e SIL, 2020).

A atuação dos íons cloretos (Cl⁻), tema de estudo deste trabalho, tem como consequência a precocidade do deslocamento do concreto em relação à armadura, causando a despassivação do aço de forma muito mais rápida. Desta maneira, surgem na estrutura, pontos de corrosão localizados e trincas, deixando a armadura exposta a outros agentes nocivos. Conjuntamente, é mostrado no trabalho, a faixa de idades das pontes do estado e com isso, percebemos que, de forma geral, as estruturas já possuem idades avançadas, facilitando o aparecimento de manifestações patológicas, pois nem sempre os cuidados necessários para preservar a vida útil das pontes são tomados.

À vista disso, o presente trabalho tem como objetivo o mapeamento da agressividade ambiental nas cidades do estado do Ceará e das pontes estaduais e federais, a fim de indicar as OAEs que possuem uma maior vulnerabilidade quanto à agressividade ambiental. Com o mapeamento, visa-se facilitar as inspeções periódicas das OAEs, já que será possível analisar rotas de inspeções prioritárias e ainda observar com mais clareza e de forma ampla, as pontes que estão em piores classificações, diminuindo os gastos com intervenções e evitando o colapso dessas construções.

3. Metodologia

Este trabalho foi dividido em três etapas essencialmente fundamentais, quais sejam:

- Levantamento das informações técnicas das obras de artes especiais do estado do Ceará.
 - Os dados acerca da localização, geometria e dimensões, tipo de OAE, estado de conservação da OAE, sistema estrutural, tipo de pavimentação, entre outros, foram cedidos pela Superintendência de Obras Públicas - SOP e pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, e compuseram um banco de dados contendo informações geográficas, data de construção, tipo de estrutura, órgão responsável pela administração e manutenção da OAE, além de outros dados importantes que foram utilizados para o desenvolvimento de mapas de localização das pontes estaduais e federais no estado.

- Mapeamento da agressividade ambiental.
 - Foi realizada a interpolação da base de dados do trabalho de Luna *et al.* (2008), para se obter as informações da concentração de cloretos (Cl⁻/m².dia) dos municípios com dados faltantes, e assim, gerar um mapa de concentração de cloretos do estado do Ceará, utilizando o software QGIS. Além disso, para a cidade de Fortaleza, foi utilizado o trabalho de Sousa e Silva (2011), referente às zonas de agressividade ambiental da cidade.
- Mapeamento das pontes, considerando a agressividade ambiental.
 - Os dados de localização das pontes e de agressividade ambiental foram confrontados, e um novo mapa, identificando a posição geográfica das pontes em zonas de agressividade, foi gerado.

As próximas seções apresentam os resultados obtidos a partir do emprego da presente metodologia.

4. Mapeamento das pontes e da agressividade no estado do Ceará

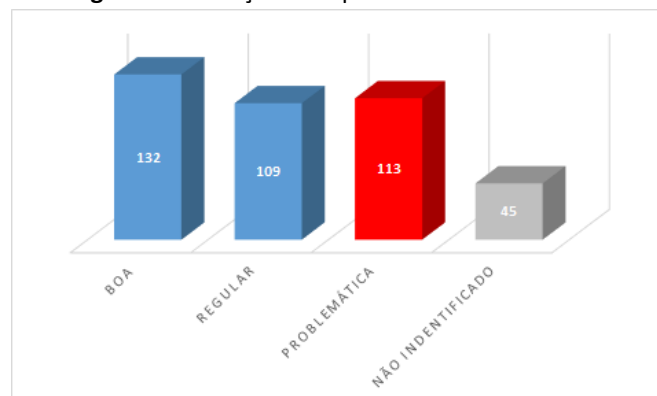
4.1. Levantamento das pontes no Ceará

Uma base de dados foi organizada contendo as informações geográficas, data de construção, tipo de estrutura, nota recebida nas inspeções rotineiras do DNIT, estado de conservação, entre outros, das pontes, viadutos e passarelas do estado do Ceará. Devido à escassez de informações sobre a geolocalização de algumas OAEs na literatura e nos órgãos e instituições responsáveis, recorreu-se às plataformas *Google Earth*, *Google Maps* e ao banco de dados do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) para o preenchimento dessa base de dados. O DNIT classifica a conservação das pontes de acordo com 5 notas, nas quais estão exemplificadas abaixo:

- NOTA 5: BOA, não há danos e nem insuficiência estrutural, obra sem problemas;
- NOTA 4: BOA, há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural;
- NOTA 3: BOA APARENTEMENTE, há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra;
- NOTA 2: SOFRÍVEL, há danos gerando significativamente insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural;
- NOTA 1: PRECÁRIA, há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte, o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.

A Figura 1 apresenta o quantitativo e as condições das pontes federais, onde 113 encontram-se em estado crítico (problemático), ou seja, 29% das pontes do estado receberam nota mínima, 132 estão em boas condições (33%), 109 condição regular (27%) e 45 não foram identificadas, 11%. A classificação destas pontes decorre da classificação do DNIT após a realização de inspeções de rotina.

Figura 1 - Condições das pontes federais do Ceará



A Figura 2 ilustra o mapa que foi elaborado mediante a utilização da ferramenta *My Maps*, onde atualmente contém 399 pontes federais catalogadas. Além das pontes sob jurisdição federal, o mapa também indica a

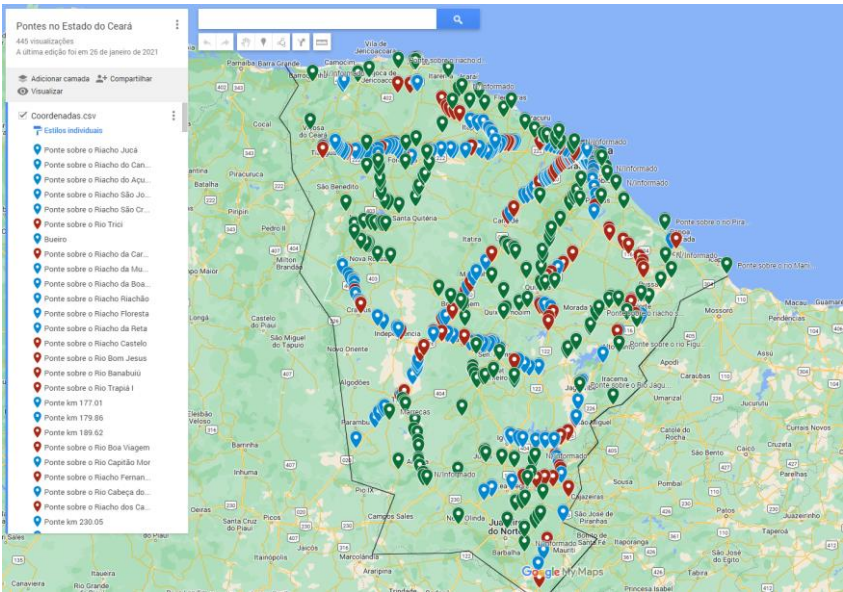
localização de 211 pontes de responsabilidade do Governo do estado. Ainda pela Figura 2, destacam-se em vermelho as pontes federais em estado problemático, em azul as pontes federais em bom estado, em cinza as pontes de condição não identificada e em verde as pontes estaduais já catalogadas. O estado do Ceará é dividido em sete mesorregiões que convergem características econômicas e sociais. A Tabela 1 apresenta o quantitativo da distribuição de pontes por mesorregião.

Tabela 1 - Distribuição das pontes por mesorregião

Distribuição das pontes por mesorregião					
Mesorregião	Estado de conservação				
	Boa	Regular	Problemática	Não identificada	Estadual
Noroeste	22	19	16	3	43
Norte	20	10	20	1	29
Região Metropolitana de Fortaleza	52	26	16	26	21
Sertões cearenses	26	26	28	2	53
Jaguaribe	2	8	13	0	23
Centro Sul	2	6	11	11	12
Sul	1	3	2	0	11

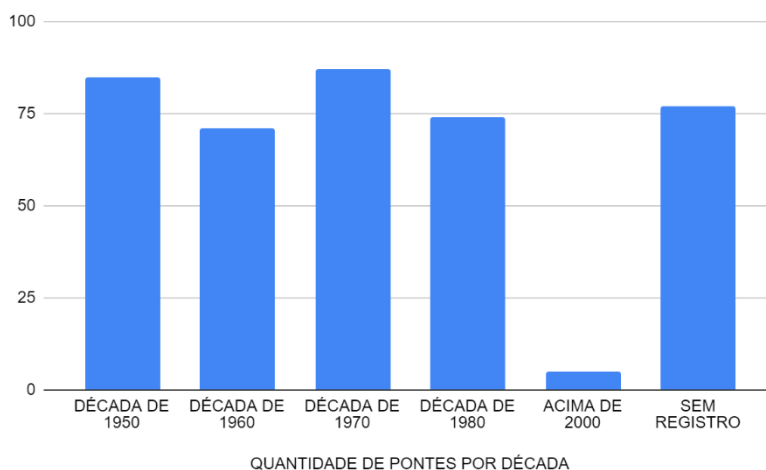
A catalogação das pontes estaduais se deu por meio dos softwares livres: *Google Earth* e *Google Maps*.

Figura 2 - Mapa das pontes do estado do Ceará



Além das informações geográficas, foi possível construir uma base de dados através do SGO (Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais) referente à data de construção das pontes, de maneira a observar a idade das OAEs federais localizadas no estado do Ceará de acordo com a Figura 3.

Figura 3 - Quantidade de pontes federais no estado de acordo com a década de construção



Como observado na Figura 3, a maioria das pontes foi construída antes da década de 90, mostrando que a maior parte delas possuem idades superiores a 30 anos. Também foi possível observar, durante a pesquisa, que o problema mais corriqueiro das estruturas das pontes, é o descobrimento da armadura de todos os elementos estruturais, comprovando que a agressividade ambiental é um dos principais problemas para a degradação das pontes, já que a através é das aberturas na estrutura que os agentes nocivos do meio ambiente vão adentrar no interior da estrutura.

Um ponto interessante para se atentar é em relação à norma sob qual, cada ponte foi construída. Criada em 1940, a NBR 6118, chamada anteriormente de NB-1, regia a construção de obras de concreto armado, como é o caso das pontes do estado. A norma passou por diversas mudanças e ajustes ao longo das décadas, logo, faixas de cobertura, especificações de materiais, durabilidade, qualidade do concreto lançado e métodos construtivos, variam de acordo com a década em que a ponte foi construída, podendo afetar diretamente na conservação da estrutura.

4.2. Mapeamento da agressividade ambiental

Quanto mais agressivo o ambiente, mais propensas estarão as pontes e viadutos a manutenções preventivas e interventivas ao decorrer de sua vida útil. Nesse sentido, através do software livre QGIS, foi possível a criação de um mapa que classifica os municípios do estado do Ceará de acordo com a taxa de agressividade do ambiente. Através da base de dados do trabalho de Luna *et al.* (2008) e Sousa e Silva (2011), que buscou verificar a concentração de cloretos livres presentes no ar do estado do Ceará em municípios estratégicos do estado, tabela 2. Assim, foi possível interpolar os dados da concentração de cloretos para as outras cidades. A interpolação foi feita através do software Surfer, e assim, foi possível extrair um valor para cada município e elaborar o mapa de agressividade do estado.

Tabela 2 - Média da concentração de cloretos do trabalho de Luna *et al* (2008)

Identificação da Estação	Concentração de Cloretos (Cl-/m2.dia)
Itapipoca	38,2325
Acaraú	87,8175
Sobral	45,0675

Camocim	540,98
Inhuçu	31,4
Nutec	38,8475
Cofeco	2404,8525
Maracanaú	23,63
Pecém	39,9
B. Sucatinga	279,6275
Itaíçaba	52,67
Aracati	15,86
Limoeiro	23,22
Quixadá	18,84
Crateús	15,99
Iguatu	24,7
Crato	26,515
Guaramiranga	67,1075
Pacoti	23,275

O mapa de agressividade (Figura 4) foi gerado com camadas disponibilizadas gratuitamente na internet pelo governo e pelo Google, assim, com o lançamento da base de dados e com a interpolação realizada no Surfer através dos dados da Tabela 2.

Pode-se verificar que, como esperado, as maiores concentrações de cloreto estão presentes nas regiões da faixa litorânea do estado, entre os valores de 500 Cl-/m².dia e 2.405 Cl-/m².dia, sendo em Cofeco, a maior concentração registrada de 2404,8525 (Cl-/m².dia), e que a maior parte do estado não apresenta altas concentrações, porém, a presença dos íons cloretos não é nula.

Na Figura 5, tem-se o mapa que contempla as mesorregiões juntamente com as pontes estaduais e federais, indicadas na legenda do mapa. Desta maneira, conseguimos analisar a quantidade de pontes em cada mesorregião e verificar quais pontes estão inseridas nas regiões mais agressivas e ainda onde estão localizadas as pontes em situações mais precárias. Com a integração das informações na revisão bibliográfica do artigo, foi possível a confecção do mapa que reúne as pontes estaduais e federais, figura 6, em conjunto com o mapeamento da agressividade do Ceará. Este mapa, é a base para demonstrar a quantidade de pontes presentes em áreas de alta agressividade ambiental. Ainda pela figura 6, nota-se que algumas pontes estão bem próximas à região costeira e à região metropolitana de Fortaleza. Assim, percebe-se que a maior parte das pontes que se encontram nas regiões de alta agressividade ambiental, são pontes Estaduais, cuja quais não obtivemos dados suficientes para classificá-las de acordo com o estado de degradação.

Figura 4 - Mapeamento da agressividade ambiental no estado do Ceará.

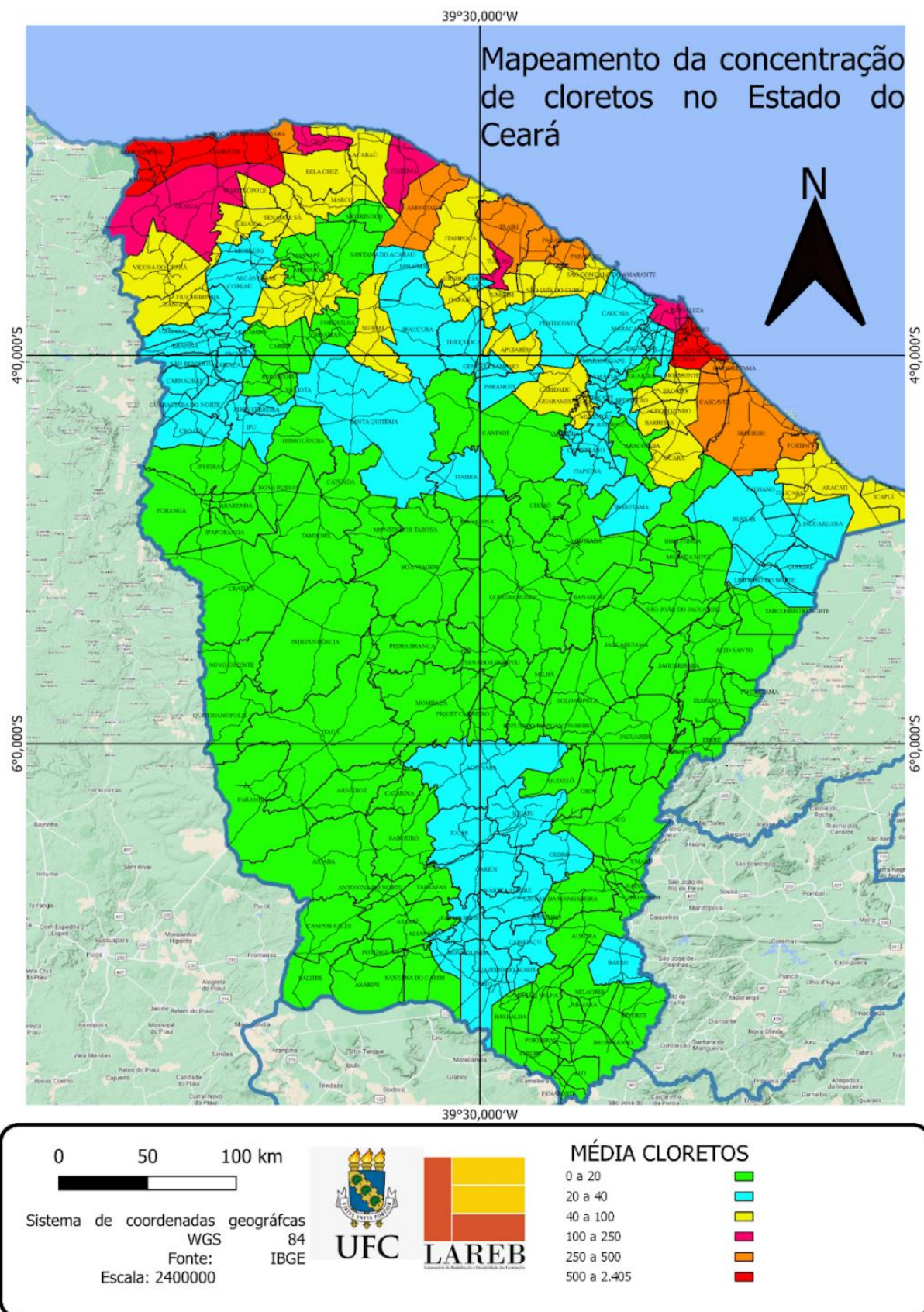


Figura 5 - Localização das pontes Estaduais e Federais de acordo com as mesorregiões

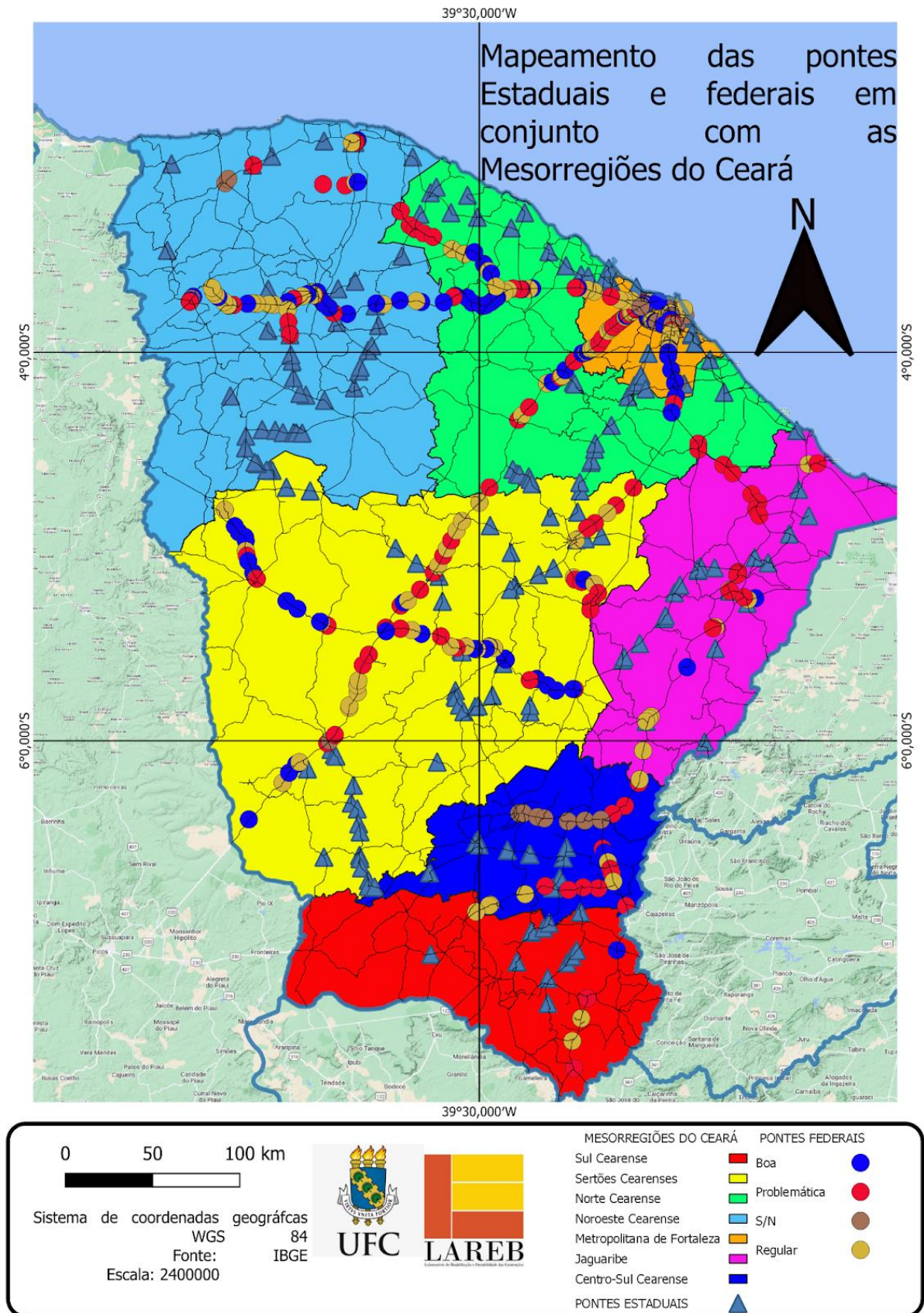
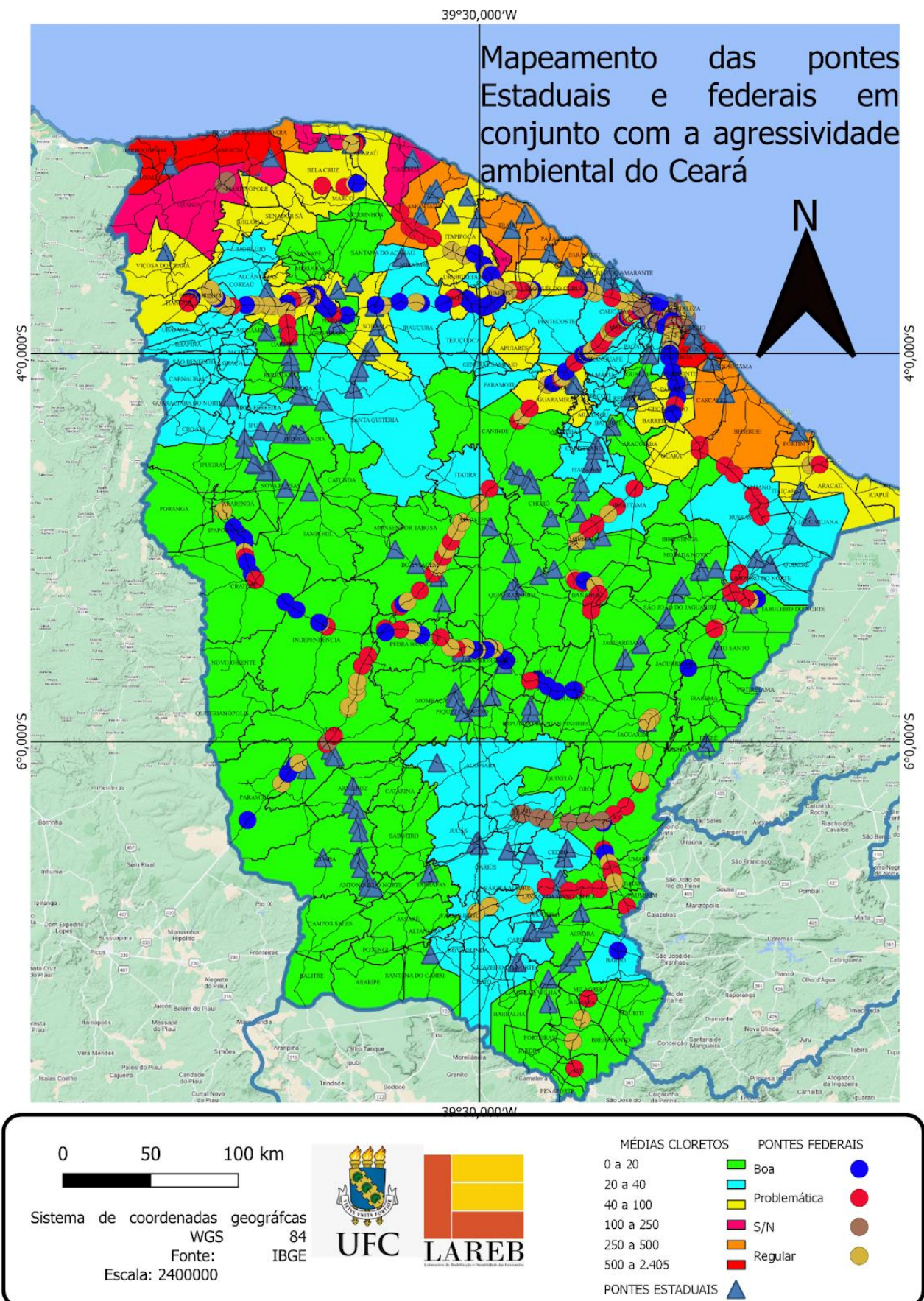


Figura 6 - Mapeamento da agressividade ambiental no estado do Ceará em conjunto com a localização das pontes estaduais e federais do estado.



5. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo o mapeamento da agressividade ambiental nas cidades do estado do Ceará e das pontes estaduais e federais, a fim de indicar as OAEs que possuem uma maior vulnerabilidade quanto à agressividade ambiental. Observou-se que 40 das 113 pontes federais que receberam nota 1 (Problemática), ou seja, a pior nota que o DNIT atribui às pontes, encontram-se em zonas de agressividade ambiental elevada, com concentração de cloretos entre 500 Cl-/m².dia e 2.405 Cl-/m².dia, como é o caso das pontes da região de Fortaleza, da região metropolitana da capital do estado e ainda das pontes de cidades costeiras.

Verificou-se que cerca de %%% das pontes foram construídas antes da década de 90, mostrando que a maior parte delas possuem idades superiores a 30 anos. As pontes que receberam notas 1 e 2, que se encontram em zonas de agressividade ambiental menos agressivas, possuem mais tempo de construção, ultrapassando os 70 anos. Entende-se que com as informações apresentadas neste trabalho, será possível determinar através do mapeamento, as pontes que deverão ter uma maior atenção e, consequentemente, as que deverão ter um menor tempo entre os períodos de vistoria.

É relevante salientar a importância da agressividade ambiental para com a degradação das obras de artes especiais, já que esse fenômeno impacta diretamente na qualidade das armaduras e consequentemente na vida útil dessas estruturas.

Analizando as informações extraídas do mapeamento, vislumbra-se a possibilidade de estudar rotas de inspeções que priorizem as pontes mais vulneráveis, e que também, aumentem o prazo de vistoria para pontes que não necessitem de tanta atenção, evitando assim, gastos desnecessários com deslocamentos, logística e com o emprego de equipes técnicas especializadas.

6. Referências

- BORBA JUNIOR, J. C. Agressividade ambiental em zona de atmosfera marinha: estudo da deposição de cloretos e sua concentração em concretos na região sudeste. 2011. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2011.
- DNIT. Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Norma DNIT 010/2004 - Pro. Brasil, 2004
- Dongho Jeon, Jahe Jung, Jisun Park, Jiyoung Min, Jae Eun Oh, Juhyuk Moon, Jong-Suk Lee, Seyoon Yoon, Predicting airborne chloride deposition in marine bridge structures using an artificial neural network model, Construction and Building Materials, Volume 337, 2022, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127623>.
- Luna, A. M., et.al. (2008), “Mapeamento da Corrosividade Atmosférica do Estado do Ceará”. INTERCORR 2008. Recife, Brasil.
- Mukunda Madhab Borah, Abhijeet Dey, Arjun Sil, Service life assessment of chloride affected bridge located in coastal region of India considering variation in the inherent structural parameters, Structures, Volume 23, 2020, Pages 191-203, ISSN 2352-0124, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.09.020>.
- PONTES, Ronaldo B. Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, 2006.
- SILVA, Felipe A. S. Avaliação de teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia do futuro em Fortaleza/Ce. 2011. 59f. Monografia – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- T. Cadenazzi, H. Lee, P. Suraneni, S. Nolan, A. Nanni, Evaluation of probabilistic and deterministic life-cycle cost analyses for concrete bridges exposed to chlorides, Cleaner Engineering and Technology, Volume 4, 2021, ISSN 2666-7908, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100247>.