

O Meio Ambiente no Entorno da Ponte Rio-Niterói e sua Influência na Vida Útil em Serviço das Estruturas

*Carlos Henrique de Paiva Siqueira¹
Ricardo Barboza da Silva²*

Resumo

Este estudo visou elucidar quanto ao estado do concreto das fundações do trecho sobre o mar que se encontram expostas à ambiência marinha há mais de quatro décadas, com o agravante da poluição das águas da Baía de Guanabara, bem como, estudar as condições de influência da ambiência no concreto fora do meio aquoso, porém exposto a diversidade das intempéries e a agressividade do meio industrial proporcionada pelo Bairro de São Cristóvão. Para tanto, este estudo serviu-se da realização de diversos ensaios laboratoriais.

Com o intuito de tomar ciência da realidade que se passa em uma obra situada no meio rural, onde não ocorre qualquer comprometimento da durabilidade provocado por águas cloretos, sulfatos ou outras substâncias nocivas ao concreto, mas tão somente por águas pluviais, o estudo foi estendido com a extração de corpos de prova de uma obra situada nessas condições.

Os resultados dos ensaios com os corpos de prova extraídos dos tubulões, assim como das camisas metálicas, bem como do concreto das estruturas do acesso Rio de Janeiro e da obra em meio rural, confirmaram que a ponte foi esmeradamente construída, e que a dosagem do concreto de suas fundações no trecho sobre o mar fornece segurança do ponto de vista da durabilidade, com perspectivas de uma vida útil dilatada.

O desgaste das chapas metálicas dos tubulões, representadas por corpos de prova retirados da forma perdida desses segmentos, mostraram que esse dispositivo ainda permanecerá durante muitos anos a contribuir no guarnecimento do concreto das fundações do trecho sobre o mar.

Os testes ligados à durabilidade comprovaram também o bom desempenho do concreto frente à condutividade hidráulica.

Os índices captados nos testes ainda dão indicações seguras quanto à resistência à compressão do concreto da ponte, verificando-se valores muito além do que necessariamente exigido pelo projeto.

Palavras-chave: Ponte Rio-Niterói; Durabilidade; Vida Útil.

1 Introdução

Este artigo trata dos resultados colhidos e as conclusões obtidas com a realização de estudo sobre “O Meio Ambiente no Entorno da Ponte Rio-Niterói e sua Influência na Vida Útil em Serviço das Estruturas”, realizada durante o período de maio de 2013 a janeiro de 2014.

2 Aspectos Preliminares

Com 9 dos seus 14 km de extensão sobre as

águas da Baía de Guanabara (cerca de 65%), a Ponte Rio-Niterói encontra-se permanentemente sujeita a agressividade ambiental proporcionada por essa situação. Os demais 5 km que compõem os Acessos Rio de Janeiro, incluindo o elevado da Avenida Rio de Janeiro, e Niterói, também são atingidos por essa ambiência, ainda que de forma menos ofensiva (Figura 1).

Uma significativa área de concreto com cerca de 800.000 m² no trecho sobre o mar encontra-se diretamente exposta à ação da agressividade do meio ambiente, seja pelo contato direto com a água, pelo sistema oscilatório de maré, ou ainda pela influência dos ventos que carregam partículas das águas sulfatadas da Baía de Guanabara e depositam nessas superfícies.

1 Consultor Ecoponte. carloshsiqueira@yahoo.com.br

2 Consultor Independente. rikardobarboza@yahoo.com.br

Segundo Metha e Monteiro (1994), no ambiente marinho, a água salgada é o principal agente responsável por processos físicos e químicos de degradação. Isto se explica pelo fato de que na água do mar é possível se encontrar todos os elementos naturais conhecidos da tabela periódica, cada um em uma determinada proporção.

A zona de alternância das águas, provocada pelo ciclo que forma as tábuas de maré, é a mais agredida, em razão de que a molhagem e secagem sazonais, deixa impregnados sais deletérios na epiderme do concreto, que interferem diretamente em sua qualidade ao longo dos anos, especialmente quando a armadura é atingida.

A NBR 12.655 indica as classes de agressividade ambiental a que as pontes e viadutos estão sujeitas. No caso da ponte, ela se enquadra na categoria III, que é aquela ligada as zonas marinhas e industriais, com grande poder de ataque ao concreto advindo do meio ambiente.

No entorno da ponte não há arrebenção que provoque os respingos de maré, com formação de névoa salina, o que certamente reduz o grau de agressão, mas a passagem de navios dos mais variados portes pelos canais navegáveis, ou outras embarcações de menor tamanho nos vãos secundários, agita as águas e essas se tornam mais turbulentas e, conseqüentemente, resultam em maiores superfícies de molhagem e secagem alternadas.

Os acessos Rio e Niterói não sofrem de forma tão intensa a ação da agressividade do meio marítimo induzido pela Baía de Guanabara, mas alguma parcela desta ambiência também incide nas estruturas em concreto desses segmentos, principalmente no acesso Rio, e especialmente no elevado da Avenida Rio de Janeiro, devido sua proximidade.

No acesso Niterói o ataque do meio proporcionado pela Baía de Guanabara é mais brando, em razão da maior distância entre os dois locais.

Conquanto a Ponte Rio-Niterói tenha sido esmeradamente edificada, fazendo uso de técnicas inovadoras há 40 anos, mas ainda em pleno uso eficazmente, e com a utilização de aglomerante do tipo resistente a sulfatos (atualmente regido pela NBR 737), e ainda primando por espessuras de cobertura das armaduras de acordo com o projeto, o meio ambiente e o tempo estão permanentemente agindo sobre ela e são implacáveis em seu poder de ataque ao concreto.

Por outro lado as águas da Baía de Guanabara carregam um estado de poluição que constantemente gera críticas por parte da sociedade e, principalmente, dos envolvidos com o meio ambiente, conforme notícias veiculadas nas imprensas. Dessa forma, adicionalmente às degradações que possam surgir decorrentes da própria água sulfatada da baía, as impurezas nela despejadas pelas mais diversas fontes (esgotos a céu aberto, lixo das comunidades no



Figura 1 – Localização da área de estudos.

seu entorno, detritos de navios fundeados, etc.) podem ocasionar situação muito comprometida à durabilidade e à vida útil da ponte.

Sobreviver ao tempo com estabilidade estrutural assegurada, durabilidade que garanta vida útil por anos, que justifique os elevados investimentos construtivos e de manutenção, e assegurando confiança aos usuários, é tarefa das mais importantes para salvar o maior patrimônio rodoviário brasileiro. E, para tanto, pesquisas da sanidade das estruturas de concreto são primordiais, como a que este artigo se refere.

3 Escopo da Pesquisa

Os estudos experimentais visaram elucidar quanto ao estado do concreto das fundações do trecho sobre o mar que se encontram expostas à ambiência marinha há mais de quatro décadas, com o agravante da poluição das águas da Baía de Guanabara. Desejou-se conhecer o grau de ataque ao concreto dos tubulões nas zonas de variação de maré, permanentemente submersas e naquelas em que apenas a aeração marinha é incidente, verificando, caso os resultados permitissem, a possibilidade de traçar um prognóstico de vida útil para estas estruturas, mesmo sabendo que isto envolve outras particularidades e estudos probabilísticos, portanto de grande dificuldade.

Em paralelo, almejou-se, também, estudar as condições de influência da ambiência do concreto fora do meio aquoso, porém, exposto a diversidade das intempéries e a agressividade do meio industrial proporcionada pelo bairro de São Cristóvão. Os dois graus de exposição englobam e representam bem os diferentes tipos de meio ambiente agindo sobre as estruturas da Ponte Rio-Niterói.

Para o que se pretendia, é a seguir apresentada a programação de testes que foi posta em prática, considerando-se todas as condições de exposição mencionadas.

3.1 Nas estruturas do acesso Rio de Janeiro

As estruturas do acesso Rio de Janeiro têm duas distintas situações, no tocante ao meio ambiente: o elevado da Avenida Rio de Janeiro, trecho totalmente no interior do cais portuário, portanto mais perto da Baía de Guanabara, e as rampas de acesso à ponte, que ficam mais distantes das águas deste acidente geográfico. Apesar de estarem próximas, as situações de exposição são diferentes, havendo maior facilidade de alcance da aeração marinha no elevado da Avenida Rio de Janeiro do que nos eixos extremos das rampas próximos às entradas ou às saídas da ponte.

Em assim sendo, as seguintes ações nortearam esta pesquisa nas estruturas próximas ao Acesso Rio de Janeiro:

1 – escolha de um pilar no elevado da Avenida Rio de Janeiro mais próximo da Baía de Guanabara, que é aquele formado pelos eixos 394, e um vão no mesmo elevado, porém, mais afastado das águas, que foi o 388/389;

2 – vistoria detalhada das estruturas componentes desses vãos, com informações precisas do estado patológico de cada membro formador das meso e superestruturas;

3 – se o item anterior exibisse qualquer tipo de anomalia, esta não deveria ser reparada no momento, porém caracterizada em todos os aspectos, para observação ao longo da pesquisa de eventuais alterações. Logicamente, se a lesão tivesse comprometimento estrutural ela seria prontamente recuperada;

4 – extração de dois corpos de prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm, um de cada face maior do eixo 394, que é um pilar parede, a cerca de 1,00 m de altura com relação ao nível do terreno. Este eixo, por ter grandes dimensões, se constitui em uma imensa barreira para recebimento dos ares marinhos, e representa bem a influência do meio ambiente no tocante à atmosfera sobre a peça estrutural. Das mesmas faces foi sacado um corpo de prova de 10 cm x 20 cm. Assim, foram retirados quatro espécimes;

5 – extração de dois corpos de prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm, um de cada face maior do pilar único do eixo 388, distante cerca de 192 m do pilar parede 394, na mesma cota de onde foram sacados os testemunhos do subitem anterior, e um corpo de prova de 10 cm x 20 cm das mesmas faces. Nesse caso, também foram sacados quatro corpos de prova;

6 – envio dos corpos de prova para laboratório capacitado a realização de ensaios de resistência à compressão e análise química do material, para detecção de eventual percentagem de incrustação de contaminantes provenientes da aeração marinha, em várias profundidades das amostras.

7 – análise e avaliação dos resultados dos ensaios, de forma a elucidar quanto à influência do meio ambiente nos dois eixos, um distante 40,00 m da Baía de Guanabara, e outro aproximadamente cinco vezes mais afastado, no que concerne ao recebimento da aeração nas distintas faces;

8 – fechamento com graute tixotrópico dos furos nas peças estruturais;

Para essa condição de exposição foram retirados, por conseguinte, quatro corpos de prova de 5 cm x 10 cm, e quatro nas dimensões 10 cm x 20 cm.

3.2 Nos canais navegáveis

A pesquisa nos canais navegáveis fez uso do eixo auxiliar P98A. A indicação do P98A levou em conta se tratar de um eixo cujos tubulões são iguais a todos os demais da Ponte Rio-Niterói, porém, com a vantagem de não estarem em serviço, o que reduz a extração de corpos de prova do concreto de peças estruturais.

A abrangência da pesquisa no trecho sobre o mar envolveu três áreas com distintos graus de exposição, a saber, zona permanentemente submersa, com alternância de maré, e apenas com incidência da aeração marinha. Nas regiões permanentemente submersas e naquelas onde ocorrem oscilações de maré, o concreto está submetido aos contaminantes naturais inerentes à própria água da Baía de Guanabara, com o agravante da presença de outras substâncias deletérias ao concreto, decorrentes da poluição advindas das áreas em seu entorno.

A pesquisa abrangeu as seguintes ações, sequenciando as atividades propostas para o acesso Rio de Janeiro:

10 – contratação de uma empresa com experiência em vistoria subaquática para realização das ações a seguir indicadas.

11 – corte e retirada de pedaços da camisa metálica de três tubulões do eixo P98A, escolhidos aleatoriamente, porém de zona permanentemente submersa. Cada placa extraída das camisas teve diâmetro igual aos dos testemunhos retirados do concreto dos tubulões, alguns com 10 cm e outros com 15 cm. A opção por placas metálicas cilíndricas, ao invés de outra forma geométrica, como originalmente sugerida, baseou-se na melhor continuidade dos serviços, posto que a própria extratora com broca diamantada usada no concreto prosseguiu a sua jornada retirando, primeiramente, as amostras da forma perdida dos tubulões. Por outro lado, o corte com a extratora permitiu um corpo de prova com dimensões mais precisas, já que não carece de qualquer ajuste final com retirada de aparas, ou acerto de rebarbas;

12 – extração de três corpos de prova de concreto dos tubulões, um de cada local onde foram

retiradas as placas metálicas. O diâmetro dos corpos de prova foi de acordo com as imposições normativas atuais, situando-se em 10 cm e 15 cm, em função de cada ensaio, conforme exibido nos laudos adiante anexados;

13 – pesagem das placas em balança com precisão de um grama e sensibilidade de 0,1 grama, após o que os pesos foram comparados com o valor teórico de um arco de camisa metálica com diâmetro igual a 1,80 m, com espessura de 9,525 mm. Esse procedimento permitiu indicar, percentualmente, a redução da espessura das chapas metálicas devido a ação do meio ambiente em contato com elas, na zona permanentemente submersa. Para conferência do processo, os corpos de prova metálicos também tiveram seus volumes determinados pelo princípio de Arquimedes, ao serem colocados em recipiente contendo água, medindo-se o volume do líquido extravasado.

14 – envio dos corpos de prova de concreto extraídos dos tubulões para unidade laboratorial capacitada à realização dos testes de porosidade, absorção, permeabilidade e penetração de água.

15 – análise química dos corpos de prova para verificação de eventuais deposições de sulfatos e/ou cloretos no concreto dos tubulões, a várias profundidades, verificando-se a que nível atingiram em relação às armaduras.

16 – repetição das ações de números 11 a 16, em parte dos tubulões que se encontrava em zona de alternância de maré, e em área apenas incidida pela ação dos ventos marinhos;

17 – coletada água da Baía de Guanabara na cota onde foram extraídos os corpos de prova submersos, e na parte a céu aberto;

18 – envio das amostras de água coletadas no subitem anterior para o laboratório, visando o conhecimento da análise química e bacteriológica de seu conteúdo;

19 – análise dos resultados dos ensaios para constatação da influência do meio ambiente sobre o concreto garantido pelas camisas metálicas;

Nessas condições de exposição foram extraídos dos tubulões 18 corpos de prova, sendo nove em concreto e nove em placa metálica, e oito testemunhos de concreto de pilares no acesso Rio de Janeiro (Tabela 1).

Como exemplificado, a pesquisa abrangeu a extração de 17 corpos de prova de concreto, sendo quatro

nas dimensões de 5 cm x 10 cm, quatro nas dimensões 10 cm x 20 cm, e os outros nove com dimensões entre 10 cm e 15 cm de diâmetro, além dos corpos de prova das chapas metálicas, conforme indicação adiante.

3.3 Em obra rural

Com o intuito de tomar ciência da realidade que se passa em uma obra situada no meio rural, onde não ocorre qualquer comprometimento da durabilidade provocado por águas cloretos, sulfatos ou outras substâncias nocivas ao concreto, mas tão somente por águas pluviais, a pesquisa foi estendida com a extração de corpos de prova de 5 cm x 10 cm, em uma obra situada nessas condições. A obra selecionada para esta particularidade foi uma passarela em concreto na rodovia RJ-124 na cidade de Rio Bonito. A idéia foi averiguar em laboratório a eventual concentração de qualquer tipo de contaminante a várias profundidades dos corpos de prova dela extraídos, possibilitando comparar com os resultados advindos da Ponte Rio-Niterói.

4 Resultados Obtidos

De forma a uma melhor visualização são apresentados adiante os valores obtidos em cada distinta situação.

4.1 Vistoria do acesso Rio de Janeiro

As estruturas de concreto situadas no entorno do pilar 394 e no vão 388/389 (Figuras 2 e 3), tanto a mesoestrutura quanto a superestrutura, foram vistoriadas visualmente com o auxílio de uma plataforma aérea de trabalho (MOOG), para fornecer condições de acesso tátil, não tendo sido detectada qualquer manifestação patológica. As estruturas, por conseguinte, se encontram em perfeitas condições de serventia.

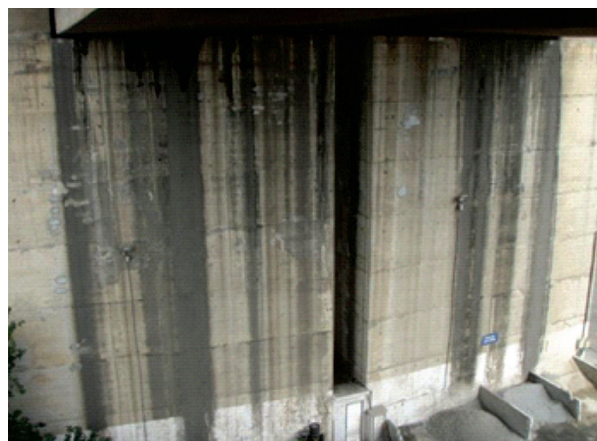


Figura 2 – Vistoria das estruturas no entorno do pilar 394.



Figura 3 – Vistoria das transversinas do eixo 388/389.

4.2 Águas da Baía de Guanabara

Com a finalidade de avaliar os teores de contaminantes existentes nas águas da Baía de Guanabara, e assim poder caracterizar o ambiente marinho circundante à Ponte Rio-Niterói, foram coletadas amostras desse líquido em dois distintos locais, sendo um nas proximidades dos eixos 113/114 (Tabela 1), e o

Tabela 1 – Localização, quantidade e dimensões dos corpos de prova e ensaios realizados.

LOCAIS	Nº de CP	DIMENSÕES	ENSAIOS
Acesso Rio de Janeiro	8	5 cm x 10 cm (4) 10 cm x 20 cm (4)	Análise química e resistência à compressão
Canais Navegáveis (tubulões)	9	10 e 15 cm de diâmetro	Porosidade, absorção, permeabilidade e penetração de água
Canais Navegáveis (camisa metálica)	9	10 e 15 cm de diâmetro	Pesagem e perda de seção transversal

outro nas circunvizinhanças do eixo 98, próximo ao local de onde foram extraídos os corpos de prova das camisas metálicas e do concreto dos tubulões.

Na coleta da água foram tomadas todas as precauções. O material foi coletado na superfície e a 4,00 m de profundidade, fazendo uso de recipiente especial conhecido por “garrafa Van Dorn”. Imediatamente após a extração da amostra, foram determinados os índices de salinidade, condutividade e o pH, com sensores portáteis. O restante da água extraída da Baía de Guanabara foi preservado em refrigeração, para não perder as suas propriedades originais (Figuras 3, 4 e 5).

Em laboratório foram avaliadas duas distintas situações julgadas importantes para a pesquisa, a saber, os parâmetros considerados corrosivos, ou seja, aqueles que têm influência direta na durabilidade do concreto, e os parâmetros voltados a qualidade da água, tendo em conta que a Baía de Guanabara recebe resíduos das mais variadas naturezas que fomentam a sua poluição.



Figura 4 – Coleta de água da Baía de Guanabara, em parte profunda, mostrando a colocação inicial da “garrafa Van Dom”.



Figura 5 – Determinação do pH da água com o condutivímetro, e temperatura com multisonda.



Figura 6 – Avaliação da salinidade da água com o refratômetro.

Isto posto, em laboratório procedeu-se a verificação dos parâmetros listados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Parâmetros e métodos aplicados.

Parâmetros	Métodos
Cloreto	SM 4500 CI
Turbidez	SM 2130B
Fosfato/Ostofosfato	SM 4500 P E
Amônia	SM 4500 F
Alcalinidade	SM 2320 B
pH	SM 4500 H B
Sulfato	SM 4500 SO E
Sólido Dissolvido Total	SM 2540 C
Fluoretos	SM 4500 F D

Tabela 3 – Parâmetros e métodos aplicados.

Parâmetros	Métodos
Nitrogênio Total	SM 4500N-C
Salinidade	SM 2520B
Condutividade	SM 2510
Carbono Orgânico Dissolvido	SM 5310
Enxofre	US EPA 300.0(B)
Cálcio Total	SM 3030F/3111B
Magnésio Total	SM 3030F/3111B
Potássio Total	SM 3030F/3111B
Selênio Total	SM 3030F/3111B
Sódio Total	SM 3030F/3111B
Bromatos	US EPA 300.1
Coliformes Totais	SM 9233
Escherichia coli	SM 9233

Tabela 4 – Exemplos de composição de águas superficiais.

mg/L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ca ²⁺	0,8	0,65	40,7	1,68	14	22	241	400	144	6,5	3,11	4.540
Mg ²⁺	1,2	0,14	7,2	0,24	13	17	7200	1.350	55	1,1	0,7	160
Na ⁺	9,4	0,56	1,4	0,16	8	14	83.600	10.500	~27	~37	3,03	2,740
K ⁺	–	0,11	1,2	0,31	–	0,5	4.070	380	~2	~3	1,09	32
HCO ₃ ⁻	4	–	114	5,4	104	129	251	28	622	77	20	55
SO ₄ ⁻	7,6	2,2	36	1,3	4,7	1,3	16.400	185	60	15	1	1
Cl ⁻	17	0,57	1,1	0,06	8,5	33	140.000	19.000	53	17	0,5	12,600
TDS	38	4,7	207	10	120	180	254	35.000	670	222	36	20.338
pH	5,5	–	–	6,9	7,7	7,0	7,4	–	–	6,7	6,2	6,5

Fonte: <http://www.waterencyclopedia.com/En-Ge/Fresh-Water-Natural-Composition-of.html>

Descrição das fontes: (1) Água de chuva, Menlo Park, Califórnia (2) Média de águas de chuva coletadas na Carolina do Norte e em Virginia (3) Água do Rio Reno nos Alpes (4) Drenagem de rochas ígneas nas Washington Cascades (5) Ribeirão Jump-Off Joe, SW Oregon, estação chuvosa, Nov.-1990 (6) Ribeirão Jump-Off Joe, SW Oregon, estação seca, Set.-1991 (7) Great Salt Lake, Utah (8) Água do mar (9) Água subterrânea em calcário da Formação Supai, Grand Canyon (10) Água subterrânea de rochas vulcânicas do Novo México (11) Água subterrânea de uma fonte das montanhas da Serra Nevada, com pequeno tempo de residência (12) Água subterrânea em rochas metamórficas no Canadá, com longo tempo de residência.

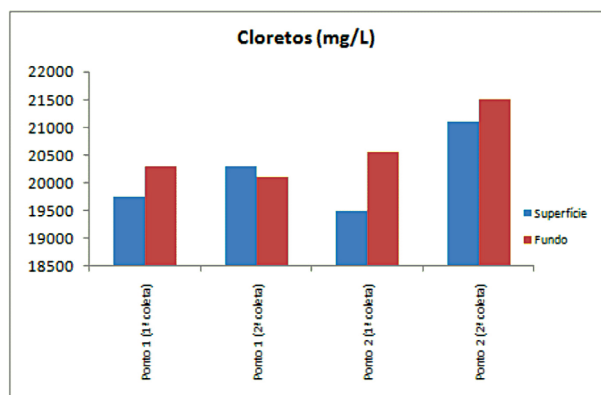
– Parâmetros corrosivos

– Cloretos

A determinação do percentual de cloretos foi realizada na superfície e abaixo dela, tendo sido verificado que, apesar da influência da ação de diluição dos rios que chegam à Baía de Guanabara, os percentuais encontrados foram elevados (Tabela 4 e 5 e Figura 7).

Tabela 5 – Classificação da agressividade do ambiente visando a durabilidade das armaduras.

Classe de agressividade	Cloretos Cl ⁻ no ambiente
fraca	≤ 200 mg/L
média	< 500 mg/L
forte	> 500 mg/L

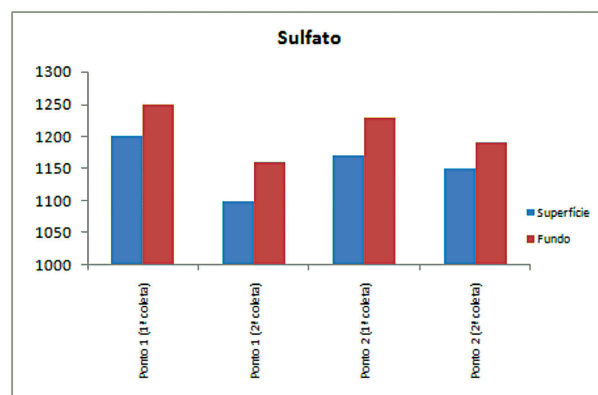
**Figura 7** – Resultados obtidos na campanha.

– Sulfato

Os ensaios revelaram um teor de sulfato muito elevado, prejudicial ao concreto da ponte (Tabela 6 e Figura 8).

Tabela 6 – Classificação da agressividade do ambiente visando a durabilidade das armaduras.

Sulfato (SO ₄ ²⁻), mg/L	Normal	Fraco	Forte	Muito Forte
	DIN 4030	200 - 600	600 - 3000	Acima de 3000
	CSA	150 - 1000	1000 - 2000	Acima de 2000

**Figura 8** – Resultados obtidos na campanha.

– Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH da água examinada se apresentou com fraca agressividade (Tabela 7 e Figura 8).

Tabela 7 – Classificação da agressividade do ambiente visando a durabilidade das armaduras.

	Normal	Fraco	Forte	Muito Forte
pH	DIN 4030	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	Abaixo de 4,5

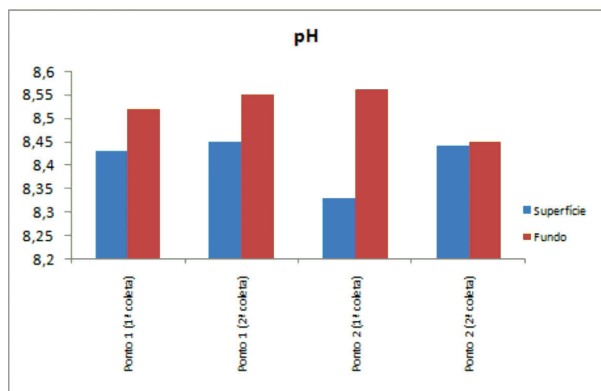


Figura 9 – Resultados obtidos na campanha.

– Magnésio

Sob o aspecto do teor de magnésio as amostras se enquadram como de alto poder agressivo (Tabela 8 e Figura 10).

Tabela 8 – Classificação da agressividade do ambiente visando a durabilidade das armaduras.

	Norma	Fraco	Forte	Muito Forte
Magnésio (Mg++) (mg/l)	DIN 4030	100 – 300	300 – 1500	Acima de 1500

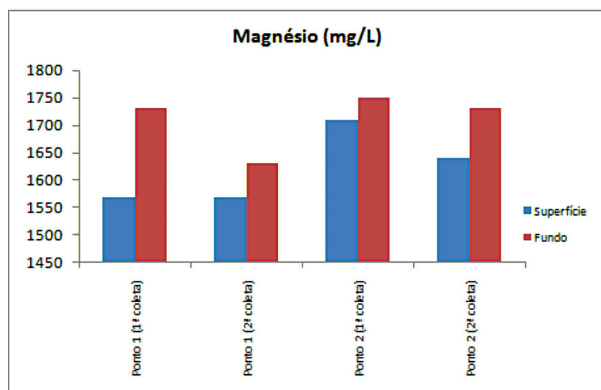


Figura 10 – Resultados obtidos na campanha.

– Amônia

Quanto as concentrações de amônia, os valores se apresentaram abaixo dos limites de detecção. Este fato se explica devido a amônia ser a forma mais instável do nitrogênio, em ambientes oxidados. Assim sendo, no tocante a amônia, as amostras coletadas podem ser classificadas como não agressivas ao concreto (Tabela 9 e Figura 11).

Tabela 9 – Classificação da agressividade do ambiente visando a durabilidade das armaduras.

	Norma	Fraco	Forte	Muito Forte
Amônia (NH ₄) (mg/l)	DIN 4030	100 – 300	300 – 1500	Acima de 1500

– Parâmetros de qualidade da água

– Fósforo

O fósforo é um elemento químico essencial à vida aquática e ao crescimento de microorganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, e na forma de fosfatos dissolvidos é um importante nutriente para produtores primários. Também pode ser o fator limitante da produtividade primária de um curso d'água.

O lançamento de despejos ricos em fosfatos num curso d'água pode, em ambientes com boa disponibilidade de nutrientes nitrogenados, estimular o crescimento de micro e macroorganismos fotossintetizadores, chegando até o desencadeamento de florações indesejáveis e oportunistas, que podem chegar a diminuir a biodiversidade do ambiente (eutrofização) (Baumgarten *et al.*, 1996).

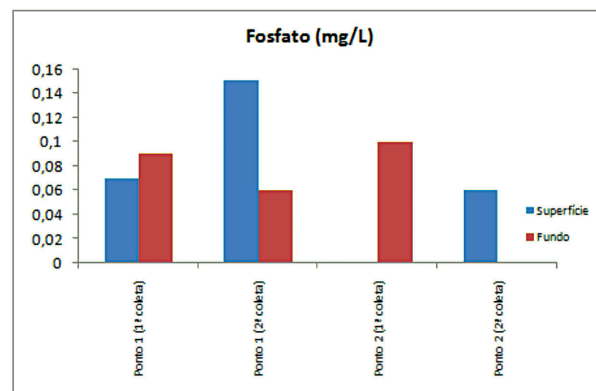


Figura 11 – Resultados obtidos na campanha.

Segundo Water Quality Criteria (1976), algumas das origens dos fosfatos em águas são: a) constituintes

de detergentes, aparecendo em produtos de limpeza e enriquecendo as águas residuárias urbanas; b) constituintes de fertilizantes, que são levados pelas chuvas até cursos d'água ou em resíduos não-tratados de indústrias de fertilizantes; c) presentes em sedimentos de fundo e lodos biológicos, na forma de precipitados químicos inorgânicos.

Os teores encontrados estão em consonância com os valores previstos para a Baía de Guanabara.

– Alcalinidade

A alcalinidade é a medida da capacidade que a água tem de neutralizar ácidos, isto é, a quantidade de substâncias na água que atuam como tampão (American Public Health Association, 1998). É a soma de todas as bases tituláveis.

Essa capacidade é devido à presença de bases fortes, de bases fracas e de sais de ácidos fracos. Os compostos responsáveis pela alcalinidade total são sais que contêm carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) e, secundariamente, aos íons hidróxidos, como cálcio e magnésio, silicatos, boratos, fosfatos e amônia (Tabela 10 e Figura 12). Os minerais com capacidade tampão mais comuns são calcita (CaCO_3), magnesita (MgCO_3), dolomita (CaCO_3 , MgCO_3) e brucita (Mg(OH)_2).

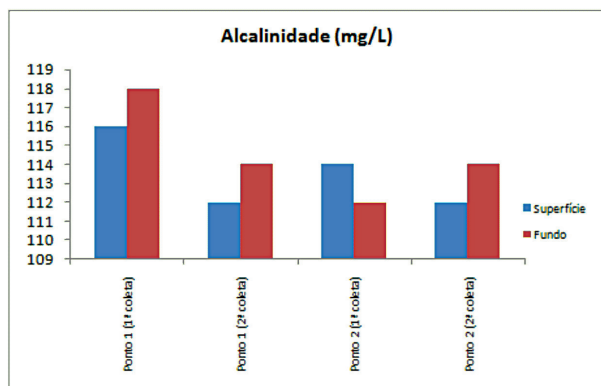


Figura 12 – Resultados obtidos na campanha.

Tabela 10 – Relação da alcalinidade com a capacidade tampão.

ALCALINIDADE	SIGNIFICADO
< 10 ppm	Baixa capacidade tampão
20 a 200 ppm	Boa capacidade tampão

Os valores detectados comprovam a grande capacidade de tamponamento das águas marinhas, consequentemente mantendo o pH.

– Sólidos Dissolvidos Totais

Sólidos totais dissolvidos (STD) é a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água. Mede a concentração de substâncias iônicas e expressa-se mg L^{-1} . A principal aplicação da determinação dos STD é de qualidade estética da água potável e como um indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes. As fontes primárias de STD em águas receptoras são agrícolas e residenciais, de lixiviados de contaminação do solo e de fontes pontuais de descarga de poluição das águas industriais ou estações de tratamento de esgoto. As substâncias dissolvidas podem conter íons orgânicos e íons inorgânicos (como o carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio e sódio) que em concentrações elevadas podem ser prejudiciais à vida aquática (Figura 13).

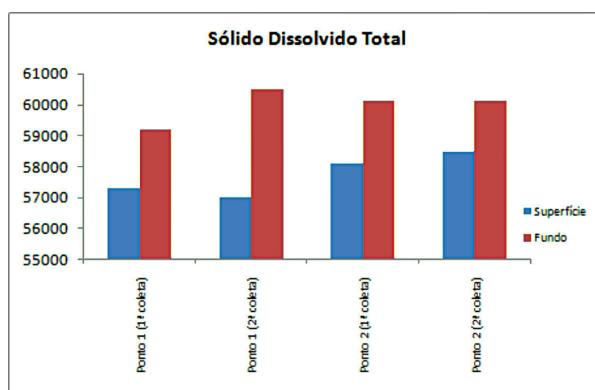


Figura 13 – Resultados obtidos na campanha.

Comprovou-se que o total de sólidos dissolvidos indica a descarga de esgotos, seja doméstico ou industrial, na Baía de Guanabara.

– Fluoreto

Na água os fluoretos podem ocorrer naturalmente associados quimicamente ao magnésio ou ao alumínio, principalmente nos rios, formando complexos (Figura 14).

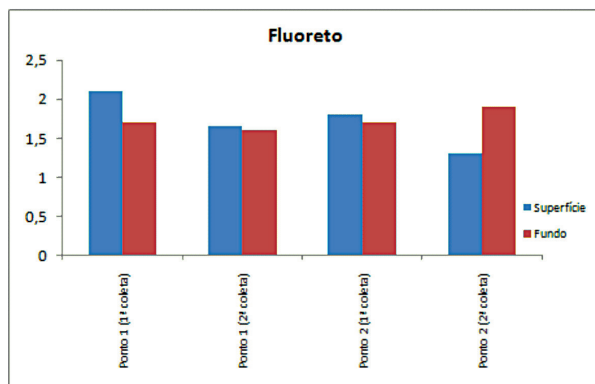


Figura 14 – Resultados obtidos na campanha.

Em ambientes sem fontes antrópicas, cerca de 80 a 90% dos fluoretos dissolvidos nas águas de rios são reciclados do ambiente marinho, sendo que somente 10 a 20% são derivados de intemperismos continentais (Burton, 1976). Segundo Niencheski *et al.* (1988) os fluoretos podem estar presentes nos efluentes das indústrias de fertilizantes na forma de SiF_6 , oriundo da acidificação das rochas fosfatadas.

Os teores verificados nos ensaios mostram um pequeno acréscimo relativo aos índices literários.

– Nitrogênio Total

Antes do desenvolvimento das análises bacteriológicas, as evidências e da contaminação das águas eram determinadas pelas concentrações de nitrogênio nas suas diferentes formas (nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal).

Segundo von Sperling (1995) as principais características dos compostos nitrogenados são: a) indispensáveis para o crescimento de vegetais e organismos em geral, pois é utilizado para síntese de aminoácidos; b) processos bioquímicos de oxidação do amônio ao nitrito e deste para nitrato implicam o consumo de oxigênio dissolvido do meio, o que pode afetar a vida aquática quando a oxigenação do ambiente é menor que o consumo de oxigênio por esses processos; c) identificação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio de poluição. Assim quando a poluição for recente, o perigo para a saúde será maior, pois nesse caso o nitrogênio se apresenta na forma orgânica e amoniacal, forma mais tóxica (Figura 15).

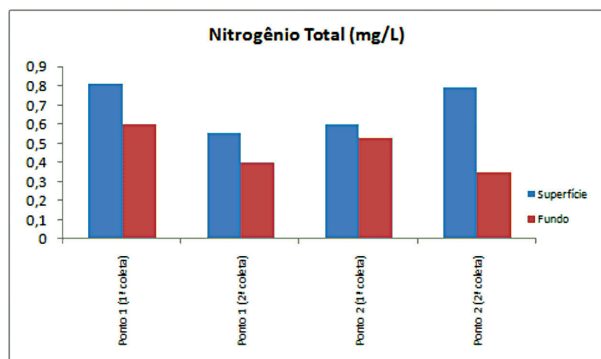


Figura 15 – Resultados obtidos na campanha.

Os valores de nitrogênio total se apresentaram dentro dos valores estabelecidos na literatura para esse ponto da Baía de Guanabara (Fonte: EIA, COMPERJ).

– Cálcio

A presença de cálcio na água resulta do contato do corpo hídrico com depósitos de calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A

solubilidade dos carbonatos é controlada pelo pH e CO_2 dissolvido. O cálcio pode ser encontrado em corpos d'água em concentrações em torno de 15 mg L^{-1} e, em águas subterrâneas, em concentrações que variam de 10 a $>100 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 16).

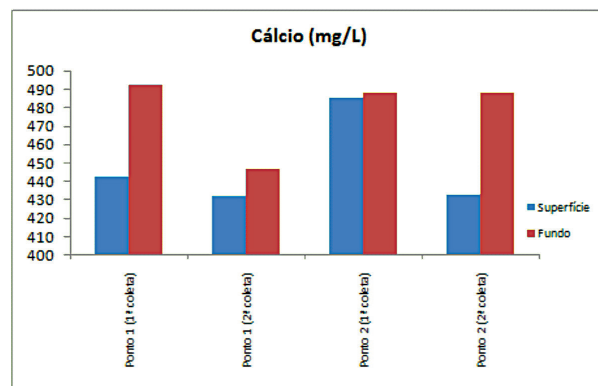


Figura 16 – Resultados obtidos na campanha.

Os valores de cálcio registrados nas amostras coletadas se mostraram em concordância com os valores sugeridos pela literatura para ambientes marinhos (400 mg/L) (Tabela 3 e Figura 17).

– Potássio

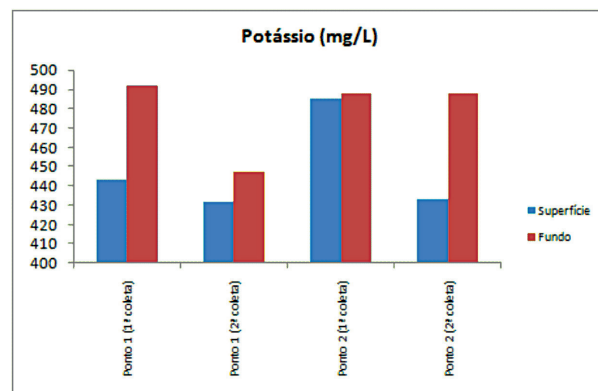


Figura 17 – Resultados obtidos na campanha.

Os valores de Potássio registrados no presente estudo excedem os valores normais sugeridos para ambientes marinhos (380 mg/L) (Tabela 3). Esses resultados podem ser resultado do pseudo confinamento das águas da Baía de Guanabara assim como a possível incidência de aportes anômalos e descargas de esgoto industrial.

– Coliformes Totais e Escherichia Coli

Os coliformes representam um parâmetro microbiológico. Os coliformes são capazes de desenvolver ácido, gás e aldeído, na presença de sais biliares

ou agentes tenso ativos (detergentes). As bactérias do grupo coliforme são consideradas indicadores primários da contaminação fecal das águas.

Escherichia coli fazem parte do grupo coliforme totais e têm maior significância na avaliação da qualidade sanitária do ambiente sendo preferenciais às análises apenas de coliformes totais, menos específicas Figuras 18 e 19).

Portanto, os índices de *E. coli* são bons indicadores de qualidade das águas em termos de poluição por efluentes domésticos (Baumgarten e Pozza, 2001).

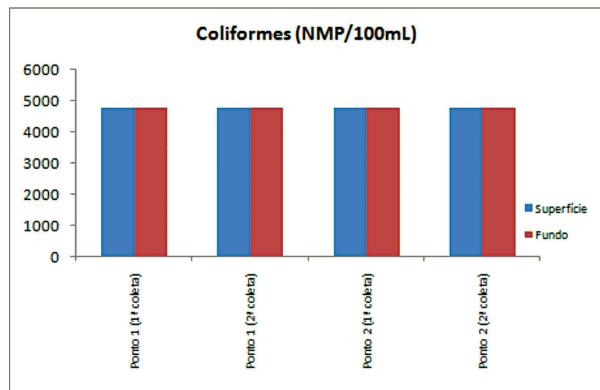


Figura 18 – Resultados obtidos na campanha.

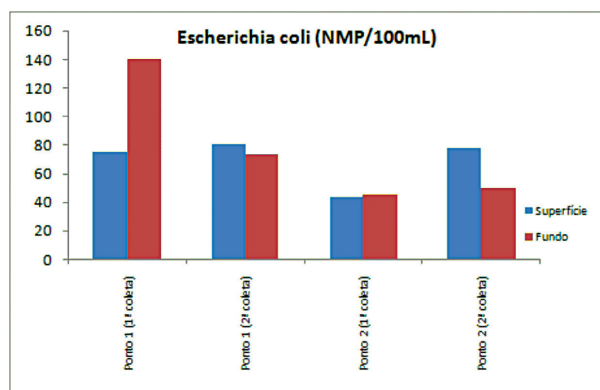


Figura 19 – Resultados obtidos na campanha.

Com relação aos coliformes, as concentrações encontradas, tanto de coliformes totais, quanto *Escherichia coli* indicam que a ponte está fortemente sujeita a influência dos agentes oriundos de esgotos domésticos.

4.3 Corpos de prova do acesso Rio de Janeiro

Dos oito corpos de prova com dimensões de 5 cm x 10 cm, extraídos das faces maiores dos pilares 394 e 388, quatro foram ensaiados para determinação dos teores de cloretos provenientes da aeração marinha promovida pela ambiência em que se encontra a Ponte Rio-Niterói. A verificação dos percentuais de cloretos

se deu a 2, 3, 4 e 5 cm de profundidade, como forma de averiguar que cota no interior do concreto havia sido atingida por esse contaminante (Figura 20).



Figura 20 – Amostra trituradas.

Os demais corpos de prova foram analisados quanto à resistência à compressão. A idéia foi verificar a capacidade do concreto às forças compressivas, após mais de 40 anos de edificação daquelas estruturas (Figura 21).



Figura 21 – Ensaios de compressão.

Concernente aos valores percentuais de cloretos encontrados nas cotas indicadas anteriormente, os pilares do Acesso Rio de Janeiro nada tem a temer, considerando que os índices se apresentaram muito aquém dos limites estabelecidos pelas especificações internacionais. Destaca-se que a maioria dos teores de cloreto presente nos pilares 394 e 388 não excedeu 0,003%, quando seria possível valores de até 0,15%.

Em relação aos resultados de resistência à compressão, as tensões encontradas foram sobejamente superiores à resistência característica indicada em projeto (f_{ck}). Pelo fato de se tratar de corpos de prova extraídos, as devidas correções para compensar o broqueamento foram realizadas, e os resultados finais levam isso em conta. O pilar 394 apresentou uma

tensão de compressão de 41,1 MPa, e o pilar 388 de 68,4 MPa.

4.4 Corpos de prova de obra rural

Uma passarela de pedestres no início da rodovia RJ-124 na cidade de Rio Bonito, foi a estrutura no meio rural selecionada para complementar a pesquisa, no tocante a verificação dos teores de cloreto no concreto a várias profundidades, tal como realizado nos pilares 394 e 388 da Ponte Rio-Niterói. Foram retirados dois espécimes com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura.

A determinação dos percentuais presentes nos corpos de prova foi feita a 2, 3, 4 e 5 cm de profundidade, não sendo observados valores além dos limites estabelecidos pelas literaturas internacionais, como era esperado.

4.5 Corpos de prova das camisas metálicas

A extração de corpos de prova das camisas metálicas componentes das formas perdidas dos tubulões, teve por finalidade averiguar o desgaste ao longo do tempo desse material, mediante a comparação entre os pesos teóricos de uma chapa sem qualquer anormalidade e o corpo de prova sacado, com todas as suas nuances ao longo de mais de 40 anos em contato com o meio agressivo. O valor final foi referendado pela perda de seção em percentagem (Figura 22).



Figura 22 – Corpo de prova da camisa metálica do eixo P98A.

Para o cálculo do peso teórico de um corpo de prova cilíndrico com diâmetros de 10 cm e 15 cm, tomou-se por base o volume de um tronco de cone com essas dimensões, e altura correspondente a espessura da camisa metálica, que é de 0,9525 cm. Em verdade,

por se tratar de um tubulão com 1,80 m de diâmetro, a extração de um corpo de prova circular, teoricamente, resultaria em uma amostra com configuração geométrica mais próxima de um tronco de pirâmide do que de um tronco de cone. Entretanto, na prática, os espécimes mostraram que não é perceptível essa diferença, e até se comportaram muito mais assemelhados ao tronco de cone do que a outra figura geométrica. Em assim sendo, e até porque a diferença entra uma e outra formação, perante a espessura da chapa e o diâmetro do tubulão, é diminuta, sem qualquer interferência no que se procurava, os cálculos de perda de seção das camisas metálicas foram efetuados tomando-se por base o peso nominal de um tronco de cone, comparativamente ao que foi realmente encontrado na pesagem dos corpos de prova.

O quadro adiante exhibe os valores teóricos e os reais (pesos) dos espécimes extraídos das camisas metálicas dos tubulões, e as perdas de seção transversal expressas em percentagens. São indicados, também, os locais de exposição em que os testemunhos foram sacados. A sigla ZVM significa zona de variação de maré.

Os corpos de prova com diâmetro de 150 mm mostraram mais coerência com as premissas teóricas/práticas de que a região mais agredida é a de alternância de maré, visto que as maiores perdas de peso, consequentemente de seção transversal, foram ali encontradas. Na sequência vieram os corpos de prova permanentemente submersos e, finalmente, aqueles situados à céu aberto.

Com os testemunhos de diâmetro 100 mm não se viu qualquer harmonia em relação às mesmas premissas, tendo em conta que os percentuais de desgaste de cada placa, nos distintos graus de exposição, foram completamente disformes do que se esperava.

De qualquer forma, pode-se constatar que as camisas metálicas envoltórias do concreto dos tubulões ainda têm muito a contribuir com a proteção das fundações da ponte no trecho sobre o mar. Em apenas um caso isolado notou-se perda de seção transversal próximo a 50%. Os demais casos foram inferiores a 25%, com alguns muito reduzidos, da ordem de 2 a 9%.

4.6 Corpos de prova dos canais navegáveis

Inicialmente são necessárias algumas considerações sobre ensaios em concreto endurecido, para avaliar as eventuais implicações neste, quando em contato com água.

Devido a relação da porosidade e permeabilidade com a durabilidade do concreto, podem ser desenvolvidos ensaios de absorção por capilaridade e por imersão e fervura.

A existência de poros de naturezas distintas re-

sulta que alguns contribuem para a permeabilidade e outros não, sendo, portanto, importante fazer distinção entre a porosidade e a permeabilidade. Porosidade é a medida da proporção do volume total do concreto ocupada pelos poros, geralmente expressa em percentagem. Se a porosidade for grande e estiverem os poros interligados, estes contribuem para o deslocamento de fluidos através do concreto, de modo que a permeabilidade resultante é alta. Por outro lado, se os poros forem

descontínuos eles são ineficazes para o deslocamento de fluidos e, por conseguinte, a permeabilidade do concreto será baixa, mesmo com uma porosidade alta. Em suma, o ensaio de absorção por capilaridade relaciona-se à permeabilidade do concreto, enquanto que o ensaio de absorção de água está ligado ao volume de vazios (porosidade).

O ensaio de penetração de água sob pressão é também relacionado à permeabilidade, visto se tratar

Tabela 11 – Resultados obtidos na campanha.

CORPO DE PROVA	LOCAL	DIÂMETRO (mm)	PESO TEÓRICO (g)	PESO REAL (g)	PERDA DE SEÇÃO (%)
1	ZVM	150	1320	1121	15,08
2	Céu Aberto	150	1320	1176	10,91
3	Submerso	150	1320	1118	15,30
4	Submerso	150	1320	1133	14,17
5	Submerso	150	1320	1095	17,05
6	ZVM	150	1320	1072	18,79
7	ZVM	150	1320	1068	19,10
8	Céu Aberto	150	1320	1233	6,60
9	Céu Aberto	150	1320	1198	9,25
10	ZVM	100	588	556	5,44
11	Submerso	100	588	306	47,96
12	Céu Aberto	100	588	575	2,21
13	Céu Aberto	100	588	469	20,24
14	Céu Aberto	100	588	489	16,84
15	Submerso	100	588	524	10,88
16	ZVM	100	588	551	6,29
17	ZVM	100	558	443	24,66
18	Submerso	100	588	550	6,46



Figura 23 – Determinação da absorção de água por imersão e fervura.

de uma situação forçada de permeabilidade quando o líquido é usado de forma pressionada (Tabela 11 e Figura 23 e 24).



Figura 24 – Ensaio de penetração de água sob pressão.

No que se refere ao teste de absorção por imersão (NBR-9778), os valores encontrados constam da Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados obtidos na campanha.

Série de CP	Absorção (%)	Porosidade (%)	Densidade Real (g/cm ³)
1	4,7	10,7	2,54
2	4,6	10,4	2,53
3	3,9	9,0	2,53
4	3,9	9,0	2,54

Comparativamente aos resultados colhidos com a pesquisa realizada à época construtiva da ponte, os índices de absorção acima estão em uma faixa que fornece mais segurança à durabilidade da obra, tendo em conta que a média dos valores então observados foi de 7,0%. A massa específica real, obtida naquele longínquo período, foi de 2,60 g/cm³. A porosidade detectada naquela ocasião (1973) foi de 15%. Portanto, os índices atuais estão mais confortáveis.

Os ensaios atuais de absorção por capilaridade, realizados adicionalmente ao teste acima, não exibiram

valores disformes, mostrando coerência com os dados provenientes da absorção por imersão, que serviram de comparação com a análise realizada nos primórdios construtivos da ponte.

Atinente ao teste de penetração de água sob pressão (NBR-10787), foram obtidos os valores de acordo com as informações adiante da Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados obtidos na campanha.

Série de CP	Penetração Máxima (mm)
1	10
2	25
3	15
4	10
5	20
6	15
7	15
8	20
9	35

De acordo com a norma alemã DIN-1048, que foi usada na pesquisa de durabilidade da ponte durante a construção, para efeito de especificação do concreto mais factível aos anseios de uma melhor durabilidade, o índice recomendado para a penetração de água sob pressão no concreto deve ser, no máximo, 3,0 cm, para a média de três corpos de prova. Observando-se os resultados do quadro anterior, as médias dos corpos de prova foram 16,66 mm, 15,00 mm e 23,33 mm, respectivamente, para cada conjunto de três corpos de prova. A pressão da água durante o ensaio foi de 0,7 MPa.

A determinação do coeficiente de permeabilidade foi realizada de acordo com o método de ensaio NBR-10786, com corpos de prova de diâmetro 150 mm e igual altura, após o corpo de prova original, com altura de 300 mm, ser cortado superior e inferiormente em 75 mm, de acordo com a exigência normativa.

Os valores resultantes deste teste estão apresentados no quadro adiante na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados obtidos na campanha.

Série de CP	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)
1	$1,71 \times 10^{-6}$
2	$8,36 \times 10^{-6}$
3	$1,71 \times 10^{-5}$
4	$5,05 \times 10^{-6}$
5	$3,81 \times 10^{-7}$
6	$5,24 \times 10^{-6}$

5 Avaliação dos Resultados

De forma geral, os resultados dos ensaios com os corpos de prova extraídos dos tubulões, assim como das camisas metálicas, bem como do concreto das estruturas do acesso Rio de Janeiro e da passarela da rodovia RJ-124, mostraram que a ponte foi esmeradamente construída, e que a dosagem do concreto de suas fundações no trecho sobre o mar fornece segurança do ponto de vista da durabilidade, com perspectivas de uma vida útil dilatada, fazendo jus ao investimento que a ponte representa como maior obra de engenharia rodoviária do Brasil.

Os índices captados nos testes ainda dão indicações seguras quanto à resistência à compressão do concreto da ponte, verificando-se valores muito além do que necessariamente exigido pelo projeto, ainda que não tenha sido feito qualquer tratamento estatístico para determinação do f_{ckest} .

Não se esperavam informações mais aliviadas com respeito às águas da Baía de Guanabara que incidem sobre as camisas metálicas dos tubulões. A poluição da baía é acrescida diariamente, sem que alguma atitude efetiva seja posta em prática para reverter o cenário de degradação. Além dos materiais inerentes à própria água do mar, que de “*per si*” já é um grave problema a ameaçar a durabilidade da ponte, as substâncias deletérias adicionais, oriundas de várias fontes, fomentam permanentemente o ataque ao concreto, seja por contato direto sobre as camisas metálicas, ou pela aeração. No trecho sobre o mar, as águas apenas podem incidir diretamente em peças que não têm função estrutural, sejam as saias pré-moldadas ou as lajinhas de fundo dos blocos de coroamento dos tubulões.

O desgaste das chapas metálicas dos tubulões, representadas por corpos de prova retirados da forma perdida desses segmentos, mostrou que o artifício construtivo ainda permanecerá durante muitos anos a contribuir no guarnecimento do concreto das fundações do trecho sobre o mar. De fato, o maior índice percentual de perda de seção transversal foi de 47,96%, em um único caso. Ainda assim, neste caso, a espessura remanescente, superior a 50%, por um período muito longo continuará a proteger o concreto dos tubulões contra o contato com as águas da Baía de Guanabara. Esse amparo adicional fornecido pelas camisas metálicas é de importância sem limite na vida útil da ponte.

Os testes ligados à durabilidade, seja absorção, penetração de água sob pressão, permeabilidade ou porosidade, comprovaram também o bom desempenho do concreto frente à condutividade hidráulica, fator de extrema importância para a garantia da durabilidade. Este fato permite um grande conforto com respeito à

integridade do concreto dos tubulões, em contrapartida ao esmero da dosagem utilizada com baixa relação água/cimento, com aglomerante resistente aos sulfatos, isto é, com baixo teor de aluminato tricálcico (C_3A) e, principalmente, uma boa compacidade proveniente do processo de concretagem submersa com auto adensamento.

Em adição as particularidades do parágrafo anterior, e não menos importante que qualquer das informações ali descritas, destaca-se que a espessura de cobrimento das armaduras, visualizadas nos corpos de prova que inevitavelmente rompiam algumas delas, nunca foi inferior a 11,00 cm, portanto, pelo menos 22,22% superior ao exigido em projeto. Este fato é determinante na qualidade da obra, refletindo-se de forma contundente na durabilidade das fundações, e se tornando um dos fatores de maior relevância na garantia da vida útil da obra. Como o ensaio de penetração de água sob pressão exibiu uma ação de percolação no interior do concreto de no máximo 2,33 cm, ainda resta uma grande reserva de cobrimento até que as águas da Baía de Guanabara venham a atingir a armadura frouxa, após vencer a barreira formada pelas camisas metálicas. Por outro lado, o teste é muito mais rigoroso do que os fatos cotidianos, visto que a pressão adotada é muito superior a que ocorre na realidade.

Ainda quanto aos pilares 394 e 388, os índices de contaminação por cloretos foram insignificantes em ambos, mesmo o pilar parede 394 estando muito mais exposto a aeração marinha que o eixo 388. A situação confere boa compacidade do concreto, não possibilitando caminhos internos fáceis à entrada de agentes agressivos.

Verificou-se a pouca penetração de cloretos no concreto dos pilares 394 e 388, expressa em termos percentuais. Em verdade, com muito mais idade que a passarela da rodovia RJ-124, e submetida a uma agressividade superior, pelo fato de se situar próximo a ambiente marinho, o concreto da ponte exibiu índices tais quais os daquela obra em meio rural. Em decorrência deste fato, qualquer declínio de qualidade do concreto do Acesso Rio de Janeiro levará muitos anos para ser efetivado, no tocante a influência de cloretos.

6 Conclusões

“Only after 50 (fifty) years from the complete destruction of the metallic form, the concrete caisson Will present the firsts igns of corrosion (somente após 50 anos da completa destruição das camisas metálicas, o concreto dos tubulões deverá apresentar os primeiros sinais de corrosão)”. Essas palavras foram proferidas

pelo engenheiro Richard Stratful, norte americano da Califórnia, consultor da Ponte Rio-Niterói à época da construção para o tema corrosão, juntamente com o engenheiro Lewis Tuthill, também do mesmo país, e consultor de durabilidade à mesma ocasião, quando estiveram prognosticando sobre a vida útil da Ponte Rio-Niterói, à luz dos estudos das dosagens especiais do concreto das fundações do trecho sobre o mar, e considerando, também, a espessura de cobrimento das armaduras dos tubulões, assim como o grau de compatibilidade gerado pela concretagem submersa. Isso se deu nos primórdios da construção da ponte, em finais dos anos 1960 e 1970.

Nunca foi posta em dúvida a assertiva do engenheiro Stratful, à época a maior autoridade mundial sobre corrosão. Pelo contrário, ao longo dos anos de forma visual e prática, e agora de maneira experimental, a sua opinião sobre o concreto das fundações no segmento sobre a Baía de Guanabara continua firmemente válida, pois o que a atual pesquisa revelou permite prognosticar vida longa à ponte, corroborando com as previsões daquele renomado técnico.

Imagina-se que por ocasião da construção da ponte, a cerca de 45 anos, os agentes poluidores das águas da Baía de Guanabara fossem em parcela muito inferior ao estado atual, já que se tem notícia de que gradativamente isto vem aumentando. Ainda assim, a resposta que o concreto da ponte dá a essa situação é perfeita, e mostra o quanto foi válida a preocupação com a durabilidade durante a fase de projeto, em uma ocasião em que predominantemente se dava atenção apenas ao aspecto da resistência mecânica. Graças a isto, pode-se, sem qualquer receio de erro, estipular que a Ponte Rio-Niterói não ensejará qualquer preocupação quanto à dilatação de sua vida útil.

Os resultados de todos os ensaios no tocante, principalmente, a condutividade hidráulica, mostraram que o concreto dos tubulões não demonstra qualquer inquietude sob o aspecto da durabilidade. As premissas consideradas na fase edificante, com os devidos cuidados na sua dosagem, colhem agora e por durante muitos anos futuros os frutos provenientes da boa técnica na arte de edificar estruturas em contato com ambiente marinho, se preocupando com ele.

Não há qualquer superfície de concreto de tubulão, de forma significativa, em contato direto com as águas da Baía de Guanabara, mesmo depois de 42 anos desses segmentos construídos. A ideia das camisas metálicas de 9.525 mm de espessura servirem de forma perdida ao concreto dos tubulões, foi de uma engenhosidade plenamente confirmada, dada ao fato de que a proteção adicional conferida ao concreto está comprovadamente demonstrada de forma experimental. Não se pode avaliar se doravante o processo de

corrosão dessas camisas metálicas será mais agressivo e conseqüentemente com mais velocidade. No entanto, ao observar pela reduzida parcela percentual de perda de peso, que se traduz por perda de seção, não será ainda em meados deste século que isto ocorrerá de forma plena.

Levando-se em conta que os responsáveis pela manutenção da ponte Rio-Niterói adotam as indicações do National Highway Institute, dos Estados Unidos, para os intervalos de tempo em que devem ser realizadas inspeções subaquáticas, ou seja, a cada quinquênio, já que a norma brasileira NBR-9452 ainda é omissa neste particular, a Ponte Rio-Niterói tem mais um benefício em prol de sua vida útil, na medida em que qualquer anomalia observada nessas vistorias podem ser imediatamente reparadas, garantindo à ponte a manutenção de um concreto durável.

Essa pesquisa foi extremamente válida para conhecimento da situação de momento dos tubulões, quanto ao estado em que se encontram para enfrentar as adversidades oriundas das águas da Baía de Guanabara. A ponte está segura, também, sob a óptica da durabilidade, permitindo prognosticar uma vida útil muito longa. Com os devidos cuidados a ela dispensados pela equipe de manutenção, e se esses cuidados tiverem prosseguimento na trajetória de serventia da ponte, não se imagina vida útil da ponte inferior a pelo menos dois séculos. Essa opinião é justificada, em parte, pelos resultados desta pesquisa, que evidenciaram e comprovaram um concreto sem qualquer fator negativo, mas, sobretudo, de altíssima qualidade no tocante as respostas oferecidas à ambiência marinha.

Como foi a primeira vez em que um estudo experimental deste porte foi posto em prática na ponte, não há um histórico que permita comparar os dados colhidos atualmente com os de outrora, razão que levou à identificação com os números detectados nos ensaios por ocasião construtiva. Entretanto, os valores de agora podem ser considerados como os de referência futura, para efeitos comparativos com os que se sucederão. Isto permitirá conhecer a evolução da agressão do meio ambiente sobre as fundações do segmento sobre a Baía de Guanabara, de forma unicamente experimental, que é o que de fato mais interessa.

7 Referências

- APHA (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition. American Public Health Association, Washington. D.C.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. Qualidade de águas: descrição de parâmetros químicos referidos

na legislação ambiental. Rio Grande: Ed. FURG, 2001. 166p.

CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras de concreto. São Paulo: PINI, 1997.

DIN 1048 – (Part 5. Determination of Permeability of Concrete. 1991.

FORTES, L. R; ANDRADE, J. C. Corrosão na armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial do eletrodo. Ceará. Fortaleza: UFC, 2001. <http://www.waterencyclopedia.com/En-Ge/Fresh-Water-Natural-Composition-othtml>>. Acesso: 01 ago. 2013.

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da Corrosão em armaduras de Concreto Armado. São Paulo, 1993. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, USP.

MEHTA. P. K., MONTEIRO, P. J. M., “Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais”, Ed. Pini, 1ª ed., 1994.

NBR 5737 – Cimentos Portlands Resistentes a Sulfatos. Rio de Janeiro. 1992.

NBR 9452 – Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro. 2012.

NBR 107587 – Concreto Endurecido – Determinação da Penetração de Água sob Pressão. Rio de Janeiro. 2011.

NBR 12655 – Concreto de Cimento Portlands – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro. 2006.

UNICEF. UNICEF’s position on water fluoridation. Disponível em: <www.nofluoride.com/Unicef_fluor.htm>. Acesso: 01 ago. 2013.

VON SPERLING, M. V. Princípio do tratamento biológico de águas residuárias. IN: Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 1995. p.