

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CORROSÃO POR CLORETOS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO: UMA META-ANÁLISE**

Ariela da Silva Torres

TESE DE DOUTORADO

Porto Alegre
Maio, 2011

ARIELA DA SILVA TORRES

**CORROSÃO POR CLORETOS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO: UMA META-ANÁLISE**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia na modalidade Acadêmico.

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Ph.D. pela Universidade de Leeds
Orientador e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Prof^a Sofia Maria Carrato Diniz
Ph.D pela Universidade do Colorado
Co-orientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Karla Salvagni Heineck (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo (UFG)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Jane Zoppas Ferreira (UFRGS)
Dra. pela Université Pierre et Marie Curie

Dr. Cleber Bisognin (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

T693c Torres, Ariela da Silva
Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado : uma meta-análise / Ariela da Silva Torres. – 2011.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coorientadora: Profa. Dra. Sofia Maria Carrato Diniz

1. Estruturas de concreto armado. 2. Corrosão - Armaduras. 3. Patologia – Construção civil. I. Silva Filho, Luiz Carlos Pinto da, orient. II. Diniz, Sofia Maria Carrato, coorient. III. Título.

CDU-69.059.22(043)

Dedico esta tese a minha maior realização, a aquele que
acorda todos os dias com o sorriso mais lindo do mundo e
me mostra como é possível uma mãe amar tanto alguém:
Pedro Henrique Torres Padilha.

AGRADECIMENTOS

Ao sentar para escrever estes agradecimentos passou um filme pela minha cabeça que começou no início do meu doutorado e as pessoas que passaram por mim neste período. Agradeço imensamente as seguintes pessoas:

- Meu orientador, Luiz Carlos, que me deu mais esta oportunidade e me entendeu e apoiou nessa fase final como um amigo;
- Minha co-orientadora, Sofia Diniz, pelo incentivo;
- Ao pessoal do departamento de estatística da UFRGS, principalmente ao Gilberto e a Fernanda, por todas as tardes de discussões e a paciência em me ajudar sempre;
- A Liliani, secretária do PPGEC, que sempre me ajudou com toda a parte burocrática e sempre me recebeu com um lindo sorriso de incentivo;
- Aos professores Jairo Andrade, Lori Viali e Paulo Helene, além da Dra. Cristiane Pauletti por terem participado da avaliação do trabalho e principalmente por terem dado tantas sugestões valiosas no exame de qualificação;
- Aos professores Ênio Figueiredo, Karla Heineck, Jane Ferreira e Cléber Bisognin que foram verdadeiros mestres e exemplos de professores, pois não mediram esforços para atender meu pedido de banca;
- A Universidade Católica de Pelotas e meus coordenadores, que sempre me liberaram para assistir as aulas em Porto Alegre;
- Aos amigos que sempre estiveram por perto, incentivando e me apoiando;
- A minha sogra que no tempo que estive em Pelotas cuidou do Pedro para eu poder escrever este trabalho;
- A minha irmã, que é motivo de orgulho para mim, por todo o incentivo e amor;
- A minha mãe, que foi minha orientadora nesta tese! Leu meu trabalho inúmeras vezes, além de ter me recebido de volta em casa, em Porto Alegre, com um bebê para conseguir terminar este trabalho;

- Ao meu pai, ou melhor, ao “vovô-babá” que cuidou do Pedro durante dias e noites para eu poder escrever;
- Ao meu marido, Stael, que teve que entender minha ausência em casa, as minhas falhas, o meu nervosismo e, mesmo assim, sempre esteve perto de mim e me apoiou nas minhas decisões. Aliás, te agradeço mesmo, por termos feito o maior presente das nossas vidas, o Pedro!
- Ao meu filho, Pedro Henrique, que com pequenos gestos mostrou sempre o seu amor por mim e ficava dormindo dentro do carrinho, no meu lado, enquanto eu escrevia a tese.

RESUMO

TORRES, A.S. Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma Meta-análise. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

O concreto é o segundo material mais consumido no mundo, perdendo somente para água, justificando a importância de estudos que envolvam seu comportamento frente à durabilidade, e que objetivam a obtenção de estruturas com longas vidas úteis. Dentre as diversas manifestações patológicas que ocorrem nas estruturas de concreto armado, a corrosão das armaduras tem uma grande incidência, como já comprovado por diversos autores. A corrosão das armaduras ocorre pela ação de agentes agressivos sendo que os dois principais são a carbonatação e a penetração de cloretos. Em função da grande costa marítima do Brasil, a ação de íons cloretos é a mais significativa, deteriorando estruturas e levando a necessidade de manutenções periódicas. Porém, sabe-se do alto custo para realização destas manutenções. Em função da preocupação com a manutenção e gastos das estruturas de concreto armado, este estudo objetivou realizar uma validação dos ensaios de corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado a partir de meta-análise dos dados de técnicas eletroquímicas utilizadas nos trabalhos de teses e dissertações desenvolvidos no Brasil. Pretende-se desta maneira realizar um mapeamento das pesquisas na área de corrosão em armaduras de concreto armado realizadas no Brasil e direcionar os futuros estudos. Pretende-se também realizar uma análise conjunta de todos estes trabalhos para verificar a quantidade e qualidade dos mesmos sob uma visão do conjunto nacional. Registrou-se a falta de pesquisas na região Norte do país e a centralização das mesmas nas regiões Sudeste e Sul. Com o uso de técnicas estatísticas conclui-se a falta de diversas combinações de variáveis (relação água/cimento, tipo de cimento, método de indução de cloretos, adição de materiais, entre outros) para criação de um modelo brasileiro confiável.

Palavras-chave: Corrosão por cloretos, Banco de dados nacional, Meta-análise, Estatística na Engenharia.

ABSTRACT

TORRES, A.S. Corrosion by chlorides in reinforced concrete structures: a Meta-Analysis. 2010. Thesis (Ph.D. in Engineering) – Graduate Program in Civil Engineering - UFRGS, Porto Alegre, 2010.

Concrete is the second most consumed material in the world, second only to water, explaining the importance of studies involving behavior concerning durability, and aimed to obtain structures with long lifetimes. Among the various pathologies that occur in reinforced concrete structures, corrosion of the reinforcement has a major impact, as proven by several authors. The reinforcement corrosion occurs by the action of aggressive agents and the two main ones are carbonation and chloride penetration. Due to the great sea coast of Brazil, the action of chloride ions is the most significant and deteriorating structures leading to the need for periodic maintenance, but it is known the high cost of implementing these maintenances. Because of concerns with the maintenance and expense of concrete structures, this study aimed to perform a validation of the corrosion by chlorides in reinforced concrete structures from the meta-analysis of data from electrochemical techniques used in the work of theses and dissertations developed in Brazil. The aim is thus to map the research on corrosion in reinforced concrete made in Brazil and direct future studies. Also perform a joint analysis of all these works to verify the quantity and quality of these in a vision of the National Assembly. We observed the lack of research in the northern region of the country and centralizing them in the Southeast and South. By using statistical techniques concludes the lack of various combinations of variables (water / cement ratio, cement type, method induction of chloride, addition of materials, among others) to create a Brazilian model reliable.

Keywords: corrosion by chlorides, meta-analysis, statistic in engineering

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 HIPÓTESES DA PESQUISA	04
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	04
1.2.1 Objetivo Principal.....	04
1.2.2 Objetivo Secundário.....	04
1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	05
1.4 ORIGINALIDADE DO TEMA.....	05
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	06
2 TEMAS DA TESE	08
2.1 META-ANÁLISE.....	08
2.2 CORROSÃO DE ARMADURAS POR ÍONS CLORETO.....	14
2.2.1 Conceitos de corrosão de armadura por ação de íons cloreto.....	14
2.2.2 Consequências de corrosão de armadura por ação de íons cloreto.....	16
2.2.3 Métodos de ação da corrosão de armadura por ação de íons cloreto.	16
2.2.4 Fatores que influenciam a corrosão das armaduras.....	18
2.2.5 Fatores determinantes da velocidade e profundidade de penetração de íons cloreto.....	19
2.2.6 Métodos de avaliação do processo de corrosão.....	19
2.2.6.1 Ensaio de potencial de corrosão (Ecorr).....	21
2.2.6.2 Ensaio de intensidade de corrosão (icorr).....	22
2.2.6.3 Ensaio de resistividade (Rohm).....	23
3 PROJETO DO EXPERIMENTO	25
3.1 IDENTIFICAÇÃO E BUSCA DE TRABALHOS.....	25
3.1.1 Análise da evolução das pesquisas em corrosão no Brasil.....	25
3.1.2 Obtenção de dados.....	28
3.2 ANÁLISE PRELIMINAR DE CONTEÚDO.....	29
3.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
3.3.1 Seleção das variáveis dependentes – resposta.....	31
3.3.2 Seleção das variáveis independentes – fatores.....	34

3.3.2.1 Tipo de cimento.....	35
3.3.2.2 Ciclo de imersão e secagem.....	36
3.3.2.3 Relação água/cimento.....	37
3.3.2.4 Adição minerais.....	37
3.3.2.5 Tempo.....	37
3.4 DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NA META-ANÁLISE.....	37
3.4.1 Análise de variância – ANOVA.....	38
3.4.2 Regressão Linear.....	40
4. ETAPA 1 – ANÁLISE DESCRITIVA DOS TRABALHOS COLETADOS.....	43
4.1 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DOS TRABALHOS.....	43
4.1.1 Análise por região geográfica.....	43
4.1.1.1 Análise por orientador/grupo de pesquisa.....	45
4.2 ANÁLISE DOS NÍVEIS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES EMPREGADAS NOS TRABALHOS.....	48
4.2.1 Tipo de cimento.....	49
4.2.2 Relação a/c.....	53
4.2.3 Incorporação das adições ativas e outras materiais.....	56
4.2.4 Formas de indução.....	59
4.2.5 Outros Fatores.....	59
4.3 MAPEAMENTO DAS VARIÁVEIS USADAS NOS DIVERSOS ESTUDOS QUE EMPREGARAM CADA UMA DAS TÉCNICAS DE ENSAIO DE INTERESSE.....	61
5. PROJETO PILOTO: MODELAGEM DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	67
5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DO PROJETO PILOTO.....	67
5.2 FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS DO PROJETO PILOTO.....	73
5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PROJETO PILOTO.....	75
5.3.1 Análise de Variância.....	75
5.3.2 Regressão linear do projeto piloto.....	78
6. FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	83
6.1 BANCO DE DADOS VERSÃO 1.....	83
6.1.1 Codificação das variáveis independentes.....	83
6.1.2 Análise de problemas de escopo do banco de dados.....	85
6.2 BANCO DE DADOS VERSÃO 2.....	86
6.2.1 Codificação das variáveis independentes.....	86
6.2.2 Análise de problemas de escopo do banco de dados.....	87

6.3 BANCO DE DADOS VERSÃO 3.....	88
6.3.1 Codificação das variáveis independentes.....	91
6.3.2 Análise de problemas de escopo do banco de dados.....	92
6.4 BANCO DE DADOS VERSÃO 4.....	93
6.4.1 Codificação das variáveis independentes.....	93
6.4.2 Análise de problemas de escopo do banco de dados.....	93
7. ANÁLISE ESTATÍSTICA POR ANÁLISE DE VARIÂNCIA- ANOVA.....	94
7.1 POTENCIAL DE CORROSÃO (Ecorr).....	94
7.2 INTENSIDADE DE CORROSÃO (icorr).....	99
7.3 RESISTÊNCIA ÔHMICA (Rohm).....	102
8. ANÁLISE ESTATÍSTICA POR REGRESSÃO LINEAR.....	106
8.1 POTENCIAL DE CORROSÃO (Ecorr).....	106
8.1.1 Análise estatística dos dados sem resíduos.....	108
8.1.2 Análise estatística sem a variável não significativa.....	108
8.2 INTENSIDADE DE CORROSÃO (icorr).....	109
8.2.1 Análise estatística dos dados sem resíduos.....	111
8.2.2 Análise estatística sem a variável não significativa.....	111
8.3 RESISTÊNCIA ÔHMICA (Rohm).....	112
8.3.1 Análise estatística dos dados sem resíduos.....	113
8.3.2 Análise estatística sem a variável não significativa.....	113
8.4 REGRESSÃO LINEAR PARA BANCO DE DADOS VERSÃO 5.....	114
8.4.1 Potencial de Corrosão – Ecorr.....	115
8.4.1.1 Modelagem para cimento CPIV.....	115
8.4.1.1.1 Modelagem para o cimento CPIV sem resíduos.....	116
8.4.1.1.2 Modelagem para o cimento CPIV sem variáveis não significativas.....	117
9 CONCLUSÕES.....	120
9.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
ANEXO A.....	146
ANEXO B.....	162
ANEXO C.....	165

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da tese.....	07
Figura 2: Classificação das pesquisas na área da saúde.....	11
Figura 3: Condições para ocorrência da corrosão (BOHNI, 2005).....	14
Figura 4: Modelo de vida útil proposto por TUUTI (1982).....	17
Figura 5: Principais grupos de pesquisas nacionais.....	28
Figura 6: Quantitativo de trabalhos por região (base: 114 trabalhos).....	30
Figura 7: Totais de estudos utilizando as principais técnicas de avaliação da corrosão.....	33
Figura 8: Gráfico da regressão linear.....	41
Figura 9: Distribuição dos trabalhos de corrosão provocada por cloretos no país.....	45
Figura 10: Número de trabalhos por orientador.....	47
Figura 11: Quantidade de estudos em função do tipo de cimento.....	49
Figura 12: Estudos com cimento CPIIF-32.....	51
Figura 13: Estudos com cimento CPIIE.....	52
Figura 14: Estudos com cimento CPIV.....	52
Figura 15: Estudos com cimento CPVARI e CPVARI/RS.....	53
Figura 16: Relações a/c utilizadas pelos principais grupos de pesquisa no país.....	55
Figura 17: Uso das relações a/c no Brasil.....	55
Figura 18: Quantidade (%) de estudos em função da relação a/c: 0,6.....	56
Figura 19: Estudos com concretos com adições minerais em função das cidades em que foram desenvolvidos.....	57
Figura 20: Uso das adições do concreto em pesquisas com corrosão de armaduras.....	59
Figura 21: Teores de cloretos utilizados nos ciclos de imersão e secagem.....	60
Figura 22: Pesquisas que utilizaram cloreto no concreto como método de indução por cidade....	61
Figura 23: Diagrama da variável Ecorr.....	63
Figura 24: Diagrama da variável icorr.....	65
Figura 25: Diagrama da variável Rohm.....	66
Figura 26: Tipo de cimento x ensaio de resistência à compressão.....	71
Figura 27: Tipo adição no concreto x ensaio de resistência à compressão.....	72
Figura 28: Relação a/c x ensaio de resistência à compressão.....	72
Figura 29: Tempo de ensaio x ensaio de resistência à compressão.....	73
Figura 30: Resistência à compressão x período: dados puros.....	78
Figura 31: Resistência à compressão x período: dados com todas as variáveis independentes sem resíduos.....	80
Figura 32: Resistência à compressão x período: dados sem a variável adição de material e sem resíduos.....	81
Figura 33: Scatterplot Ecorr x tempo.....	89

Figura 34: Scatterplot icorr x tempo.....	90
Figura 35: Scatterplot Rohm x tempo.....	91
Figura 36: Ecorr x períodos.....	109
Figura 37: Ecorr x relação a/c: dados com todas variáveis independentes.....	118
Figura 38: Ecorr x relação a/c: dados baseados na equação 4.....	119
Figura 39: Ecorr x relação a/c: dados baseados na equação 5.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Gastos com manutenção e reparo em estruturas de concreto armado em países desenvolvidos.....	3
Tabela 2: Técnicas estatísticas.....	12
Tabela 3: Probabilidade de corrosão através do Ecorr, segundo ASTM C876 (1991).....	21
Tabela 4: Critérios para avaliar os resultados de velocidade de corrosão.....	23
Tabela 5: Interpretação dos resultados do ensaio de resistividade.....	24
Tabela 6: Quantitativo dos estudos realizados na área de corrosão por íons cloretos.....	32
Tabela 7: Quantitativo total das variáveis de resposta.....	33
Tabela 8: Composição dos cimentos Portland.....	35
Tabela 09: Principais compostos químicos do clínquer.....	35
Tabela 10: Distribuição geográfica dos trabalhos.....	44
Tabela 11: Quantitativo de trabalhos por orientador.....	46
Tabela 12: Quantitativo dos estudos em função do tipo de cimento, técnica eletroquímica e cidade onde foi desenvolvido.....	50
Tabela 13: Quantitativo dos estudos em relação a/c e cidade onde foi desenvolvido.....	54
Tabela 14: Estudos com concretos com adições em função das cidades em que foram desenvolvidos.....	57
Tabela 15: Trabalhos utilizados no projeto piloto.....	68
Tabela 16: Quantidade de estudos de resistência à compressão em função das variáveis em estudo e das cidades onde foram realizadas.....	70
Tabela 17: Períodos de tempo utilizados no projeto piloto.....	74
Tabela 18: Codificação das variáveis qualitativas.....	74
Tabela 19: ANOVA para os dados de resistência à compressão.....	75
Tabela 20: ANOVA para as variáveis.....	76
Tabela 21: Médias e Desvios padrão dos fatores envolvidos para variável de resposta resistência à compressão.....	77
Tabela 22: Resultados dos três tipos de teste de Homogeneidade.....	77
Tabela 23: Coeficiente da Regressão linear para resistência à compressão.....	79
Tabela 24: Correlações entre as variáveis para resistência à compressão.....	79
Tabela 25: Codificação das variáveis qualitativas primeiro banco de dados.....	85
Tabela 26: Codificação das variáveis qualitativas banco de dados versão 2.....	87
Tabela 27: Codificação das variáveis qualitativas banco de dados versão 3.....	92
Tabela 28: ANOVA para variável dependente – resposta – Ecorr.....	95
Tabela 29: ANOVA para variável independente – fatores – Ecorr.....	96
Tabela 30: Médias e desvio padrão para variável resposta – Ecorr.....	97
Tabela 31: Resultados dos três tipos de teste de Homogeneidade.....	98
Tabela 32: ANOVA para variável dependente – resposta – icorr.....	98
Tabela 33: ANOVA para variável independente – fatores – icorr.....	100
Tabela 34: Médias e desvio padrão para variável resposta – icorr.....	101

Tabela 35: Resultados dos três tipos de teste de Homogeneidade.....	101
Tabela 36: ANOVA para variável dependente – resposta – Rohm.....	102
Tabela 37: ANOVA para variável independente – fatores – Rohm.....	103
Tabela 38: Médias e desvio padrão para variável resposta – Rohm.....	104
Tabela 39: Resultados dos três tipos de teste de Homogeneidade.....	105
Tabela 40: Coeficientes da regressão linear para Ecorr.....	107
Tabela 41: Correlações entre as variáveis para Ecorr.....	107
Tabela 42: Coeficientes da regressão linear para icorr.....	110
Tabela 43: Correlações entre as variáveis para icorr.....	111
Tabela 44: Coeficientes da regressão linear para Rohm.....	112
Tabela 45: Correlações entre as variáveis para Rohm.....	113
Tabela 46: Regressão linear do tipo de cimento x R^2 – com resíduos.....	115
Tabela 47: Coeficientes de regressão linear para Ecorr cimento CPIV com resíduos.....	116
Tabela 48: Coeficientes de regressão linear para Ecorr cimento CPIV sem resíduos.....	116
Tabela 49: Trabalhos que faltam ser realizados na área de corrosão de armaduras por ação de íons cloretos.....	122
Tabela A.1 – Trabalhos desenvolvidos no país.....	147
Tabela A.2 – Trabalhos de pós-graduação em argamassa.....	161
Tabela B.1- Trabalhos que compõem a Meta-análise desta Tese.....	163
Tabela C.1: Combinações para Ecorr.....	167
Tabela C.2: Combinações para icorr.....	168
Tabela C.3: Combinações para Rohm.....	169
Tabela C.4: Combinações para Resistência a compressão.....	170

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μA : micro Ampere (10^{-6} Ampere)
 $^{\circ}\text{C}$: graus Celsius
a/c: relação água/cimento
ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ACI: American Concrete Institute
ANOVA: Análise de Variância
ASHTO: The American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM: American Society for Testing and Materials
 C_3A : aluminato tricálcico
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$: hidróxido de cálcio
 CaCl_2 : cloreto de cálcio
 CaCO_3 : carbonato de cálcio
CEB: Comité Euro-Internacional de Betón
Cl⁻: íon cloro
cm: centímetro
 CO_2 : dióxido de carbono ou gás carbônico
Cp (s): corpo-de-prova (s)
CPV-ARI: cimento Portland de alta resistência inicial
C-S-H: silicato de cálcio hidratado
 F_c : resistência à compressão axial
 H_2O : água
LEME: Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais
mg: miligrama
mm: milímetro
MPa: Mega Pascal
NaCl: cloreto de sódio
NBR: Norma Brasileira Regulamentada
NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação
 O_2 : oxigênio
pH: potencial de hidrogênio
U.R.: umidade relativa
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1 INTRODUÇÃO

Como amplamente divulgado nos últimos anos, o concreto é o segundo material mais consumido no mundo, perdendo somente para água (MEHTA E MONTEIRO, 2008; WBCSD, 2002), o que justifica a relevância dos estudos que envolvam seu comportamento frente à durabilidade, e que objetivam a obtenção de estruturas com longas vidas úteis.

A durabilidade pode ser entendida como a capacidade de um material de resistir às ações de intempéries, ataques químicos, abrasão e outros processos de deterioração, mantendo suas características fundamentais. Num projeto se deve considerar a durabilidade de cada material componente, de forma que a vida útil de uma estrutura seja atingida. Como o concreto é um dos materiais mais utilizados na fabricação de elementos de infra-estrutura, sua durabilidade sob diferentes tipos de exposição é uma informação fundamental para os projetistas.

Diversos levantamentos de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado realizados no exterior (MEHTA, 1993; STEWART et al., 1998) e no Brasil (CARMONA e MAREGA, 1988; DAL MOLIN, 1988; ARANHA, 1994; NINCE, 1996; ANDRADE, 1997) indicam que a corrosão de armaduras é um dos mecanismos de deterioração mais frequentes do concreto, com índices de ocorrência variando entre 27% e 64%, sendo responsável direta ou indireta por grande parte dos danos nas estruturas.

A corrosão das armaduras é um processo no qual o aço retorna à forma de óxido de ferro, e no concreto armado é estimulada pela redução de pH devido à carbonatação ou pela presença de cloretos. Em função da extensa costa marítima do Brasil e da concentração populacional brasileira ao longo da costa, a ação de íons cloretos sobre o ambiente construído nacional é significativa, causando a deterioração de estruturas e levando à necessidade de manutenções periódicas e reparos estruturais.

Os processos de manutenção e reparos estruturais são motivo de grande preocupação no meio da construção civil em função dos elevados gastos gerados. Chandra et al. (1994) indicam

estimativas de valores anuais na ordem de 55 milhões de dólares para a manutenção de 9.500 pontes na Suécia. Gu et al. (1996) citam que estudos realizados nos Estados Unidos, pelo *Strategic Highway Research Program*, mostram que até 1996 houve um gasto de aproximadamente US\$ 20 bilhões na recuperação de pontes que apresentavam corrosão de armadura, sendo este valor crescente a uma taxa de US\$ 500 milhões por ano. Essa realidade se espalha por todo o mundo, atingindo estruturas de concreto armado destinadas às mais variadas funções.

Utilizando avaliações feitas por organizações e comitês formados por especialistas em corrosão e proteção contra a corrosão, Andrade e González (1988) demonstraram índices de perdas causadas pela corrosão entre 1,25% a 3,5% do Produto Nacional Bruto (PNB) de países em desenvolvimento ou desenvolvidos. Hoar (1991) concluiu que o setor da construção é responsável por cerca de 0,6% do PNB. Uma avaliação desenvolvida no Brasil por Figueiredo (1994) corrobora estes dados, pois estima que os gastos com corrosão no setor da construção civil equivalem a 0,6% do PNB. Considerando que os custos com proteção e a corrosão propriamente dita, em 1997, quando o PNB foi da ordem de 788 bilhões de dólares (IBGE, 1999), chegar-se-ia à considerável cifra de 4,7 bilhões de dólares de gastos anuais.

Outros estudos estimam que a manutenção de estruturas de concreto armado, objetivando uma melhora na vida útil, envolveria gastos na ordem de \$1,3 trilhões de dólares. Só nos EUA, um estudo desenvolvido por Long et al (2001) apresenta estimativas conservadoras que envolvem gastos com recuperação de estruturas de concreto deterioradas da ordem de US\$ 100 bilhões. Levantamentos realizados no Reino Unido estimam que 50% do gasto anual da indústria da construção, que fica em torno de 56 bilhões de libras esterlinas, é gasto em reparos ou restaurações (SWAMY, 2000).

Todos estes dados, considerados em conjunto, evidenciam a importância do tema, pois demonstram que a deterioração de estruturas de concreto é um grave problema em todo o mundo.

A Tabela 1 ilustra o impacto econômico que os serviços de manutenção e reparo de estruturas de concreto armado provocam na economia de um país. É importante salientar que alguns países europeus gastam por volta de 50% do que investem em construções e serviços de manutenção e reparo destas estruturas (UEDA e TAKEWAKA, 2007).

Tabela 1: Gastos com manutenção e reparo em estruturas de concreto armado em países desenvolvidos

País	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanha	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Euros (50%)	61,2 Bilhões de Euros (50%)	121,9 Bilhões de Euros (100%)

Observação: todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália, que se refere ao ano de 2002.

Fonte: (UEDA e TAKEWAKA, 2007).

Considerando:

- (i) a importância do concreto como o segundo material em consumo mundial, e
- (ii) o volume de gastos com manutenção e reparo, torna-se evidente a necessidade da realização de pesquisas na área de durabilidade de estruturas em concreto armado e o conseqüente impacto na redução da demanda por manutenções e reparos em estruturas deficientes.

No entanto, no caso brasileiro, há ausência de um planejamento de porte nacional que aponte em qual direção as pesquisas devem seguir para qualificar esta importante área de pesquisa.

Para estudar e caracterizar o processo corrosivo, em campo ou em laboratório, várias abordagens têm sido utilizadas, porém as mais aceitas nos meios acadêmicos envolvem o uso de técnicas eletroquímicas, seja através da avaliação do potencial de corrosão, da intensidade de corrosão, da resistência ôhmica ou resistência de polarização, entre outras. O problema para interpretar a grande gama de trabalhos desenvolvidos sobre o tema é a não padronização das condições e técnicas de ensaio, gerando superposição de trabalhos ou lacunas no conhecimento, além de dificultar o desenvolvimento de modelos mais robustos. Visando entender essa realidade e discutir como começar a mudá-la, uma pesquisa vem sendo desenvolvida no LEME/UFRGS para coletar e analisar a eficiência dos estudos de corrosão realizados no Brasil.

Enquadrado nessa linha de estudo, o presente trabalho coletou dados dos mais importantes grupos de pesquisa nacionais na área e usou a técnica de meta-análise para interpretar a realidade nacional. Espera-se com o mesmo poder ajudar a direcionar os estudos na área de durabilidade de estruturas de concreto armado a partir do mapeamento e análise dos diversos

trabalhos já realizados sobre este tema em diferentes regiões do Brasil.

1.1 HIPÓTESES DE PESQUISA

As principais hipóteses que nortearam o desenvolvimento dessa pesquisa são:

- a) a realização de um mapeamento das pesquisas na área de corrosão em armaduras de concreto armado por ação de íons cloreto realizadas no Brasil possibilita direcionar os futuros estudos;
- b) a existência de uma avaliação estatística a partir de trabalhos já realizados possibilita que seja feita uma análise conjunta de todos estes trabalhos para verificar a quantidade e qualidade dos mesmos sob uma visão do conjunto nacional.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos deste trabalho estão listados a seguir.

1.2.1 Objetivo Principal

Este estudo tem como objetivo principal realizar uma análise descritiva e uma avaliação estatística, a partir de uma meta-análise, dos dados de ensaios eletroquímicos (potencial de corrosão, intensidade de corrosão e resistência ôhmica) dos trabalhos de teses e dissertações da área de corrosão por íons cloreto em estruturas de concreto armado desenvolvidos no Brasil.

1.2.2 Objetivos Secundários

- a) reunir e organizar os dados de teses e dissertações em corrosão por cloretos desenvolvidos no Brasil;
- b) estabelecer relações estatísticas para mapear a qualidade e volume de pesquisas na área;
- c) elaborar um banco de dados nacional com informações sobre variáveis e resultados de estudos;
- d) disponibilizar o banco para todos os grupos de pesquisa da área objetivando:

- contribuir para consolidação de um modelo aplicável de análise das condições de conservação e confiabilidade de estruturas corroídas;
- direcionar novas pesquisas para completar o quadro de estudos do país.

1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho prevê como limitações:

- a) colaboração dos coordenadores de grupos de pesquisas nacionais e de seus orientandos disponibilizando os trabalhos (teses e dissertações);
- b) serem considerados apenas trabalhos que avaliaram corrosão em estruturas de concreto armado por íons cloreto;
- c) a qualidade do modelo gerado ter como base o número de repetições que foram geradas no fatorial desenvolvido;
- d) número de variáveis envolvidas na modelagem dos ensaios que sensibilizam a corrosão estar baseada no aumento da confiabilidade do modelo e não limitado ao uso de materiais específicos.

1.4 ORIGINALIDADE DO TEMA

A originalidade desta tese está associada ao acoplamento de métodos multidisciplinares, pela utilização da meta-análise, uma ferramenta estatística, para mapear e entender a realidade de estudos sobre corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado por íons cloreto desenvolvidos no país. Apesar do potencial que a técnica estatística de meta-análise apresenta, esta ainda não tem sido muito utilizada tanto no Brasil quanto no exterior. A utilização de Meta-análise é encontrada em poucos trabalhos nacionais (CASTRO, 2001). Existem mais trabalhos internacionais que usam esse tipo de abordagem, mas com enfoque em outras áreas e não concreto armado (por exemplo HAJEEH, 2002).

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente tese foi estruturada em nove capítulos, conforme descrito a seguir:

- a) o primeiro capítulo é composto dos itens: introdução, hipóteses, objetivos, limitações da pesquisa e originalidade do tema;
- b) o segundo capítulo apresenta uma revisão teórica dos principais temas de estudos desta tese: a meta-análise e o processo de corrosão;
- c) no terceiro capítulo é apresentado o método de estudo adotado na pesquisa, com informações sobre a fonte e coleta de dados, caracterização dos trabalhos e escolha das variáveis que interferem no modelo estatístico desenvolvido;
- d) o quarto capítulo introduz a análise descritiva dos trabalhos sobre o tema de corrosão de armaduras por ação de íons cloreto. Apresenta também a análise de distribuição dos trabalhos por região geográfica e por orientador, além da análise descritiva das variáveis de interesse: *tipo de cimento, relação água/cimento, adições ativas e outros materiais e formas de indução*;
- e) no quinto capítulo é apresentado o projeto piloto que foi realizado uma a meta-análise de dados de resistência à compressão coletados do tema em estudo. Este capítulo descreve a formação do banco de dados e a análise estatística efetuada tomando como referência os dados de resistência à compressão, para os quais se sabe melhor quais são as variáveis mais influentes;
- f) o sexto capítulo contém uma descrição das estratégias adotadas para formação do banco de dados para a análise estatística das técnicas eletroquímicas, com as codificações dos diversos bancos testados;
- g) o sétimo capítulo apresenta a análise estatística das três técnicas eletroquímicas em estudo pela técnica de Análise de Variância (ANOVA);
- h) no oitavo capítulo são apresentados os resultados da aplicação da técnica de regressão linear aos dados de potencial de corrosão, *E_{corr}*, intensidade de corrosão, *i_{corr}*, e resistência ôhmica, *R_{ohm}*;
- i) no nono capítulo são apresentadas as conclusões derivadas da pesquisa desenvolvida nessa tese.

A Figura 1 ilustra como os capítulos se articulam, de forma a gerar uma abordagem científica para o problema de pesquisa proposto.

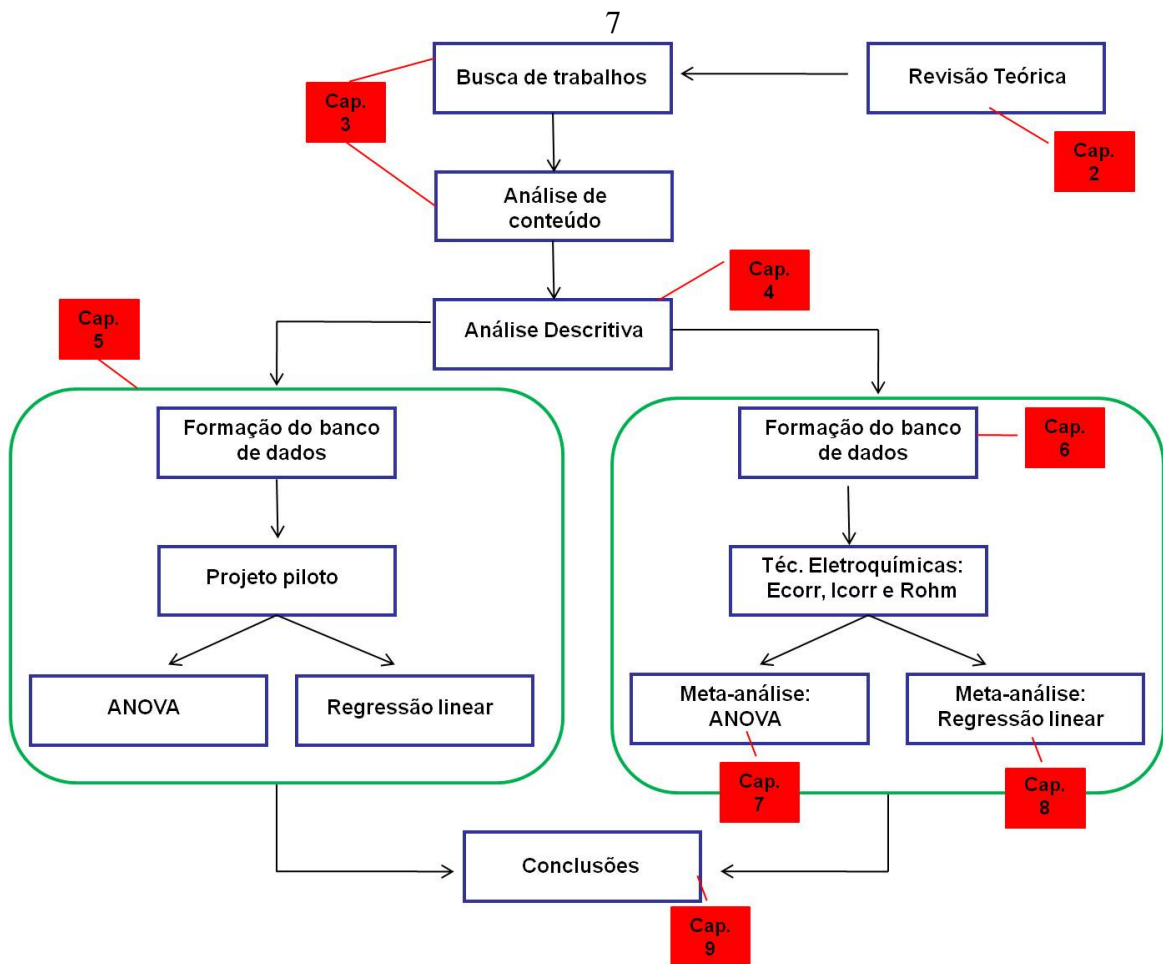


Figura 1: Fluxograma de desenvolvimento da tese.

2 TEMAS DA TESE

Neste capítulo apresenta-se uma revisão teórica dos dois principais temas da tese: Meta-análise e corrosão de armaduras por ação de íons cloreto. O objetivo do capítulo é estabelecer os principais conceitos destes temas, uma caracterização do uso da técnica da meta-análise e dos principais mecanismos de ação da corrosão de armaduras.

2.1 META-ANÁLISE

O prefixo *meta* tem vários significados segundo o dicionário da língua portuguesa. Entre eles, “mudança”, “transcendência” e, principalmente, “reflexão crítica sobre”, são os que mais se encaixam a abordagem desta tese. Uma meta-análise, então, seria aquela que modifica ou transcende o resultado de análises anteriores.

Uma meta-análise visa extrair informação adicional de dados preexistentes através da união de resultados de diversos trabalhos e pela aplicação de uma ou mais técnicas estatísticas, ou seja, aplicação de um novo tratamento estatístico.

É um método quantitativo que permite combinar os resultados de estudos realizados de forma independente (geralmente extraídos de trabalhos publicados) e sintetizar as suas conclusões ou mesmo extrair uma nova conclusão.

As bases estatísticas da Meta-análise originaram-se no século XVII, na astronomia, onde se estabeleceu que a combinação dos dados de diferentes estudos poderia ser mais apropriada que a observação de alguns destes trabalhos (EGGER, 1997).

Em 1904, o estatístico inglês Karl Pearson, publicou um artigo em uma revista médica no qual havia coletado dados de 11 estudos relevantes sobre imunidade e mortalidade por febre tifóide entre soldados que serviam em vários locais do então Império Britânico. A meta-análise de Pearson consistia em calcular coeficientes de correlação para cada um dos 11 estudos, e em seguida, sintetizar os coeficientes em dois subgrupos, produzindo uma correlação média para cada grupo (CHALMERS et al, 2002).

A partir de Pearson vários estatísticos contribuíram para refinar a metodologia. Neste período de estudos, o método estatístico para a síntese de estudos ainda não havia sido nominado,

recebendo várias designações como síntese de pesquisa, visão de conjunto ou *overview*, revisão sistemática, combinação de estudos, evidência cumulativa etc.

O termo meta-análise só foi proposto em 1976 pelo psicólogo Glass (1976), que assim o definiu: "uma análise estatística de grandes coleções de resultados de estudos individuais com o propósito de integrar os achados destes estudos". Glass teve também o mérito de deslocar as tentativas de integração dominantes baseadas em valores de probabilidade, introduzindo o conceito de tamanho do efeito para fundamentar a integração na comparação de diferenças padronizadas entre o grupo experimental e controle.

Na estatística, tamanho do efeito é uma medida da força do relacionamento entre duas variáveis, além de auxiliar-nos a determinar se a diferença observada é importante. Em situações científicas, é frequentemente útil saber não somente se um experimento tem significado estatístico, mas também tamanho de alguns efeitos observados. Em situações práticas, o tamanho do efeito é a moeda corrente comum de estudos com o uso de meta-análise (WOLF, 1986).

Tipos do tamanho do efeito são:

- Coeficiente de correlação de Pearson r : coeficiente de correlação r foi desenvolvido por Karl Pearson, e é o mais utilizado;
- Diferença média padronizada: quando a pesquisa é baseada na média da população e padronizar o desvio - efeito Cohen, método Hedges do tamanho do efeito, f^2 método de Cohen do tamanho do efeito, de ϕ Cramer ou V de Cramer Método do tamanho do efeito;
- *Odds Ratio* (razão de chance): chances de sucesso no grupo de tratamento em relação às probabilidades de sucesso no grupo controle.

O surgimento de um termo específico para Meta-análise ocorreu ao mesmo tempo em que aumentava muito a sua utilização em diversas áreas do conhecimento. A explicação para esse aumento da popularidade desta técnica nas últimas três ou quatro décadas pode estar na atual explosão de informação por que passa o mundo todo e, em especial, o mundo científico ou acadêmico. Para efeito de comparação, o número de publicações científicas aumentou em

média dez vezes em 50 anos, em diversas áreas. Em 1940, eram 2.300 publicações biomédicas e, em 1995, já eram quase 25.000; em psicologia eram 91 em 1951 e 1.195 em 1992; já em matemática evoluiu-se de 91 em 1953 para 920 em 1992 (OLKIN, 1995).

Em 1992 foi fundado o Centro Cochrane do Reino Unido, dando início à Colaboração Cochrane. Nesse mesmo ano, uma publicação no BMJ (CHALMERS, 2002) enumera os objetivos de uma colaboração dedicada a facilitação e disseminação de revisões sistemáticas. Em 1994 são definidas, em outra publicação no BMJ (DICKERSIN, 1994), as estratégias de busca de ensaios clínicos aleatórios em bases de dados.

Também no ano de 1992 apareceram as duas primeiras teses que consistiam em revisões sistemáticas com Meta-análises, uma na Inglaterra e outra no Brasil. Em Oxford, Alejandro Jadad defendeu sua tese de doutoramento (JADAD, 1994) e em São Paulo, Jair de Jesus Mari defendeu sua tese de livre docência na Escola Paulista de Medicina (MARI, 1994). Em 1997, também na Universidade Federal de São Paulo/Escola Paulista de Medicina, foi defendida a primeira tese de doutoramento cujo tipo de estudo foi à revisão sistemática com meta-análise (SOARES, 1997).

A meta-análise pode ser utilizada nas mais diversas áreas, como em medicina, agricultura, ecologia, engenharia, etc. No Brasil a grande maioria das Metas-análises publicadas são na área da saúde e nesta área as pesquisas são classificadas conforme a Figura 2. Esta figura mostra a Meta-análise junto com a revisão sistemática no topo da pirâmide, ou seja que realiza a união de todos os outros tipos de pesquisas.



Figura 2: Classificação das pesquisas na área da saúde

Inegavelmente a medicina é a área que mais avançou no uso da meta-análise até o presente momento. Talvez o motivo disto sejam as dificuldades práticas, os riscos, os custos e ainda as implicações éticas que envolvem os experimentos com seres humanos e mesmo a obtenção de um número amostral considerável em estudos envolvendo intervenções clínicas. Em função de resultados envolverem descobertas significativas para a saúde humana, um grande número de pesquisadores das áreas biomédicas busca na meta-análise a solução mais rápida, segura e econômica de problemas. O crescente uso desse método na área médica, em especial na epidemiologia, levou à publicação, em 1995, pelo *Journal of Clinical Epidemiology*, no volume 48, de um número inteiramente dedicado ao tema Meta-análise.

A Ecologia é outra área em que a necessidade de uma visão ampla sobre os processos que se desenvolvem sobre extensos ambientes leva naturalmente a uma procura por métodos que permitam a síntese de conclusões e dados independentes em teorias ou análises mais gerais. Um exemplo pode ser visto no trabalho de Bini et al., 2001, que utilizam um enfoque meta-analítico para estudar a relação entre a densidade populacional e o tamanho corpóreo de mamíferos e aves.

Praticamente qualquer técnica de análise estatística poderá ser aplicada em meta-análises, dependendo apenas da natureza dos dados e dos objetivos do estudo. Uma descrição detalhada de diversos testes estatísticos que podem ser utilizados em meta-análise aparece no trabalho

de Pereira (1996). A Tabela 2 apresenta algumas das possíveis técnicas estatísticas.

Tabela 2: Técnicas estatísticas

Estatística	Técnicas
Estatística descritiva	Média, mediana, moda, variância, desvio padrão, coeficiente de variação
Inferência estatística	Teste de hipóteses, Significância, Potência, Hipótese nula/Hipótese alternativa, Erro de tipo I, Erro de tipo II, Teste Z, Distribuição t de Student, Normalização, Valor p, Análise de variância
Estatística não-paramétrica	Teste Binomial, Teste Qui-quadrado, Teste de McNemar, Teste dos Sinais, Teste de Wilcoxon, Teste de Walsh, Teste Exata de Fisher, Teste Q de Cochran, Teste de Kruskal-Wallis, Teste de Friedman
Distribuição de probabilidade	Normal, de Pareto, de Poisson, de Bernoulli, Hipergeométrica, Binomial, Binomial negativa, Gama, Beta, T-student, F-Snedecor
Correlação	Variável de confusão, Coeficiente de correlação de Pearson, Coeficiente de correlação de postos de Spearman, Coeficiente de correlação tau de Kendall
Regressão	Regressão linear, Regressão não-linear, Regressão logística, Modelos Lineares Generalizados, Modelos para Dados Longitudinais
Análise multivariada	Distribuição normal multivariada, Análise fatorial, Análise discriminante, Análise de "Cluster", Análise de Correspondência
Séries temporais	Modelos para séries temporais, Tendência e sazonalidade, Modelos de suavização exponencial, ARIMA, Modelos sazonais

A estatística descritiva é um ramo da estatística que aplica várias técnicas para descrever e sumarizar um conjunto de dados. A inferência estatística tem por objetivo fazer afirmações a partir de um conjunto de valores representativo (amostra) sobre um universo. A distribuição de probabilidade descreve a chance que uma variável pode assumir ao longo de um espaço de valores. A correlação, também chamada de coeficiente de correlação, indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. A regressão é uma técnica que permite explorar e inferir a relação de uma variável dependente com variáveis independentes específicas e a série temporal é uma coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo.

Os dados para realização de uma meta-análise podem ser:

- Obtidos de trabalhos já publicados: neste tipo de dados não há necessidade de autorização para uso, pois os dados já são de domínio público, sendo apenas indispensável a citação correta da fonte. Em contrapartida à facilidade de obtenção, uma desvantagem deste tipo de dados é que raramente se publicam artigos com os dados originais. Na maioria das vezes, só são apresentados os resultados já analisados, o que limita os tipos de técnicas que poderão ser aplicadas na meta-análise. Geralmente as técnicas mais adequadas nesses casos serão do tipo não paramétrico (CONOVER, 1999);
- Dados brutos de pesquisas anteriores: é o caso de dados coletados e armazenados ao longo do tempo por empresas, universidades ou institutos de pesquisa, que eventualmente serviram a um ou outro propósito, como teses, diagnósticos, publicações, etc., mas nunca foram reunidos em uma única análise (IRWIG, 1995). De qualquer maneira, conseguidos os dados brutos, as possibilidades de análise estatística passam a ser enormes, sendo definida pelos objetivos e linha de trabalho do pesquisador e, também, pelas características dos dados;
- Associação de dados antigos com novos: nesse caso, a fonte de dados alheios pode ser qualquer das duas anteriormente relacionadas, acrescida de um conjunto de dados novos, coletados pelo próprio pesquisador. Os exemplos mais conhecidos são as pesquisas de opinião, especialmente as eleitorais.

Barreto Luiz (2002) chama a atenção de alguns fatores para realização da meta-análise:

- Tendenciosidade dos dados: de acordo com a escolha dos dados, o pesquisador pode escolher dados que estejam de acordo com a sua hipótese, surgindo necessidade de que todos os dados da área estudada sejam relacionados;
- Adequação dos dados ao objetivo: quando os dados são gerados especificamente para o estudo em questão e mesmo assim, ao final da meta-análise, se mostram insuficientes para sustentar quaisquer conclusões.

A meta-análise é um poderoso recurso à disposição dos pesquisadores, que lhes permite tratar, quantitativamente e de forma simultânea, conjuntos de dados, alheios ou não, obtidos

independentemente, assim as principais vantagens do uso desta técnica são:

- Sumariza grande número estudos (resumo);
- Resolve conflitos que existem na literatura;
- Clarifica e quantifica a força dos estudos;
- Documenta a necessidade de estudos maiores;
- Evita fazer novos estudos (tempo e dinheiro);
- Aumenta o poder estatístico de amostra pequena;
- Aumenta a precisão e estimativa de tratamento;
- Investiga variação de tratamento em subgrupos;
- Aumenta generalização do efeito de um tratamento.

Como toda ferramenta, a meta-análise não é perfeita, ou infalível (WOLF, 1986). Ela tem o seu nicho de aplicação e nele deve ser utilizada, pois oferece vantagens óbvias quanto à relação custo/benefício na pesquisa. Cabe aos pesquisadores, portanto, conhecê-la para bem usá-la sem, contudo esquecer a pesquisa básica, no laboratório, que deve continuar sempre estimulada.

2.2 CORROSÃO DE ARMADURAS POR ÍONS CLORETO

2.2.1 Conceitos de corrosão de armadura por ação de íons cloreto

Diversos pesquisadores fizeram tentativas de estabelecer ou adaptar uma conceituação para o termo “corrosão”. Helene (1993) a define como “uma interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação física, química, eletroquímica ou a combinação destas”. Dutra (1999) prefere definir o termo simplesmente como “deterioração dos materiais pela ação do meio”.

Gentil (2003) especifica corrosão como “a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos”. Esta visão coincide com a de Huerta (1997), que estabelece corrosão como “a reação química e eletroquímica de um metal e a interação dele com o meio que o envolve e a deterioração de suas propriedades”.

De forma geral, especificamente, em relação à armadura do concreto armado, pode-se definir corrosão das armaduras como um processo eletroquímico que tem como consequência a deterioração do aço, causando perda de funcionalidade. Alias, de acordo com Ouglova et al. (2006) a degradação das armaduras por ação de íons cloretos é um sério problema tanto econômico quanto do ponto de vista de segurança.

Para que ocorra o processo corrosivo é necessário que (BOHNI, 2005):

- Haja uma diferença de potencial entre dois pontos da armadura, possibilitando o fluxo de elétrons;
- O concreto esteja úmido garantindo a existência de um eletrólito;
- O oxigênio esteja presente, possibilitando a reação catódica;
- Ocorra o rompimento da camada passivadora da armadura, podendo ser pela ação de íons cloreto ou pela carbonatação do concreto.

A Figura 3 é a representação gráfica dos fatores acima descritos que são necessários para que ocorra o processo corrosivo. Cabe salientar que a corrosão de armaduras é um processo proveniente da ação de íons cloreto ou da carbonatação, porém esta tese focará na área de estudos da ação de íons cloreto.



Figura 3: Condições para ocorrência da corrosão (BOHNI, 2005)

2.2.2 Consequências de corrosão de armadura por ação de íons cloreto

A corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado provoca três conseqüências importantes (ROSENBERG et al, 1989; GONZÁLEZ et al, 1996, CABRAL, 2000, SISTONEN, 2009):

- a) perda de seção transversal da armadura e um decréscimo de sua resistência mecânica;
- b) formação de óxidos e hidróxidos que incorporam muitas moléculas de água em sua composição, o que gera uma tendência à expansão, o que pode resultar em fissuração e, em casos severos, deslocamento da camada de cobrimento;
- c) perturbações na interface aço/concreto, decorrentes da degradação das camadas externas do aço e acúmulo de óxidos, prejudicando a transferência de tensões entre eles.

2.2.3 Métodos de ação da corrosão de armadura por ação de íons cloreto

Basicamente, dois tipos de processos corrosivos podem ser desencadeados em armaduras de aço: corrosão eletroquímica e corrosão por oxidação direta.

A corrosão por oxidação direta é um tipo de corrosão química, caracterizado pelo estabelecimento de uma reação química direta entre o metal e o agente agressivo, sem que haja deslocamento de elétrons. Neste caso ocorre uma reação gás-metal, com formação de uma película de óxido de ferro. Esse tipo de corrosão é muito lento à temperatura ambiente e não provoca deterioração substancial das superfícies metálicas, salvo se existirem gases extremamente agressivos na atmosfera. Normalmente os produtos gerados por esse tipo de processo são uniformes, aderentes e podem atuar como uma barreira contra a ação degradante do meio, impedindo o prosseguimento do mesmo e aumentando a resistência da armadura contra a corrosão em meio aquoso (HELENE, 1993).

A corrosão eletroquímica é resultado da formação de pilhas ou células de corrosão, devido à presença de um eletrólito na superfície das barras ou no concreto que as envolve. O produto deste tipo de corrosão é heterogêneo, poroso e de baixa aderência. O mesmo é formado por óxidos e hidróxidos de ferro, de coloração avermelhada e pulverulenta, que recebem a denominação de produtos de corrosão.

A melhor maneira encontrada, de expor o mecanismo da corrosão das armaduras no concreto,

é através do modelo de TUUTTI (1982) que subdivide o processo em iniciação e propagação, conforme Figura 4.

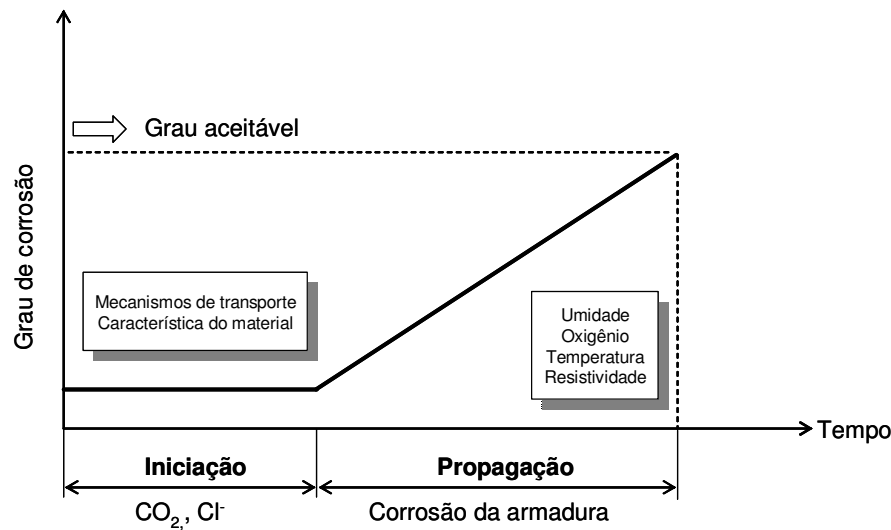


Figura 4: Modelo de vida útil proposto por TUUTI (1982)

A iniciação abrange o período de tempo que vai desde a etapa de execução da estrutura de concreto armado até a ação do agente agressivo em penetrar no concreto de cobrimento, atingir a armadura e despassivá-la. A despassivação pode ocorrer por duas condições, a primeira pela presença de uma quantidade suficiente de cloretos, com origem no meio externo e atinge a armadura por difusão ou já estavam incorporados no concreto devido à água de amassamento ou agregados contaminados ou uso de aditivos aceleradores de pega e endurecimento a base de cloretos. A segunda forma de despassivação é pela redução da alcalinidade do concreto, geralmente em consequência de reações de carbonatação ou pela penetração de substâncias ácidas no concreto.

A etapa de propagação consiste no desenvolvimento do processo corrosivo até o nível de um grau considerado aceitável do mesmo. Como se sabe, a corrosão eletroquímica só ocorre quando num eletrólito houver disponibilidade de oxigênio e for estabelecida uma diferença de potencial (entre o metal e uma solução - eletrólito) entre dois metais ou entre dois pontos de um mesmo metal, podendo haver presença ou não de agentes agressivos (tipo sulfetos, cloretos, dióxido de carbono, nitritos, gás sulfídrico, cátion amônio, óxidos de enxofre e fuligem, entre outros).

2.2.4 Fatores que influenciam a corrosão das armaduras

Segundo Freire (2005) e também Andrade (2010) a corrosão de armaduras pode ser influenciada por muitos fatores, como: mecânico (vibração e erosão), físicos (variações de temperaturas), biológicos (bactérias) e químicos (sais e ácidos). No caso de corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado por ação de íons cloretos podemos citar:

1. Concreto: exerce uma importante função de proteção mecânica. Algumas das suas propriedades que agem diretamente na ocorrência da corrosão das armaduras são: permeabilidade (relacionada à granulometria dos agregados, tipo de cimento e à relação água/cimento), pH, espessura de revestimento, resistividade (quanto maior a atividade iônica, menor a resistividade elétrica do eletrólito e maior a probabilidade de ocorrer a corrosão) e o efeito passivante do concreto sobre a armadura;
2. Tipo do aço;
3. Características do meio ambiente no qual se insere o elemento de concreto armado;
4. Presença de íons cloreto no concreto: podem ser incorporados a ele durante a produção ou podem ingressar quando o mesmo já está endurecido. Durante a produção, os íons cloreto podem ser incorporados pelo uso indevido de agregados contaminados, aditivos aceleradores de pega com cloretos, alguns aditivos redutores de água ou plastificantes ou pelo emprego de água de amassamento contaminada. A incorporação após o endurecimento ocorre em estruturas expostas a águas ou ventos contaminados com cloretos, tais como água do mar, atmosferas marinhas, extratos de lavagem de pisos e fachadas com ácido muriático, sais de degelo e efluentes de processos industriais.

2.2.5 Fatores determinantes da velocidade e profundidade de penetração de íons cloreto

- a) Cimento: a reação de C_3A (aluminato tricalcio) e C_4AF (aluminoferro tetracalcio) do cimento determina a capacidade de combinação com os íons

cloreto. Cimentos com baixas quantidades dos compostos possuem pouca capacidade de imobilizar os íons cloreto, através da formação de um sal complexo insolúvel, cloro-aluminato de cálcio hidratado (Sal de Friedel), que reduz a concentração de íons cloreto livres na solução aquosa dos poros do concreto (PAGE et al, 1986);

b) Relação água/cimento, adensamento e cura: quanto menor a relação a/c, menor porosidade e conseqüentemente menor a possibilidade de entrada de agentes agressivos. Tanto o adensamento quanto a cura possuem um efeito sobre as propriedades de transporte de pastas de cimento endurecidas e, por conseguinte, sobre a difusibilidade efetiva dos íons cloreto;

c) Grau de saturação dos poros e concentração de íons cloreto: a penetração dos íons cloreto ao interior do concreto ocorre através de mecanismos de difusão, ou também por sucção capilar da água que os contém, quando ocorrem ciclos de umedecimento e secagem;

d) Fissuras: a primeira região atingida pelos íons cloreto é a que contém fissuras, o que cria pequenas regiões anódicas no interior das fissuras e regiões catódicas maiores fora delas. A velocidade em que a corrosão se desenvolve depende da abertura da fissura, da qualidade do concreto e da relação área catódica/anódica.

2.2.6 Métodos de Avaliação do processo de corrosão

De acordo com Helene (1993), o processo de corrosão das armaduras no concreto armado está dividido em duas etapas. A primeira, denominada de iniciação, ligada à situação termodinâmica do processo, ou seja, ocorrência ou não de condições necessárias para que o processo de corrosão ocorra, em geral ligado à qualidade do concreto de cobrimento e à agressividade do ambiente. A segunda, chamada de propagação, está associada à cinética do processo, ou seja, a existência de condições que acelerem ou inibam as reações que alteram a velocidade ou taxa de corrosão.

Verifica-se que, durante o período de iniciação, a natureza dos ensaios está relacionada à medição de variáveis ligadas às características dos metais e, principalmente, do meio

circundante. A questão é determinar quando a situação termodinâmica favorecerá a despassivação (expressa pela destruição do filme passivante) da armadura.

Já no período de propagação, os ensaios se voltam para a determinação da disponibilidade de elementos que são indispensáveis para (oxigênio) ou estimulam (cloretos, teor de sais solúveis no eletrodo) a continuação do processo. Além disto, nesta fase, são feitos ensaios para avaliar a dinâmica do processo, tais como a medição da corrente, da impedância e dos ruídos eletroquímicos.

O uso de técnicas eletroquímicas na avaliação do processo corrosivo de armaduras de estruturas de concreto é difundido mundialmente, pois estas técnicas permitem não somente uma avaliação cinética instantânea da corrosão (intensidade de corrosão), como também uma avaliação das reações parciais e suas respectivas variáveis intervenientes no fenômeno global.

Entre as vantagens do uso destas técnicas estão:

- Determinação das intensidades e velocidades de corrosão como densidades de corrente oferecendo grande sensibilidade;
- Determinação instantânea da corrosão, acompanhando a evolução do processo e caracterizando-se o estado da armadura em função do tempo;
- Possibilita condições próximas à realidade, rapidez de determinação e possibilidade de utilização de forma não destrutiva.

Existem diversas técnicas eletroquímicas, entre elas: determinação do coeficiente de difusão, migração de cloretos, teor de cloretos, resistividade, curvas de polarização, resistência a polarização, impedância eletroquímica, intensidade de corrente galvânica, ruídos eletroquímicos, entre outros. Porém as técnicas mais utilizadas no Brasil são:

- Medidas instantâneas de corrente de corrosão;
- Mapeamento da corrosão através do potencial de corrosão;
- Resistividade ôhmica.

2.2.6.1 Ensaio de potencial de corrosão (Ecorr)

Esta técnica surgiu na década de 50 na América do Norte e passou a ser muito usada nos

Estados Unidos. Seu uso é muito comum no mapeamento de manifestações patológicas geradas pela corrosão em estruturas reais. Porém utilizam-se estratégias de trabalhos para ter agilidade e economia no processo. Estas estratégias são definidas de acordo com o estado de deterioração e tamanho da estrutura em estudo.

A técnica de potenciais de eletrodo ou de corrosão consiste em medir a diferença de potencial entre um eletrodo de trabalho (armaduras) e um eletrodo de referência (por exemplo: calomelano saturado, cobre-sulfato de cobre ou prata-cloreto de prata) através de um voltímetro de alta impedância de entrada. Este método apresenta resultados na forma de linhas equipotenciais sobre a estrutura de concreto armado, conhecido como mapeamento de potenciais.

De acordo com a ASTM C876 (1991) a interpretação dos resultados é dada pela Tabela 3. Porém ressalta-se que estes valores podem ter um valor de erro em função das condições de ensaio. Desta maneira utiliza-se a média dos dados para analisar com a Tabela abaixo (NEA/CSNI/R2002-21).

Tabela 3: Probabilidade de corrosão através do E_{corr} , segundo ASTM C876 (1991).

Potenciais de corrosão - ESC	Probabilidade de corrosão (%)
$E_{corr} > -200 \text{ mV}$	< 10
$-200 \text{ mV} < E_{corr} < -350 \text{ mV}$	Incerta
$E_{corr} < -350 \text{ mV}$	> 90%

Alguns fatores interferem nas medidas de potencial como:

- Camadas superficiais de concreto de alta resistividade, pois a corrente de corrosão tende a evitar o concreto resistivo pela sua baixa umidade;
- A qualidade do concreto e profundidade de cobrimento: sabe-se que quanto menor a relação água/cimento, menor a porosidade do concreto e assim maior a resistividade do material, o que dificulta o caminho iônico de retorno até o eletrodo de referência. Quanto maior o valor do cobrimento, maior a dificuldade da identificação do processo de corrosão.

Esta técnica tem como **vantagens**:

- Delimitação de áreas comprometidas;
- Monitoramento da estrutura;

- Sensibilidade para detectar mudanças no estado superficial da armadura;
- Levantamento de potenciais eletroquímicos;
- Método não destrutivo;
- Apresenta rapidez e facilidade na execução do método.

Desvantagens:

- Não fornece dados quantitativos do processo de corrosão;
- Aponta, apenas, zonas prováveis de corrosão;
- Limitações ao se deparar com concretos de alta resistividade;
- Interferência da espessura do revestimento nas leituras dos potenciais;
- Grande quantidade de variáveis que interferem na técnica.

2.2.6.2 Ensaio de Intensidade de corrosão (icorr)

Icorr representa um valor instantâneo, ou seja, em um momento do ensaio acelerado que está sendo realizado (ANDRADE et al, 1996). Quando registrado periodicamente pode se obter a evolução do processo corrosivo. Portanto, intensidade de corrosão e taxa de corrosão são diferentes, mas usados para o mesmo propósito. Valores isolados de Icorr são utilizados para comparar corpos-de-prova ou estruturas reais e registram a intensidade de corrosão ou corrente naquele momento. Ao integrar os dados durante todo o tempo de ensaio, chega-se ao valor de taxa. Intensidade de corrosão tem como unidade $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ e taxa de corrosão $\mu\text{m}/\text{ano}$, assumindo que a corrosão ocorre de maneira uniforme na armadura. Ensaio que envolvem esta técnica eletroquímica são extremamente sensíveis, fazendo leitura de corrente elétricas de valores baixos.

Além de realizar a leitura direta da intensidade de corrente, pode-se determinar seu valor utilizando outra técnica eletroquímica: resistência à polarização. A resistência à polarização representa a inércia que um sistema possui em desenvolver um processo eletroquímico de corrosão, isto é, um processo de transferência de carga elétrica do metal. Sendo assim, quanto maior for a resistência à polarização, menos intensas serão as velocidades de corrosão encontradas (CASCUDO, 1997).

Para utilização da técnica aplica-se uma pequena polarização em torno do potencial de corrosão livre do metal em análise (E_{corr}) e a partir daí registram-se os incrementos de corrente originados da polarização imposta e traça-se um gráfico de potencial versus corrente.

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad \text{Eq. 1}$$

A Tabela 4 classifica a velocidade do processo corrosivo a partir da intensidade de corrosão determinada em leituras instantâneas ou determinar pelo método de resistência a polarização.

Tabela 4: Critérios para avaliar os resultados de velocidade de corrosão

icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Velocidade do processo
10-100	Muito elevada
1-10	Elevada
0,1-1	Moderada
<0,1	Desprezível

Fonte: MILLARD, 2001

2.2.6.3 Ensaio de resistividade (Rohm)

Medidas de resistividade elétrica do concreto podem ser utilizadas tanto para investigações de propriedades do concreto em laboratório como para monitoramento *in loco* de estruturas de concreto. Especialmente, neste último caso, quando associado com medidas de potencial de eletrodo, é um bom indicador do risco de corrosão.

Dentre os métodos propostos para medir a resistividade destaca-se o método de Wenner ou dos quatro eletrodos. Este método é normalizado pela ASTM G57, para uso em solos, e foi mais tarde adaptado para uso em concreto.

O princípio do ensaio de resistividade consiste em induzir a passagem de corrente entre os eletrodos, com auxílio de uma fonte de alimentação de corrente alternada. Mede-se, então, a diferença de potencial entre os eletrodos. O valor da resistividade, de acordo com a fórmula de Frank Wenner, é calculado através da seguinte equação:

$$\rho = R \times K$$

$$K = \frac{4\pi a}{\frac{i+2a}{\sqrt{a^2+b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2+4b^2}}}$$

Onde:

ρ : resistividade calculada do concreto, em ohm.cm;

R: resistência medida pelo instrumento, em ohm;

a: distância entre eletrodos em cm;

b: profundidade de penetração dos eletrodos no cp, em

cm;

Eq. 2

A interpretação dos resultados obtidos é feita de acordo com os intervalos propostos por CEB 192 (1988), indicados na Tabela 5.

Tabela 5: Interpretação dos resultados do ensaio de resistividade

Resistividade (ohm.cm)	Risco de corrosão da armadura
< 5000	Muito alto
5000 a 10000	Alto
10000 a 20000	Baixo/moderado
>20000	Baixo

Há importantes fatores que intervêm na utilização deste método, como por exemplo:

- Os efeitos provocados pela polarização;
- A resistência de contato entre o eletrodo e a superfície do concreto;
- O efeito da intensidade de corrente, da frequência, do tipo de onda, armadura e das dimensões dos corpos-de-prova;
- Tipo de cimento: a adição de agentes pozolânicos em geral aumenta a resistividade quando comparados com o cimento Portland;
- Porosidade do concreto: em função da relação a/c, adensamento e cura utilizada nos corpos-de-prova ou na estrutura real. O aumento da relação a/c provoca a redução da resistividade.

Definindo os temas principais desta tese, iniciou-se a pesquisa. Os métodos utilizados para elaboração desta tese estão no próximo capítulo

3 BANCO DE DADOS: PREPARAÇÃO E ANÁLISES PRELIMINARES

Nesse capítulo se apresenta a estratégia adotada para desenvolvimento do trabalho proposto, que se baseou numa extensiva busca de trabalhos de tese e dissertação desenvolvidos pelos grupos mais importantes que pesquisam sobre corrosão de armaduras no Brasil. Buscando entender sua relação, se efetuou uma análise preliminar dos mesmos, em termos de distribuição geográfica, de orientadores e de tipos de ensaio utilizados. Com base nessa análise preliminar foi possível definir quais seriam as variáveis de interesse para fins do presente trabalho, ou seja, quais os dados que seriam retirados de cada trabalho. Além disso, ao final do capítulo, se apresenta uma breve revisão teórica das ferramentas de análise estatística que foram escolhidas para a meta-análise.

3.1 IDENTIFICAÇÃO E BUSCA DE TRABALHOS

Para orientar a busca de dados se efetuou uma revisão das pesquisas em corrosão realizadas no Brasil, como descrito a seguir. Isso permitiu a identificação de grupos de pesquisa associados ao tema e seus respectivos coordenadores. Com base nesse levantamento foram efetuados contatos e pesquisas em sites para obtenção dos trabalhos de dissertação e teses disponíveis no Brasil.

3.1.1 Análise da Evolução das Pesquisas em Corrosão no Brasil

Até a década de 60 o concreto armado não apresentava maiores problemas quanto à corrosão de armaduras. Após este período, em países frios, começaram a adicionar sais para degelo superficial do concreto, aditivos aceleradores de pega e endurecimento, além de outros materiais que levam a degradação do concreto. Somando-se a isto, os elementos estruturais passaram a ser mais esbeltos, em função de mudanças nos cálculos estruturais e no avanço tecnológico dos materiais, associando-se ao fato de as cidades transformarem-se em ambientes agressivos em função do crescimento industrial e urbano.

A seguir está um breve histórico nacional sobre as pesquisas na área de concreto armado:

- 1972 - O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo realiza colóquio sobre "DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO" onde foram apresentados pesquisas sobre águas agressivas ao concreto e durabilidade do concreto em ambiente marítimo. Nesse evento foi criado o Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON;
- 1981 – Helene publica o primeiro trabalho abrangente sobre corrosão de armaduras no Brasil no Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto sob o título "Corrosão das Armaduras em Concreto Armado" que é a base de seu livro publicado em 1986;
- 1986 - Miranda, um dos primeiros a aplicar no Brasil técnicas de medida de potencial de eletrodo em estruturas de concreto, e Nogueira apresentam trabalho denominado “Medidas de Potencial de Eletrodo em Armaduras de Concreto” no 2o Seminário Nacional de Corrosão na Construção Civil (MIRANDA e NOGUEIRA, 1986);
- 1989 - primeiro trabalho de mestrado na área foi em Campinas/Unicamp, orientado pela Prof^a Inês Joekes do departamento de Química, com o título: “Avaliação de proteção para concreto aparente”, de autoria de Magrini Filho, C.R;
- 1990 – Dissertação da Maryangela G. Lima, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, com o título: “Influencia dos Componentes do Concreto na Corrosão das Armaduras”.
- 1991- Oswaldo Cascudo Matos com a dissertação “Contribuição ao Estudo e Emprego de Técnicas Eletroquímicas no Controle da Corrosão de Armaduras de Concreto Armado” pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Os três últimos trabalhos listados acima foram os primeiros em nível de pós-graduação desenvolvidos no país, seguidos, a partir daí, de vários outros, conforme relato a seguir. Atualmente, no Brasil, existem vários pesquisadores em diversas instituições (principais na Figura 4), atuando na área de durabilidade do concreto armado como, por exemplo:

- Prof. Dr. Paulo Helene do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
- Prof.a Dra. Maryangela Lima pesquisadora do ITA/CTA em São José dos Campos e coordenadora do Sub-Grupo de Trabalho de Durabilidade do Concreto, ligado ao Grupo de Trabalho de Durabilidade das Construções da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído-ANTAC;
- Prof. Dr. Cláudio Kazmierczak, pesquisador do Centro de Ciências Tecnológicas do Núcleo de Pesquisa e Apoio à Indústria da UNISINOS-RS;
- Prof. Dr. Enio Figueiredo e Prof. Dr. Oswaldo Cascudo, Universidade Federal de Goiânia-UFG;
- Prof. Dr. Elton Bauer e Prof. Dr. Antônio Nepomuceno, ambos da Universidade de Brasília-UnB;
- Prof. Dr. Geraldo Isaia, pesquisador do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria-RS;
- Prof. Dr. Luiz R. Prudêncio e Prof. Ivo José Padaratz, do Núcleo de Pesquisa em Construção da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC;
- Prof.a Dra. Denise Dal Molin e Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
- Profª Dra. Eliana Monteiro Universidade Politécnica de Pernambuco e Universidade Católica de Pernambuco;
- Prof. Dr. André Guimarães da Universidade Federal do Rio Grande;
- Prof. Dr. João Luiz Calmon da Universidade Federal do Espírito Santo;
- Prof. Dr. Gibson Rocha Meira do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba e colaborador no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande.



Figura 5 – Principais grupos de Pesquisa Nacionais

Após a determinação dos grupos de pesquisa que estudam a ação de cloretos em armaduras de concreto armado, foi realizada a procura dos trabalhos que os referidos grupos desenvolveram nesta área, sendo então classificados quanto ao tipo de material utilizado (concreto, argamassa ou em barras). Somente os trabalhos desenvolvidos com concreto foram agrupados, tendo os dados correspondentes coletados para a realização da Meta-análise.

3.1.2 Obtenção de dados

Os dados foram coletados de teses e dissertações desenvolvidas no Brasil. Em estatística esta proposta é chamada de Censo, pois neste caso foram coletados os trabalhos da área.

A coleta de dados teve início na primeira reunião do grupo nacional de estudos do processo corrosivo de armaduras de concreto por íons cloretos. Esta reunião ocorreu durante a realização da Mesa Redonda do grupo no 49º Congresso Brasileiro do Concreto no ano de 2007. Durante este evento, os coordenadores dos grupos de pesquisas foram contatados, sendo solicitado a eles o envio dos dados de seus trabalhos para o início da formação do banco de dados.

Simultaneamente, por meio da plataforma Lattes do site do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) foi possível ter acesso aos currículos dos coordenadores de grupos de pesquisa, considerando-se a orientação de trabalhos e pesquisas pertinentes ao tema em estudo nesta tese. Esta estratégia foi utilizada, pois considerando-se a abrangência e atualidade dos dados contidos nesta plataforma, pode-se assegurar a qualidade das informações adquiridas.

Além desta ferramenta, foram analisados os anais dos principais congressos nacionais, a procura de trabalhos sobre o tema que poderiam não ter sido incluídos na primeira busca.

3.2 ANÁLISE PRELIMINAR DE CONTEÚDO

Ao serem obtidos, os trabalhos foram organizados progressivamente em ordem cronológica e as análises começaram a ser feitas para prospectar o conteúdo e coletar os dados para as demais etapas dos trabalhos.

Verificou-se que, dos 114 trabalhos que compõem o banco de dados, 14 trabalhos estão em andamento, não tendo sido ainda publicados, 3 trabalhos foram obtidos somente impressos, 64 trabalhos em formato digital e o restante, 33 trabalhos não foram acessados por não terem sido disponibilizados pelos autores ou por serem trabalhos mais antigos, que só possuem cópias em bibliotecas sem acesso on line, sendo necessário o deslocamento do pesquisador até as universidades brasileiras onde estes trabalhos foram desenvolvidos, o que foi inviável financeiramente.

Os dados dos ensaios realizados em cada um deles então foram extraídos. O banco de dados, com todos os trabalhos encontrados na área, encontra-se no Anexo A. O mesmo foi montado contendo: o autor, o orientador, o ano de defesa, a região e a cidade onde foi desenvolvido, o grau do estudo (tese ou dissertação) e o título. A Figura 5 é uma primeira análise quantitativa

dos trabalhos por região, sendo a região sul com maior número, seguido pela região sudeste. Acredita-se que, um dos motivos da ausência de trabalhos na região Norte, seja em função da distribuição populacional do Brasil, pois esta região é uma área de difícil acesso em função da floresta Amazônica.

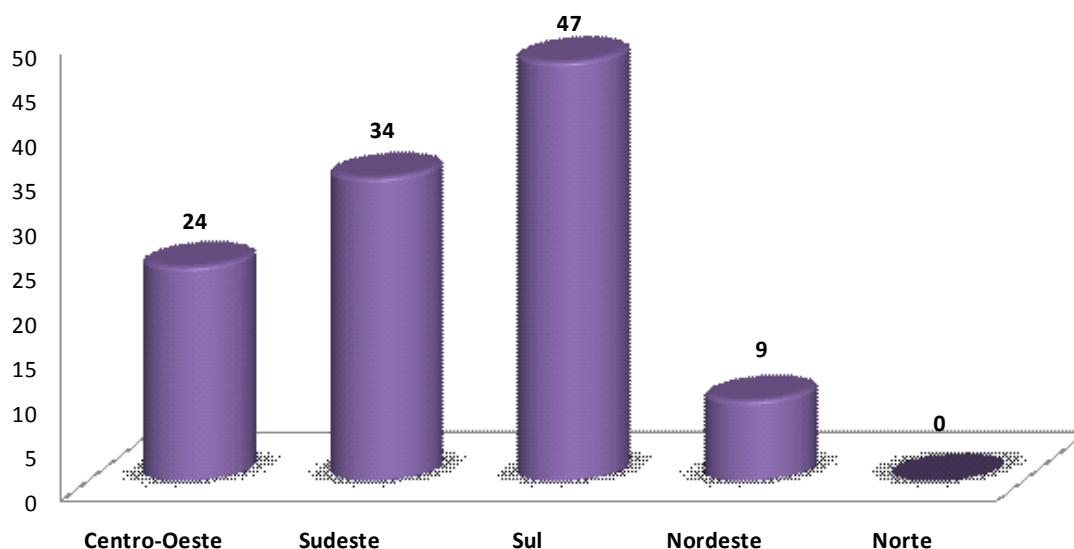


Figura 6 – Quantitativo de trabalhos por região (base: 114 trabalhos)

No Anexo A, também estão os trabalhos encontrados sobre corrosão de armaduras por ação dos íons cloreto em argamassas, sendo dos quatro trabalhos, dois da região centro-oeste com orientação do Prof. Antônio Nepomuceno.

No Anexo B, estão os 64 trabalhos que foram enviados pelos autores e que foram utilizados na confecção da Meta-análise, salientado o formato em que os trabalhos foram analisados (impresso ou digital). Esta classificação é importante para a divulgação do banco de dados através da Internet, pois apenas as que estão em formato digital poderão ser disponibilizadas. A partir disto, os 64 trabalhos enviados pelos autores foram avaliados individualmente, e classificados de acordo com as variáveis pré-determinadas, descritas no item 3.2.

3.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a análise preliminar, para subsidiar o prosseguimento do trabalho, foi efetuada a

definição das variáveis de interesse (ou seja, as variáveis de resposta, dependentes, e as variáveis independentes, fatores) que seriam usadas nas modelagens estatísticas. Foi necessário efetuar essa análise prévia para que se pudesse iniciar a coleta de dados de cada um dos trabalhos. A definição das variáveis foi efetuada após uma análise do papel de cada uma no fenômeno da corrosão, descrito sucintamente a seguir.

3.3.1 Seleção das variáveis dependentes

As variáveis dependentes (ou de resposta) foram obtidas dos trabalhos analisados, sendo também as variáveis dependentes destes. Diversas variáveis foram encontradas nos trabalhos que avaliam corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado por íons cloretos, tais como: potencial de corrosão, intensidade de corrosão, resistência ôhmica, coeficiente de difusão, teor de cloretos, carga passante (em Coulombs), entre outras. Além de outras várias variáveis para análise física do concreto, como por exemplo, a resistência à compressão que é tradicionalmente estudada nos trabalhos da área por auxiliar na qualificação do material pesquisado.

Um sumário dos 64 trabalhos que formam o banco de dados, a partir do quantitativo das principais técnicas para avaliação do processo corrosivo, é apresentado na Tabela 6 e também na Figura 6. A Tabela 6 apresenta a quantidade de estudos que foram realizados a partir da classificação pelo tipo de cimento. A escolha desta classificação pelo tipo de cimento deve-se a este ser o principal material empregado na confecção do concreto. Ressalta-se que optou-se pelo termo “quantidade de estudos” em função de alguns trabalhos utilizarem várias técnicas, assim a tabela demonstra o número de vezes que uma determinada técnica foi utilizada independente do número de trabalhos de teses e dissertações.

Os resultados apontam para a frequência do uso das técnicas de potencial de corrosão, intensidade de corrosão e resistência ôhmica. A Figura 6 apresenta a distribuição percentual destes estudos segundo as principais técnicas de avaliação da corrosão utilizadas, indicando potencial de corrosão, 24 %, intensidade de corrosão, 13 % e resistência ôhmica, 19 %.

Tabela 6: Quantitativo dos estudos realizados na área de corrosão por íons cloreto

Ensaio	Tipo de cimento	Quantidade de estudos
<i>Ecorr</i>	CPIIF-32	19
	CPIIE	4
	CPIV	2
	CPVARI	4
	CPVARI-RS	1
	total	30
<i>Rohm</i>	CPIIF-32	13
	CPIIE	0
	CPIV	3
	CPVARI	7
	CPVARI-RS	1
	total	24
<i>Icorr</i>	CPIIF-32	12
	CPIIE	1
	CPIV	2
	CPVARI	2
	CPVARI-RS	0
	total	17
Carga (Coulombs)	CPIIF-32	7
	CPIIE	0
	CPIV	3
	CPVARI	12
	CPVARI-RS	1
	total	23
Teor de cloretos	CPIIF-32	3
	CPIIE	3
	CPIV	2
	CPVARI	6
	CPVARI-RS	1
	total	15
Perda de massa gravimétrica	CPIIF-32	5
	CPIIE	1
	CPIV	1
	CPVARI	4
	CPVARI-RS	1
	total	12
Coefficiente de difusão	CPIIF-32	2
	CPIIE	0
	CPIV	1
	CPVARI	2
	CPVARI-RS	0
	total	5

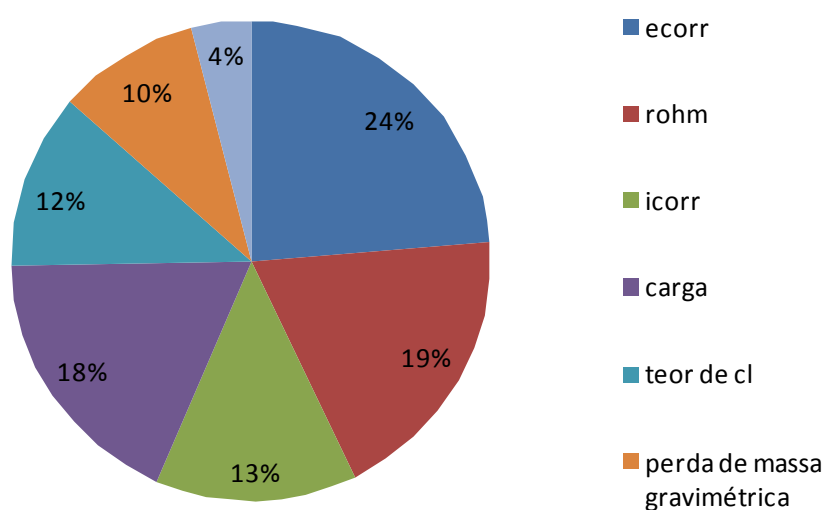


Figura 7 – Distribuição percentual de estudos segundo as principais técnicas de avaliação da corrosão utilizadas.

Após a coleta de dados foi iniciado o tratamento estatístico. Foi observada uma grande variabilidade de combinações de variáveis independentes, desta maneira as variáveis de resposta que apresentaram poucas combinações não puderam ser analisadas. Tais análises não seriam consideradas confiáveis pelo baixo número de valores ao se distribuir entre os fatores (Análise Fatorial). O quantitativo total dessas variáveis de resposta está na Tabela 7.

Tabela 7: Quantitativo total das variáveis de resposta

Variável de resposta	Quantidade de dados
Potencial de corrosão (<i>Ecorr</i>)	6281
Intensidade de corrosão (<i>icorr</i>)	2816
Resistência ôhmica (<i>Rohm</i>)	3551
Perda de massa gravimétrica	163
Coefficiente de difusão	42
Carga passante (Coulombs)	675
Teor de cloretos	163

A partir das quantidades de dados obtidos para cada variável dependente ou resposta iniciou-se o processo de combinações das variáveis independentes (fatores), sendo então, determinadas as variáveis dependentes (ou resposta), pela quantidade de combinações e não pela quantidade de dados. A análise estatística foi feita utilizando um fatorial e realizando uma estatística descritiva através do aparecimento das possíveis combinações, ou seja, da

frequência com que cada uma das combinações apareceram.

Após esta análise descritiva foram escolhidas as variáveis que apresentaram menor número de falhas nas combinações, a saber:

- Potencial de corrosão (*Ecorr*);
- Intensidade de corrosão (*icorr*);
- Resistência ôhmica (*Rohm*).

Além dessas variáveis, associadas ao comportamento eletroquímico, foram coletados dados referentes à resistência à compressão, para alimentar o projeto piloto, como descrito no capítulo 1. Os resultados do mesmo se encontram no capítulo 5.

3.3.2 Seleção das variáveis independentes

A determinação das variáveis independentes (ou fatores) é baseada nos fatores que influenciam o processo corrosivo por íons cloreto e nas informações que os trabalhos (teses e dissertações) disponibilizam, assim permitindo a classificação dos trabalhos.

O número de variáveis que cada fator é classificado é também um elemento importante, pois interferirá no fatorial a ser realizado. Experimentos fatoriais envolvem uma variável de resposta e n fatores controláveis com vários níveis cada um. Hajeeh realizou, em 2003, um trabalho muito semelhante a esta tese, onde fez uma análise estatística para corrosão em dois tipos de metais utilizando um fatorial e as relações entre as variáveis independentes (fatores) utilizadas em dois níveis cada. Concluiu que o uso de dois níveis nas variáveis é muito importante, pois mostra uma redução das possíveis combinações e assim se obtém valores mais confiáveis.

Cabe salientar que, também em 2003, Ahmad relatou que fatores internos que afetam a ação da corrosão das armaduras como: quantidade de C_3A do cimento, relação a/c , tipos de agregados, tipo de cura, adição de cloretos no concreto são também importantes na escolha das variáveis independentes.

A partir deste conceito as variáveis independentes escolhidas para esta análise foram:

- Tipo de cimento;

- Ocorrência de ciclo de imersão e de secagem;
- Relação água/cimento;
- Adição de materiais;
- Tempo da realização das medidas.

3.3.2.1 Tipo de cimento

Bakker (1988) comprovou que a quantidade de C_3A (composto $3CaOAl_2O_3$ presente no clínquer) do cimento determina a capacidade de combinação com os íons cloreto. Cimentos com baixa quantidade de aluminato tricálcico possuem pouca capacidade de imobilizar os íons cloretos, pela formação de um sal complexo insolúvel, cloro-aluminato de cálcio hidratado (Sal de Friedel), que reduz a concentração de íons cloreto livres na solução aquosa dos poros do concreto (PAGE et al., 1986).

Em 2004, dois estudos comprovaram a importância da composição do cimento na durabilidade das estruturas e do aumento de C_3A nos diferentes tipos de cimento na redução da ocorrência de corrosão (MATHER, 2004, SAKR, 2004).

As Tabelas 8 e 9 apresentam a composição de alguns cimentos Portland. O percentual de clínquer e gesso é fator determinante do material, aluminato tricálcico entre 0 e 13% da composição do clínquer.

Tabela 8: Composição dos cimentos Portland

cimento	Clínquer+gesso (%)	Escória (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CPIIF	90-94	-	-	6-10
CPIIE	56-94	6-34	-	0-10
CPIV	45-85	-	15-50	0-5
CPVARI	95-100	-	-	0-5

Tabela 9: Principais compostos químicos do clínquer

Composto químico	Quantidade
Silicato tricálcico $(CaO)_3SiO_2$	45-75%
Silicato dicálcico $(CaO)_2SiO_2$	7-35%
Aluminato tricálcico $(CaO)_3Al_2O_3$	0-13%
Ferroaluminato tetracálcico $(CaO)_4Al_2O_3Fe_2O_3$	0-18%

Os cimentos utilizados nos trabalhos (teses e dissertações) analisados foram:

- Cimento Portland composto com pozolana (CP II-F): composto de 90% a 94% de clínquer+gesso com adição de 6% a 10% de material carbonático (fíler) em massa;
- Cimento Portland composto com escória (CP II-E): além da composição básica (clínquer+gesso), contém adição de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação. O CP II-E é composto de 94% a 56% de clínquer+gesso e 6% a 34% de escória, podendo ou não ter adição de material carbonático no limite máximo de 10% em massa;
- Cimento Portland Pozolânico (CPIV): contém adição de pozolana no teor que varia de 15% a 50% em massa, conferindo ao cimento uma alta impermeabilidade e conseqüentemente maior durabilidade;
- Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI): não contém adições (podendo conter até 5% em massa de material carbonático). O que o diferencia é o processo de dosagem e produção do clínquer. Se comparado aos demais tipos de cimento, o CP V-ARI é produzido com um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila e com moagem mais fina. Diferenças que conferem uma alta resistência inicial ao concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade.

3.3.2.2 Ciclos de imersão e de secagem

A quantidade de sais ou o tipo de ambiente agressivo (perto ou longe do mar) influencia no processo de penetração dos íons cloretos nas estruturas reais (GARCIA, 2008) ou em ensaios de laboratório (LINDVALL, 2007).

Garcés et al (2005) demonstraram a importância da redução do pH do meio onde o concreto armado se encontra, pois pH elevado aumenta a icorr (taxa de corrosão) medida através do ensaio de resistência a polarização, comprovando que corpos-de-prova que sofreram ação de ciclos de imersão e secagem terão influência nas medidas de intensidade de corrosão. Estes resultados corroboram estudo realizado por Mather, em 2004, em que foi destacada a interferência de estados de secagem e molhagem em estruturas na ocorrência de processos corrosivos.

Em estruturas reais localizadas em ambiente externo mais seco que o interno a água evapora,

ficando os sais contidos nos poros da estrutura. Por gradiente de concentração ocorre o deslocamento do sal para as zonas de menor concentração, isto é para o interior. A umidade relativa do ambiente e a duração do período de secagem possibilitarão uma evaporação maior na região mais externa, assim a região mais interna se torna mais saturada, precipitando o excesso na forma de cristais, formando, portanto, um ciclo onde a água se desloca para o exterior e o sal para o interior (NEVILLE, 1997). Na seqüência, os íons cloreto concentram-se no interior das estruturas e provocam o surgimento do processo corrosivo. Em laboratório, ciclos de imersão e secagem consistem em períodos que os corpos-de-prova são imersos em água em determinada concentração de NaCl e após passam por um período de secagem para que ocorra o processo de gradiente de concentração.

Os ciclos de imersão e de secagem foram utilizados como variável para os experimentos eletroquímicos, em função de provocarem o processo corrosivo das armaduras.

3.3.2.3 Relação água/cimento

Da relação água/cimento depende a resistência e a durabilidade do concreto, interferindo nos coeficientes de retração e fluência. O aumento da relação a/c provoca aumento da porosidade do concreto permitindo maior facilidade da penetração dos íons cloreto (MATHER, 2004)

3.3.2.4 Adições minerais

O efeito físico das adições leva ao refinamento da porosidade, ao aumento da resistividade elétrica, à diminuição dos coeficientes de permeabilidade e da absorção de água com conseqüente aumento da durabilidade do concreto (MEHTA, 1983).

3.3.2.5 Tempo

Uma vez que as medidas eletroquímicas foram realizadas diariamente ao longo de um prazo estipulado em cada pesquisa, a variável tempo é considerada um fator.

3.4 DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NA META-ANÁLISE

Estando definidas as variáveis (dependente-resposta e independente-fator) o próximo passo deste estudo foi definir as técnicas estatísticas a serem utilizadas na meta-análise.

Dentre as diversas técnicas estatísticas apresentadas no Capítulo 2, foram escolhidas, com o apoio do Departamento de Estatística da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, duas técnicas distintas para realização da Meta-análise do banco de dados sobre ação da corrosão por íons cloreto em concreto armado.

As técnicas selecionadas foram: (i) a Análise de Variância (ANOVA) e (ii) a Regressão Linear. A Análise de Variância foi utilizada para determinar as diferenças entre os grupos estudados e assim revelar as suas significâncias. Entretanto ANOVA não é uma técnica de modelagem; assim, a Regressão Linear foi então utilizada na tentativa de se estabelecer equações entre as variáveis dependentes (resposta) e independentes (fatores).

3.4.1 Análise de Variância - ANOVA

A ANOVA é um teste estatístico amplamente difundido entre os estatísticos, e visa fundamentalmente verificar a existência de diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente - resposta.

A principal aplicação da ANOVA é a comparação de médias entre e dentro dos diferentes grupos, também chamados de tratamentos, pois detecta a influência de cada variável independente no experimento analisado e mantém o nível de significância estabelecido.

Mais concretamente, no teste de hipóteses com base em frequência estatística, a significância de um teste é a probabilidade máxima de rejeitar uma hipótese nula verdadeira (uma decisão conhecida como erro de tipo I). O nível de significância de um resultado, α , não deve ser confundido com o valor P (P-value) que é o valor da probabilidade de se obter o efeito observado, dado que a hipótese nula é verdadeira. Se o valor do p-value for menor que o nível de significância estipulado, assume-se o erro tipo I e rejeita-se a hipótese nula. Ao contrário, se o p-value for maior, não é assumido o erro tipo I e se aceita a hipótese nula.

O p -value não é, como comumente se escreve, a probabilidade de que o efeito observado tenha ocorrido por acaso, mas sim a probabilidade de obter o efeito observado (ou um valor menos provável) quando a hipótese é verdadeira.

Geralmente, em Engenharia, utiliza-se $\alpha = 5\%$, ou seja, ao calcular um valor crítico de um parâmetro (por exemplo, a média) de modo que a probabilidade de que ela exceda este valor, dada a verdade da hipótese nula, ser 5%. Se o valor estatístico calculado exceder o valor

crítico, então é significante "ao nível de 5%".

A ANOVA pode ser utilizada de duas maneiras:

- One Way ANOVA: uma variável de resposta, um fator controlável a vários níveis (varias grupos), com objetivo de identificar se os valores da variável de resposta medidos nos diversos níveis do fator controlável diferem entre si;
- Two Way ANOVA: uma variável de resposta, dois fatores controláveis em vários níveis (varias grupos), com objetivo de identificar se os valores das variáveis de resposta medidos nos diversos níveis do fator controlável diferem entre si e se há interação entre os fatores.

O teste de homogeneidade também foi realizado neste estudo, pois este teste tem como objetivo verificar se diferentes populações têm as mesmas características.

Os testes de Levene (1960) e de Brown & Forsythe (1974a) têm-se constituído como técnicas úteis para comparação de médias e variâncias quando as suposições básicas dos testes de igualdade de variâncias e de igualdade de médias não são satisfeitas. Estes testes foram sofrendo modificações ao longo do tempo, propostas por diversos autores.

O teste F obtido através da análise de variância com um fator para comparar médias de populações normais independentes apresenta desvios no que tange ao tamanho do teste (taxa de rejeição da hipótese nula, quando ela é verdadeira) quando os grupos possuem variâncias populacionais diferentes.

De acordo com Almeida et al (2008) muitas técnicas estatísticas requerem a suposição de igualdade de variâncias das variáveis de interesse para as populações envolvidas. O teste padrão de homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett) é uma ferramenta eficiente somente se as variáveis podem ser aproximadas por uma distribuição normal. Quando a suposição de normalidade é violada, o tamanho do teste pode ser muito maior do que o nível de significância fixado.

Um procedimento relativamente insensível a desvios da normalidade é o teste de Levene. Este teste é robusto, já que, na ausência de normalidade, seu tamanho real é próximo do nível de significância fixado para uma grande variedade de distribuições de probabilidade.

3.4.2 Regressão Linear

Algumas vezes deseja-se não apenas saber se existe uma associação entre duas variáveis quantitativas x e y , mas também se tem uma hipótese a respeito de uma provável relação de causa e efeito entre variáveis. Desejamos saber se y “depende” de x . Neste caso, y é chamado de variável dependente ou variável resposta e x é chamado de variável independente ou fator (MANDIM, 2003).

A regressão é usada basicamente com duas finalidades: de previsão (prever o valor de y a partir do valor de x) e estimar o quanto x influencia ou modifica y (VIEIRA, 2003). Existem dois tipos de regressão quanto à qualidade:

- Lineares: quanto os fenômenos podem ser razoavelmente bem explicados por equações do 1º grau;
- Não lineares: quando os fenômenos não podem ser adequadamente explicados por equações do 1º grau, exigindo funções de ordem superior.

E as equações, também, podem ser classificadas quanto ao número:

- Regressão linear: quando há uma variável resposta y e uma variável explanatória x ;
- Regressão não linear: são aplicados modelos de regressão não lineares, as funções mais comuns não lineares são: múltipla, potencial, exponencial e logarítmica.

Regressão linear é a técnica que modela a interação entre as variáveis dependente, Y , e independentes, X , através de uma função de Y em relação a X (podendo ter uma ou mais variáveis independentes), fornecendo uma equação de causa e efeito (equação 3) e a Figura 7 apresenta graficamente os valores da equação.

$$Y = a + b X \quad \text{eq. 3}$$

Onde:

- a = coeficiente linear (também chamado intercepto, é o valor que y assume quando x for zero);

- b = coeficiente angular (é a inclinação da reta, mede o aumento ou redução em y para cada aumento de uma unidade em x).

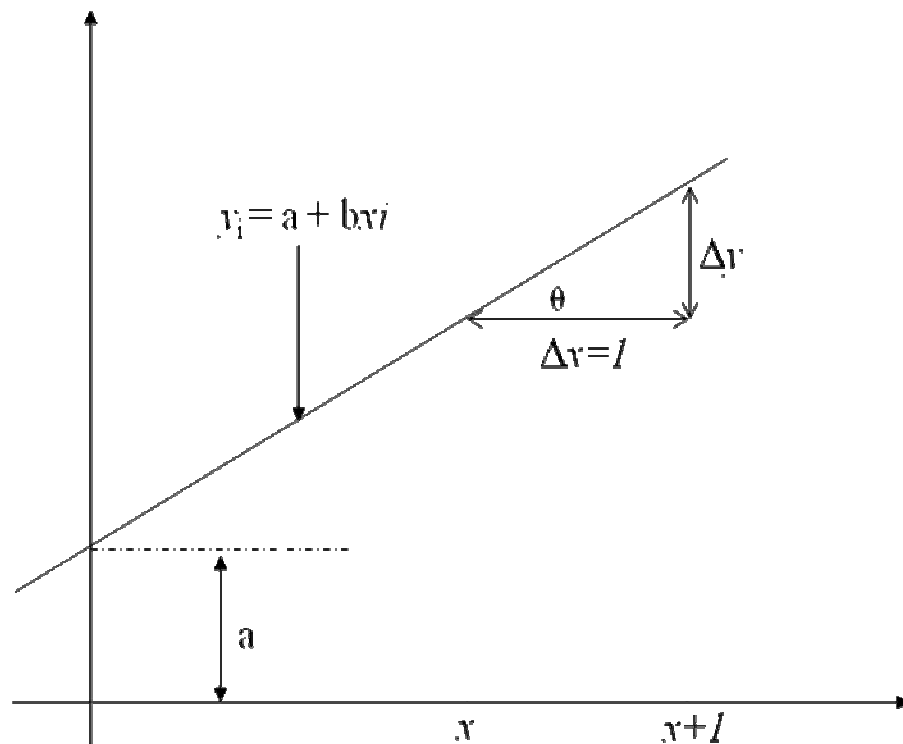


Figura 8 – Gráfico da regressão linear

Alguns pressupostos para uso da regressão linear de acordo com Costa Neto (1992):

1. A variável y deve ter distribuição normal ou aproximadamente normal. Se a distribuição não for normal pode-se realizar uma transformação;
2. A variação de x deve ser a mesma para cada valor de y (homocedasticidade). Se não houver homocedasticidade é necessário transformar os dados;
3. Os pontos no diagrama de dispersão devem apresentar tendência linear. Se a relação for expressa por uma curva pode-se transformar os dados para tentar linearizar a associação ou então usa-se outra forma de regressão não linear.
4. Os valores de y foram obtidos ao acaso da população e são independentes uns dos outros;
5. A variável x foi medida sem erro.

É importante, após se realizar a regressão, testar se os pressupostos acima se aplicam a cada caso. Isto se faz a partir da análise dos resíduos. Os resíduos representam a diferença entre o valor observado de y e o que foi predito pelo modelo de regressão.

A primeira forma de se avaliar resíduos é plotando um gráfico no qual os resíduos ($y - \hat{y}$) são colocados no eixo vertical (y) e os valores esperados de y (\hat{y}) no eixo horizontal (x). Os pontos devem ficar distribuídos de forma equilibrada acima e abaixo da linha que passe no ponto de resíduo zero, formando uma nuvem retangular de pontos. A dispersão dos valores é maior na primeira parte da distribuição. Quando a relação não for linear, observa-se uma nuvem curva.

Nesta tese foi utilizado a avaliação dos resíduos para posterior retirada destes dados para formação de um novo banco de dados e uma nova análise estatística destes dados com objetivo de tentar uma melhora no parâmetro de confiabilidade utilizado, coeficiente de determinação (R^2).

O grande problema do uso da técnica de regressão linear é a existência de variabilidade dos dados, pois ao estabelecer uma relação linear (reta), entre Y e X , muitos dados podem ficar muito afastados da reta gerada.

E mesmo sabendo da variabilidade dos dados adquiridos das teses e dissertações, nesta tese, optou-se por utilizar modelo de regressão linear por sugestão do Departamento de Estatística da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em função de não sabermos, inicialmente, o comportamento dos dados e assim não termos uma previsão do tipo de função que teríamos que utilizar caso fosse uma regressão do tipo não linear, o que poderia provocar uma modelagem tendenciosa.

4 ETAPA I: ANÁLISE DESCRITIVA DOS TRABALHOS COLETADOS

Neste capítulo se efetua uma análise descritiva dos 114 coletados pela autora através de contatos com os grupos de pesquisa atuantes na área de corrosão no Brasil. Primeiramente analisou-se as distribuições de trabalhos por região e orientador, Depois foi efetuada uma análise dos níveis das variáveis utilizados em cada estudo. Cabe salientar que cada trabalho pode ser constituído de um ou mais estudos isolados ou articulados entre si.

Finalmente, se efetuou uma análise descritiva tomando cada resultado individual de cada estudo, considerando os principais testes executados [Potencial de Corrosão (Ecorr), Corrente de Corrosão (icorr) e Resistência Ôhmica (Rohm)].

4.1 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DOS TRABALHOS

O primeiro passo da etapa da Análise Descritiva consistiu numa caracterização dos trabalhos por região geográfica e orientador/grupo de pesquisa. A idéia era entender como os trabalhos se distribuem, onde se localizam os principais grupos de pesquisa e quais os orientadores mais envolvidos com o tema.

4.1.1 Análise por Região Geográfica

Os trabalhos de teses e dissertações coletados estão classificados pelo seu nível (mestrado, doutorado e livre-docência) e por região na tabela 10 e a Figura 9 ilustra estes dados.

Salienta-se a ausência de trabalhos na região Norte e a discrepância entre a relação do número de teses e de dissertações entre as regiões Sul e Sudeste. A região Sul possui 91,5% em dissertações do total de trabalhos enquanto que a região Sudeste possui 44,11% de dissertações e 50% de teses. Esta diferença é em função do grande número de orientandos do Prof. Paulo Helene que se tornaram professores em universidades do restante do país,

inclusive no Sul, e também se salienta que grande parte dos cursos de pós-graduação está ainda em fase inicial de atuação.

Constata-se, também, que os primeiros trabalhos (dissertações) encontrados são do ano de 1989 e são da região sudeste. O ano de 2001 apresentou maior número de trabalhos concluídos, sendo 13 dissertações e 1 tese, seguido do ano de 2005, com 8 dissertações, 1 tese e 1 livre-docência. Em ambos os anos, a maior parte dos trabalhos foi realizada na região sul do país.

Também nota-se que 78,9% do total dos trabalhos coletados são dissertações, o que caracteriza a busca de qualificação pelos profissionais, com a obtenção do título de Mestre, facilitando seu ingresso no mercado de trabalho. Os trabalhos de livre-docência, em baixo número, devem-se à sua função de capacitar professores e também por ser uma análise em apenas uma das áreas de pesquisa da engenharia. Cabe salientar que este processo, de livre-docência acontece apenas na cidade de São Paulo, as universidades das outras regiões não realizam este processo.

Sabe-se que as cidade de Goiânia e Brasília (região Centro-Oeste) foram cidades planejadas que utilizaram elementos prêmoldados e necessitavam de agilidade de construção das estruturas. Em função disto foram utilizados aditivos acelerados de pega que são compostos por íons cloretos. O uso deste material acarretou o aparecimento de manifestações patológicas, corrosão de armaduras, e assim justifica-se a quantidade de trabalhos nesta região mesmo não sendo na costa marinha.

A cidade do Rio de Janeiro possui poucos trabalhos na área de corrosão por ação de íons cloretos em estruturas de concreto armado porém há diversos grupos de pesquisas de estudos de corrosão de metais nas diversas universidades da cidade.

Tabela 10: Distribuição geográfica dos trabalhos

Região	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	total
Tese	1	4	17	-	22
Dissertação	8	43	15	24	90
Livre-docência	-	-	2	-	2

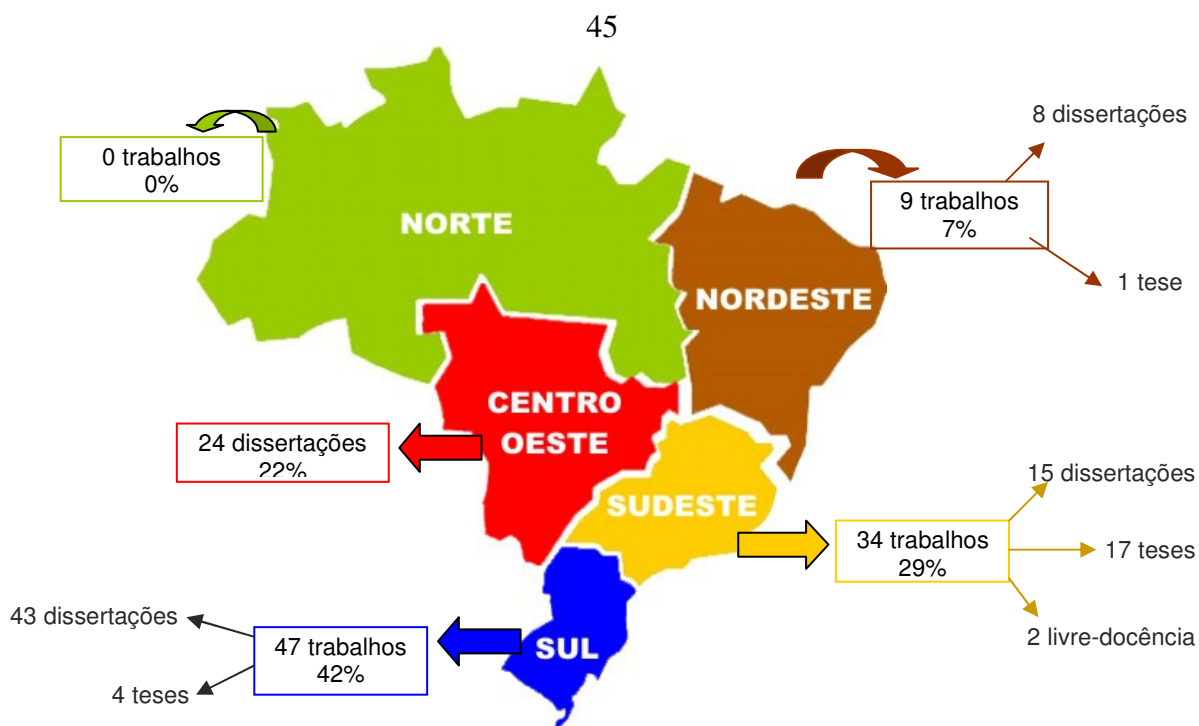


Figura 9 – Distribuição dos trabalhos de corrosão provocada por cloretos no país.

4.1.1.1 Análise por Orientador/Grupo de Pesquisa

A Tabela 11 quantifica os trabalhos de acordo com os orientadores de cada região. Observa-se o grande número de orientadores com apenas um trabalho, pois conforme o histórico do capítulo anterior, esta área de pesquisa possui 25 anos de estudos no país, além disto, a maioria dos orientadores, exceto os da região sudeste, foram orientados pelo Prof. Paulo Helene que teve sua primeira orientação concluída em 1990.

Ao realizar uma avaliação individual da tabela de orientadores, algumas considerações sobre a evolução dos estudos na área de corrosão podem ser feitas. Por exemplo, o Prof. Paulo Helene, o precursor de estudos nesta área no país possui 19 orientações na área (15 teses, 4 dissertações e 1 livre-docência). Também possui uma orientação sobre corrosão por íons cloreto com material de referência a argamassa.

De todas as suas orientações, nas mais diversas áreas de estudo em que o Prof. Helene atua, ele possui um total de 26 teses e 43 dissertações. Portanto 54% das suas orientações de doutorado foram em trabalhos sobre corrosão por ação de íons cloreto e apenas 9% das orientações de mestrado. Os seus trabalhos de orientação, nesta área de ação de íons cloreto, têm como característica serem estudos sobre o processo corrosão e suas propriedades. O

professor tem também orientações sobre o processo de carbonatação e previsão de vida útil, o que caracteriza sua linha de pesquisa sobre durabilidade do concreto.

Tabela 11: Quantitativo de trabalhos por orientador

Região	Dissertações		Teses		Orientador	
	<i>defendida</i>	<i>andamento</i>	<i>defendida</i>	<i>andamento</i>		
Nordeste	1	2	0	0	Eliana B. Monteiro	
	0	1	0	0	Eudésio Vilar	
	1	0	0	0	Paulo C. C. Gomes	
	1	0	0	0	José C. de Andrade	
	2	0	0	0	Normando Barbosa.	
Sul	5	3	0	0	André T. Guimarães	
	0	0	1	0	Antonio C. F Vilela	
	7	2	0	0	Antonio Gastaldini	
	1	0	0	0	Carlos Mario Garcia	
	1	0	0	0	Cláudio Dias	
	10	0	0	0	Denise Dal Molin	
	1	0	0	0	Eleani Costa	
	7	1	0	0	Geraldo Isaia	
	0	0	1	0	Iduvirges L. Muller	
	2	0	1	0	Ivo José Padaratz	
	3	0	0	0	Luiz Carlos P. da Silva Filho	
	0	0	1	0	Luiz R. Prudêncio	
	1	0	0	0	Paulo Helene	
	Sudeste	1	0	0	0	Antônio Figueiredo
		1	0	0	0	Enio J. P. Figueiredo
1		0	0	0	Gladis Camarini	
0		0	1	0	Jefferson Liborio	
2		0	0	0	João Djanikian	
0		1	0	0	João Luiz Calmon Nogueira da Gama	
1		0	0	0	Maria Alba Cincotto	
1		0	0	2	Maryangela Lima	
3		0	15	1	Paulo Helene	
1		0	0	0	Ines Joeques	
Centro-Oeste	1	0	0	0	Yasuko Tezuka	
	7	0	0	0	Antônio A. Nepomuceno	
	2	0	0	0	Elton Bauer	
	7	1	0	0	Enio J. P. Figueiredo	
	1	0	0	0	Helena Carasek	
	1	0	0	0	José C. da Costa	
	5	0	0	0	Osvaldo Cascudo	

A Figura 10 ressalta os orientadores que possuem maior número de trabalhos concluídos. Como já mencionamos a importância do Prof. Paulo Helene nesta área, os professores que também fazem parte do grupo nacional de pesquisa em corrosão por íons cloreto são: Profa. Denise Dal Molin (região Sul) com 10 dissertações, Prof. Enio Figueiredo (regiões Sudeste e Centro-Oeste) com 8 dissertações, Profs. Antonio Gastaldini, Geraldo Isaia (região Sul) e Prof. Antonio Nepomuceno com 7 dissertações, Profs André Guimarães e Osvaldo Cascudo com 5 orientações de mestrado concluídas na área de corrosão de armaduras por ação de íons cloretos em estruturas de concreto armado.

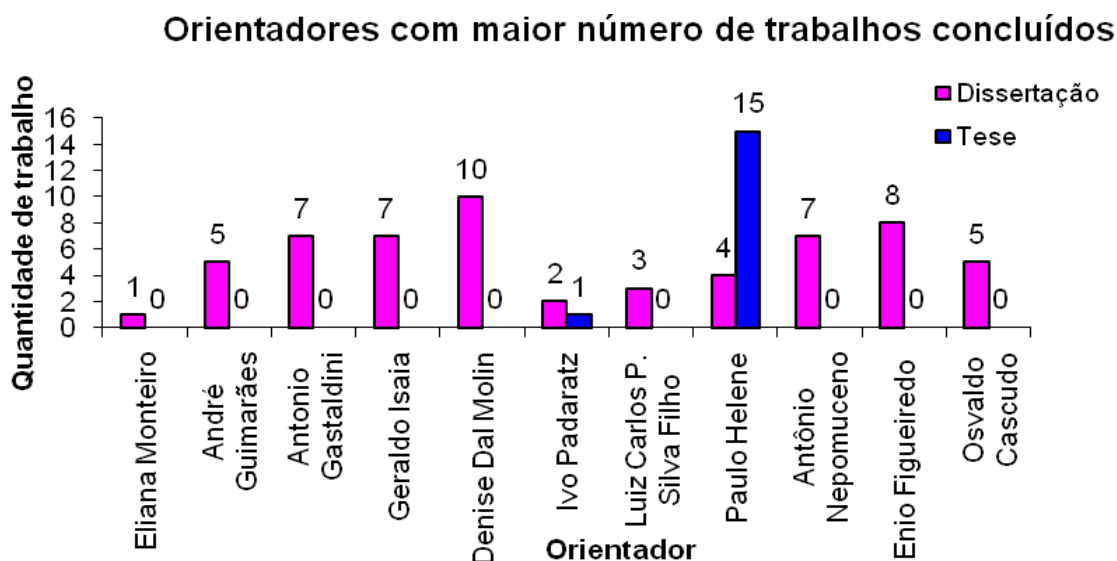


Figura 10 – Número de trabalhos por orientador

A Prof. Denise Dal Molin realizou sua primeira orientação nesta área em 1994, envolvendo o uso de argamassa para reparo em estruturas corroídas. Seus estudos focam o material no processo corrosivo, por exemplo, realizou pesquisas sobre o efeito de adições minerais, tipo de cimento, adição de resíduos, concreto de alto desempenho, entre outros. A Professora já orientou 62 dissertações e 30 teses nas diversas linhas de pesquisa que desenvolve. Na área de corrosão por íons cloreto orientou 10 dissertações de mestrado, mas não possui nenhum trabalho de doutorado concluído. Na linha de durabilidade de estruturas de concreto armado também possui orientações sobre efeito da carbonatação, dos sulfatos e de previsão de vida útil.

O Prof. Enio Figueiredo possui 8 orientações de mestrado na área de corrosão por cloretos sendo que estes trabalhos são entorno de 50% do total das suas orientações, mostrando a

importância do tema, não tendo orientações de doutorado concluídas. Seus estudos focam no efeito de diversos materiais (adições minerais, fibras, polímeros e inibidores corrosivos) no processo da corrosão.

Os professores Antônio Nepomuceno, Antônio Gastaldini e Geraldo Isaia possuem cada um deles 7 orientações de mestrado na área. Prof. Isaia possui um grande grupo de pesquisa do efeito da carbonatação no concreto e o Prof. Nepomuceno com linha de estudos em argamassas. Os três professores apresentam como características dos seus trabalhos de orientação a preocupação com o entendimento do uso de diferentes materiais em estruturas de concreto armado para efeito de inibir o processo corrosivo.

Os professores Andre Guimarães e Osvaldo Cascudo possuem cada um deles 5 orientações na área. Os estudos do Prof. André estão focados no entendimento do grau de saturação no processo corrosivo e também do efeito do ambiente marítimo nas estruturas, visto que faz parte da Universidade Federal de Rio Grande, onde diversos estudos da área portuária estão sendo desenvolvidos. Os trabalhos do Prof. Cascudo estão voltados as propriedades dos materiais na corrosão, além de também estar nas linhas de pesquisas de carbonatação e previsão de vida útil.

O Prof. Luiz Carlos possui três orientações na área e uma em andamento (esta tese) e possui sua formação acadêmica na durabilidade das estruturas de concreto armado, visto que seu mestrado foi um estudo do efeito de sulfatos no concreto. E o Prof. Ivo Padaratz com duas orientações de mestrado de uma de doutorado, tese esta desenvolvida pelo Prof. Gibson Meira que tem grande importância para o meio acadêmico, pois avaliou a ação real do ambiente marítimo nas estruturas de concreto armado.

Outros orientadores foram citados, porém chama-se a atenção para estes descritos considerando a quantidade de trabalhos orientados.

4.2 ANÁLISE DOS NÍVEIS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES EMPREGADAS NOS TRABALHOS COLETADOS

A próxima etapa da análise descritiva dos trabalhos envolveu a realização de um estudo qualitativo das variáveis independentes a serem empregadas nesse estudo. Os trabalhos foram classificados de acordo com os níveis das variáveis de estudo adotadas, para averiguar se os

diversos trabalhos estão desenvolvendo programas experimentais similares ou que possam ser comparados entre si.

O foco da análise foi mantido sobre algumas das principais variáveis influentes na corrosão, normalmente adotadas nos trabalhos examinados: *tipo de cimento, relação água/cimento, adições ativas e outros materiais, tipos de indução de cloretos e outros fatores.*

4.2.1 Tipo de Cimento

Em relação ao tipo de cimento utilizado, verifica-se que os trabalhos examinados usam os mais diversos tipos de cimento, como indicado na Figura 11.

Nota-se, examinando a Figura 9, uma maior incidência de estudos com cimentos tipo CIIIF32 e CPV-ARI. Atribuiu-se essa concentração de trabalhos com cimentos sem adições ativas ao desejo de trabalhar com matrizes mais puras. Um fator secundário, citado em alguns trabalhos, diz respeito à preocupação com a avaliação da dinâmica da corrosão em estruturas pré-moldadas, normalmente construídas com cimento do tipo CPV-ARI pela demanda de rapidez no ganho de resistência.

Dentre os cimentos com adições ativas existe uma maior concentração de estudos com o CP-IV, o que possivelmente está associado à maior disponibilidade comercial desse tipo de cimento na região Sul do país, o que mostram os estudos realizados principalmente na cidade de Santa Maria/RS.

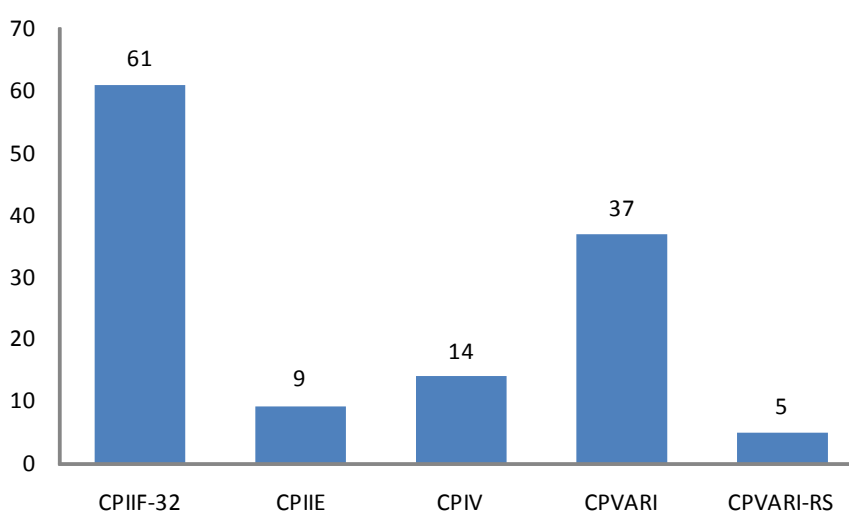


Figura 11 – Quantidade de estudos em função do tipo de cimento

Observou-se, ainda, os locais onde os trabalhos foram desenvolvidos. A Tabela 12 apresenta, em função dos tipos de cimento, a quantidade de estudos e os locais onde foram desenvolvidos.

A Tabela 12, também mostra em função das técnicas eletroquímicas que são objetos de estudo desta tese: potencial de corrosão (Ecorr), intensidade de corrosão (icorr) e resistência ôhmica (Rohm). A tabela demonstra que a técnica de potencial de corrosão é muito utilizada em diversas regiões brasileiras e principalmente com o cimento CPIIF32.

Tabela 12: Quantitativo dos estudos em função do tipo de cimento, técnica eletroquímica e cidade onde foi desenvolvido

Tipo de cimento	Ecorr		Rohm		icorr	
	Quant.	Cidade	Quant.	Cidade	Quant.	Cidade
CPIIF-32	4	Porto Alegre	3	Porto Alegre	4	Porto Alegre
	11	Goiânia	8	Goiânia	7	Goiânia
	2	Brasília	2	Brasília	1	Maceió
	1	Curitiba	-	-	-	-
	1	Maceió	-	-	-	-
CPIIE	1	Porto Alegre	-	-	1	São Paulo
	3	São Paulo	-	-	-	-
CPIV	2	Porto Alegre	2	Porto Alegre	1	Porto Alegre
	-	-	1	Florianópolis	1	Goiânia
CPVARI	3	Porto Alegre	3	Porto Alegre	1	Porto Alegre
	1	São Paulo	3	Santa Maria	1	Goiânia
	-	-	1	São Paulo	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
CPVARI-RS	1	Porto Alegre	1	São Paulo	-	-
	-	-	-	-	-	-

As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam em formato gráfico os dados da Tabela 12. Sendo dos cimentos CPIIF-32, CPIIE, CPIV e CPVARI e ARI-RS respectivamente. O cimento CPIIF-32 é o que apresenta o maior número de trabalhos em diversos locais, mas com número significativo para a cidade de Goiânia (Universidade Federal de Goiás).

A técnica de potencial de corrosão e o cimento CPVARI possui estudos apenas em Porto Alegre e São Paulo e para CPVARI-RS apenas em Porto Alegre. Acredita-se que seja pela facilidade de obtenção do material. Outro dado é que a todos os cimentos, que estão neste

estudo, foram utilizados em pesquisas desenvolvidas na cidade de Porto Alegre. Já a utilização da técnica de intensidade de corrosão foi estudada na cidade de Goiânia com os cimentos CPIIF-32, CPIV e CPVARI, além de também terem pesquisado Rohm e Ecorr com CPIIF-32.

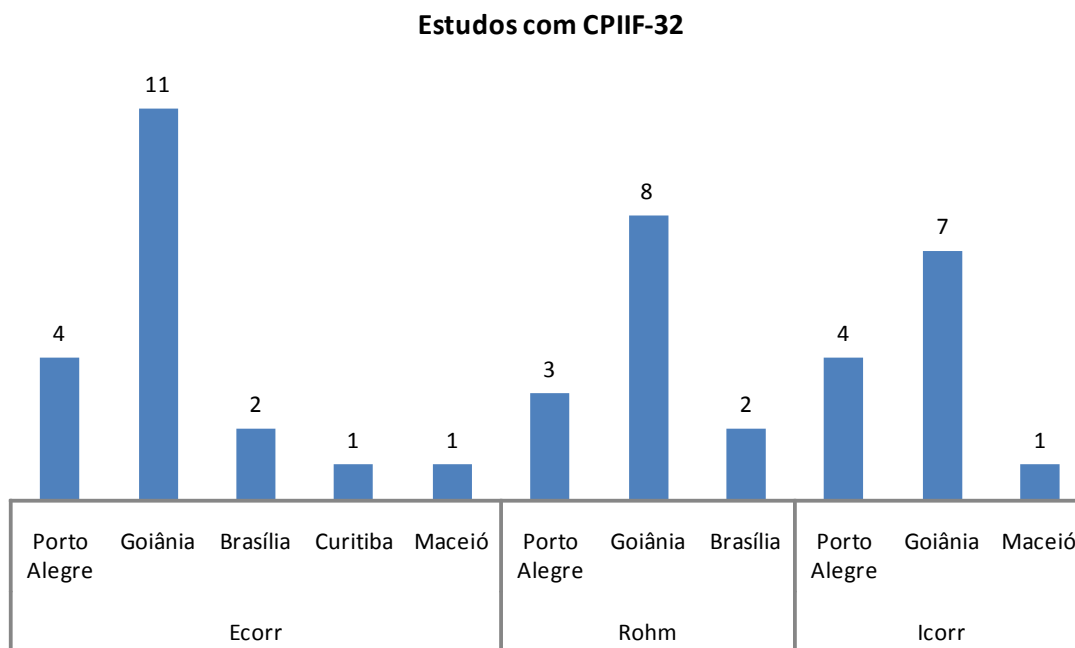


Figura 12 – Estudos com cimento CPIIF32

Os dados mostram a falta de estudos na área de corrosão por cloretos com o cimento CPII-E (Figura 13), pois foram encontrados trabalhos apenas em São Paulo e Porto Alegre e não foram encontrados registros de testes deste cimento para Rohm.

Estudos com CPII-E

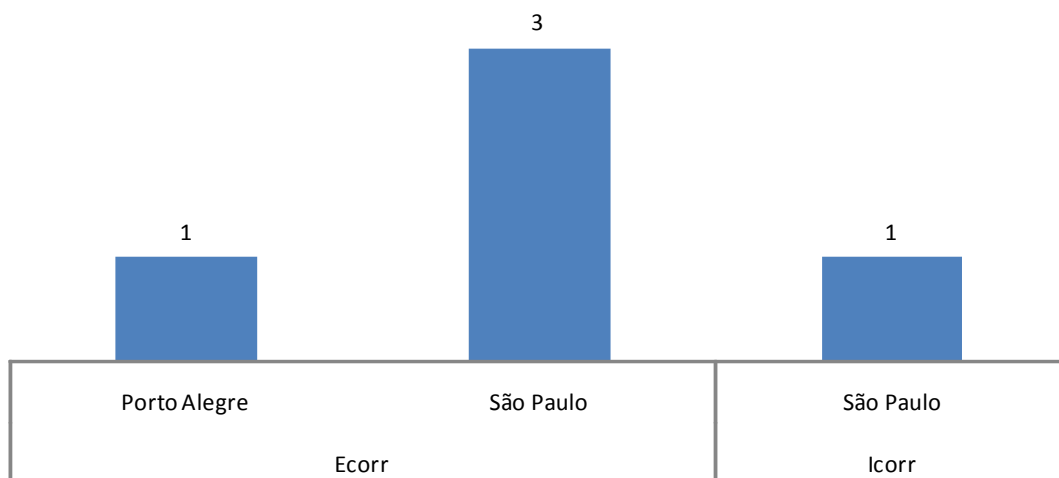


Figura 13 – Estudos com cimento CII-E

A Figura 14 mostra o baixo uso do cimento CII-V, pois mesmo pelo gráfico, Porto Alegre aparece como a cidade com maior uso, porém esse uso é de apenas 2 estudos.

Estudos com CII-V

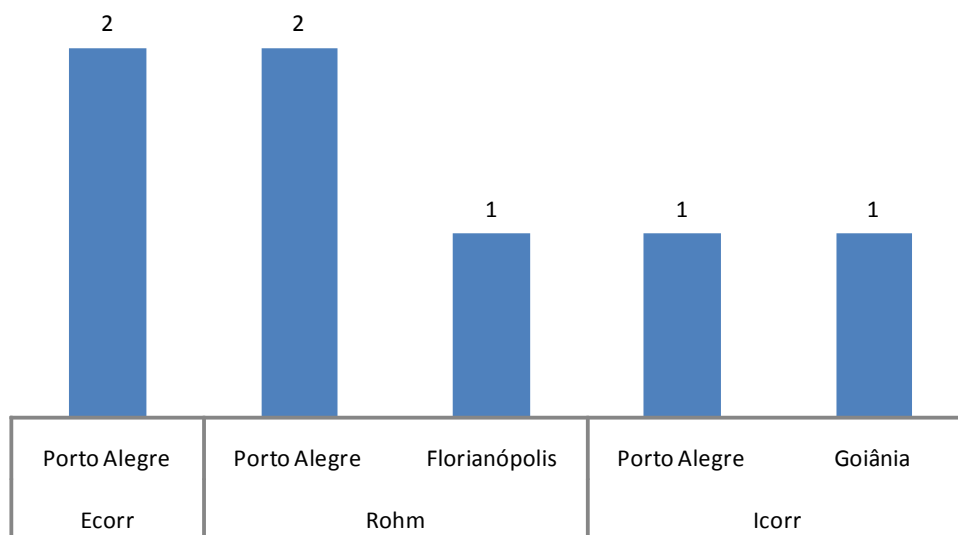


Figura 14 – Estudos com cimento CII-V

A cidade de Santa Maria/RS aparece apenas em estudos com CPVARI (Figura 15), o que torna-se um dado interessante visto o grande grupo de pesquisa liderado pelo Prof. Geraldo Isaia.

Estudos com CPVARI e CPVARI-RS

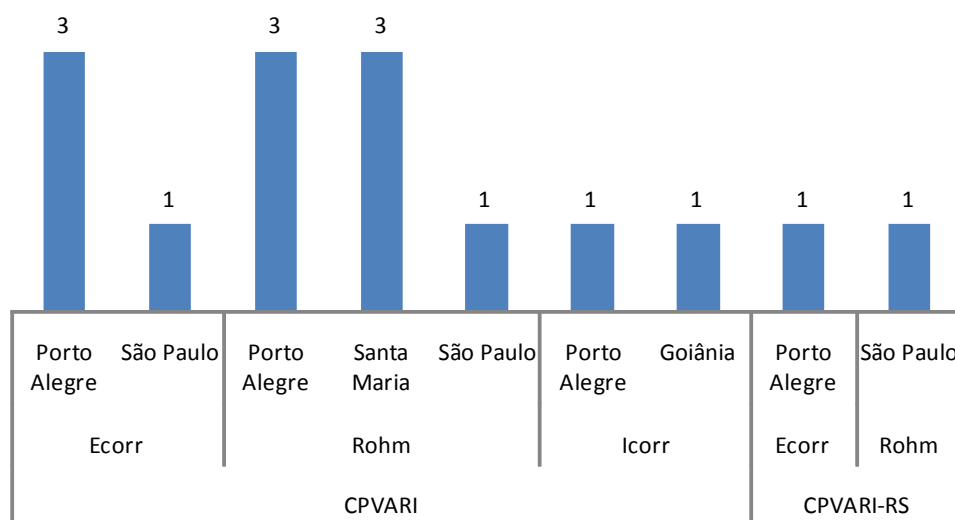


Figura 15 – Estudos com cimento CPVARI e CPVARI-RS

Também foi encontrado um trabalho utilizando cimento branco (CPB) para avaliação do processo corrosivo por ação de íons cloretos. Este trabalho foi desenvolvido na cidade de Santa Maria por orientação do Prof. Antonio Gastaldini. Sabe-se também de uma publicação em formato de artigo para o Congresso Latinoamericano de Patologia da Construção que também utilizou CPB para testes de corrosão. Este estudo (KIRCHHEIM et al, 2005) foi realizado em Porto Alegre, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ainda sobre a utilização do cimento branco é importante ressaltar que seu uso ainda não é difundido no meio da construção civil e conseqüentemente das pesquisas na área pela dificuldade de execução de obras, pois é um material que deve ser utilizado com alta fiscalização e ainda de difícil obtenção.

4.2.2 Relação Água Cimento (a/c) ou Água-Aglomerante (a/agl)

Primeira observação sobre este ítem refere-se a nomenclatura utilizada nos trabalhos. Inúmeras pesquisas usam o termo relação “água/cimento” enquanto outras “água/aglomerante” mesmo, estes termos, não serem sinônimos. Esta constatação pode dificultar algumas análises em função do tipo de aglomerante que está sendo utilizado e que muitas vezes não é especificado nos estudos. E também, pode acarretar, a não identificação de vários tipos de aglomerantes na mesma mistura, pois cimento é um tipo de aglomerante, como também cal, gesso, etc.

Diversas relações água/cimento foram encontradas, desde 0,3 até valores próximos a 0,8. Chama a atenção o uso de baixas relações a/c e para isto o uso de aditivos no concreto, o que já é de conhecimento que possuem cloretos em suas composições, porém a necessidade de estruturas mais esbeltas e menor porosidade para evitar entrada de agentes agressivos ganham na competição de usar ou não aditivos. As relações acima de 0,7 foram utilizadas em trabalhos que tinham como objetivo acelerar a entrada dos íons cloreto, fugindo da realidade das obras.

A Tabela 13 apresenta um levantamento dos estudos realizados com diversas relações água/cimento. A tabela está classificada pelas cidades onde os trabalhos foram desenvolvidos e desta maneira é possível observar os principais valores de a/c utilizados em cada região do Brasil. Nota-se, na Figura 16, que em Goiânia prevalece o uso de relações a/c de 0,4; 0,5 e 0,55. Já em Porto Alegre utiliza-se mais as relações 0,4; 0,5 e 0,6

Tabela 13: Quantitativo dos estudos em relação a/c e cidade onde foi desenvolvido

Relações a/c	Cidades							
	Porto Alegre	Goiânia	Brasília	Curitiba	Maceió	São Paulo	Florianópolis	Santa Maria
0,3	4	1	-	-	-	2	-	-
0,35	6	1	-	-	-	2	1	5
0,4	14	13	3	1	2	1	-	-
0,45	3	1	-	-	-	2	-	1
0,5	12	12	2	-	-	1	-	7
0,55	6	19	1	1	1	-	1	1
0,6	13	7	7	1	2	-	-	-
0,65	3	1	1	-	-	5	-	6
0,7	9	4	4	1	1	-	1	-
0,75	1	-	-	-	-	-	-	-
0,8	7	4	4	1	2	-	-	-
0,9	1	-	-	-	-	-	-	-

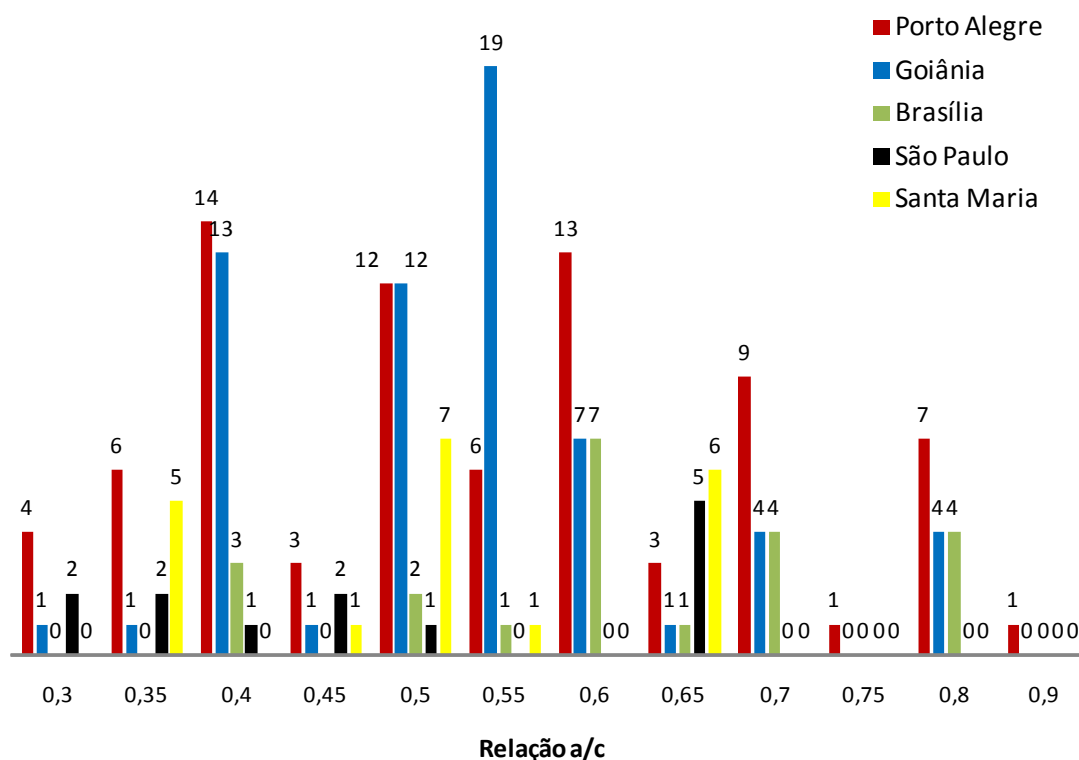


Figura 16 – Relações a/c utilizadas pelos principais grupos de pesquisas no país

A Figura 17 apresenta a contribuição de todas as relações água/cimento no cenário brasileiro das pesquisas com íons cloreto em armaduras de concreto armado. Com maior uso nas relações 0,5; 0,55 e 0,6.

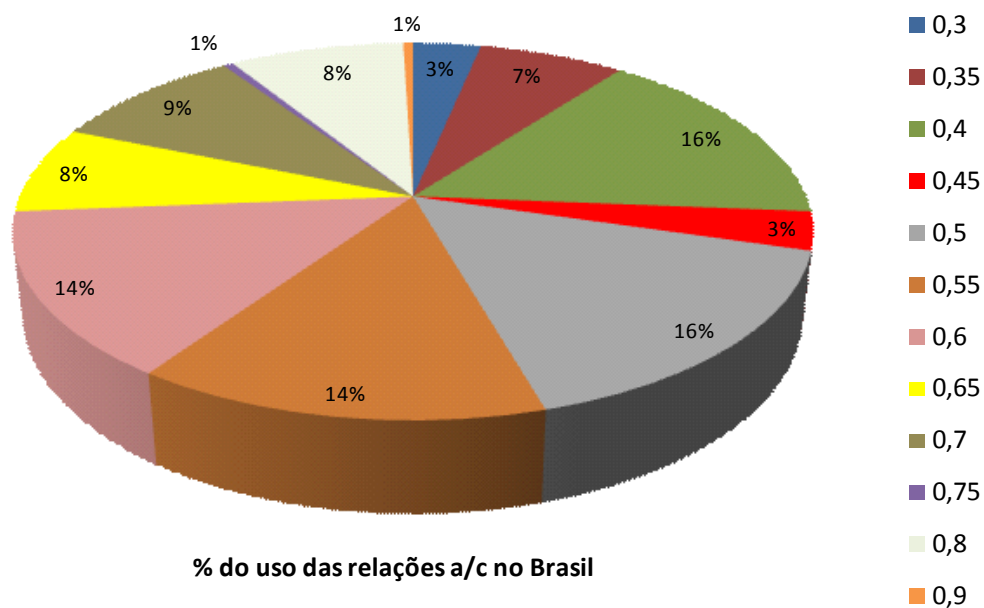


Figura 17 – Uso das relações a/c no Brasil

De acordo com a NBR 6118/2003 em um ambiente urbano as estruturas de concreto armado devem ter relação água/cimento menor ou igual a 0,60. Em função disto a Figura 18 apresenta que 74% dos estudos foram com este valor recomendado de norma, sendo 26% com relação a/c maior do que 0,60.

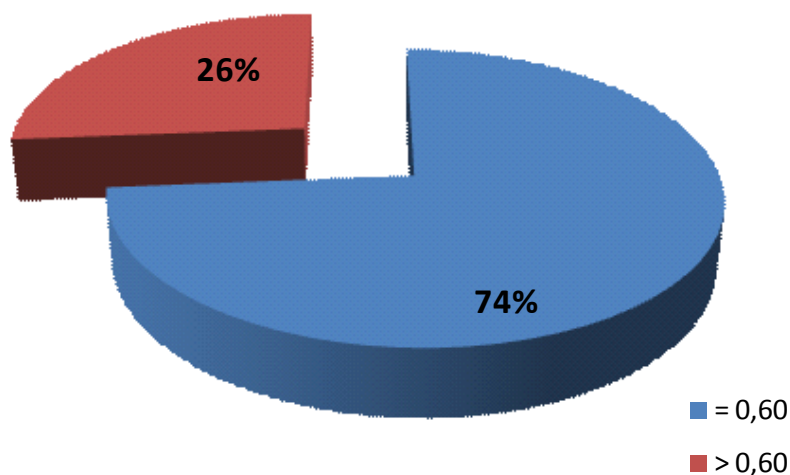


Figura 18 – Quantidade (%) de estudos em função da relação a/c: 0,60

Porém, apesar da indicação da norma brasileira, as pesquisas devem continuar sendo feitas com relações a/c superiores a 0,6 em função de que esta recomendação da norma é a partir do ano de 2003 e anterior a este ano a maior parte das estruturas de concreto armado foram construídas com relações a/c maiores a 0,6. Em função disto e da necessidade de manutenção das estruturas é necessário que as pesquisas continuem com relações água/cimento superiores para que as técnicas de reparo sejam cada vez mais modernizadas e, com os estudos, ocorra a redução de possíveis erros de manutenção.

4.2.3 Incorporação de Adições Ativas e outros materiais para melhoria da matriz cimentícia

Pesquisas relativas a concretos com adições minerais, tais como: sílica ativa, cinza de casca de arroz, escória de alto forno, metacaulim, cinza volante também foram encontrados dentre os trabalhos.

Para fins de ilustração, além das adições ativas, efetuou-se nesse item uma análise dos trabalhos que empregaram outros tipos de materiais adicionados, para melhoria da matriz ou redução da possibilidade de fissuração. Dentre esses outros materiais, foram encontrados

registros de estudos que empregaram polímeros, fibras e outros materiais inovadores que estão sendo pesquisados para inclusão nas construções de concreto armado.

A Tabela 14 e Figura 19 mostram a quantidade de estudos que foram realizados com vários tipos de adições minerais em função das cidades que foram desenvolvidos.

Tabela 14: Estudos com concretos com adições em função das cidades que foram desenvolvidos

Adições	Cidades				
	Porto Alegre	Goiânia	Brasília	São Paulo	Santa Maria
Sílica	4	4	2	1	0
Cinza de casca de arroz	2	2	0	0	6
Cinza Volante	1	3	1	0	6
Escória de Alto Forno	0	2	0	0	6
Metacaulim	1	1	0	0	0

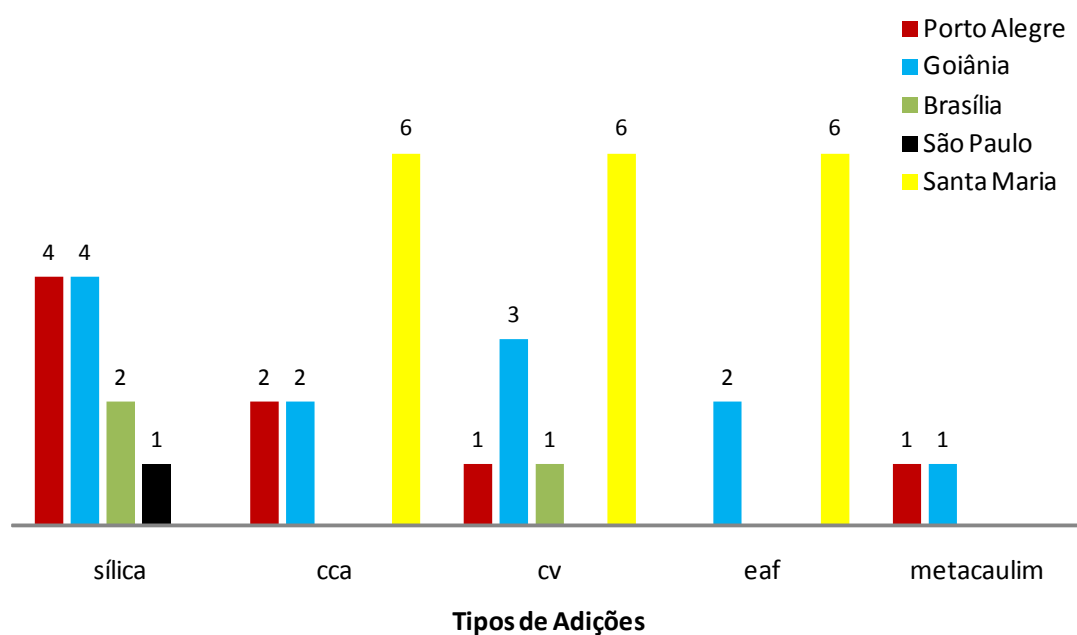


Figura 19 – Estudos com concretos com adições minerais em função das cidades que foram desenvolvidos

Salienta-se que no GEPECON – Santa Maria foram desenvolvidas pesquisas com três tipos de adições: cinza de casca de arroz, cinza volante e escória de alto forno para estudos em corrosão de armaduras por ação de íons cloreto.

São Paulo possui trabalhos com sílica (FERREIRA, 2006) e resíduos da construção civil (LEVY, 2001). A UNB – Brasília já estudou sobre adição de sílica e cinza volante.

As pesquisas de Porto Alegre focaram em estudos da adição da sílica e cinza de casca de arroz. Também possui um trabalho de corrosão do concreto com adição de resíduos da construção civil (VIEIRA, 2003).

Goiânia possui trabalhos em praticamente todos os tipos de adições, principalmente no uso da sílica, cloretos e cinza volante. Também possui um trabalho com uso de fibras de nylon, polipropileno monofiladas e fibriladas da autoria de Pereira (2002). Teixeira (2000) desenvolveu um estudo de corrosão de armaduras em concretos com polímeros do tipo emulsões poliméricas de SBR (borracha de butadieno estireno) e acrílico.

Além dos trabalhos já citados, também foram encontrados os estudos que utilizaram resíduos: cerâmico de Vieira (2005) em João Pessoa e mármore e granito de Barros (2008) em Maceió. Dois estudos sobre corrosão de armaduras com utilização de inibidores foram localizados, um de Curitiba e outro de Maceió com os seguintes materiais: molibdato de sódio, tioréia, compostos orgânicos e inorgânicos de nitrito de cálcio, inorgânicos a base de fosfato e nitrato de cálcio, orgânico a base de éster e amina e solução sintética (BARROS, 2008 e FREIRE, 2005).

A pesquisa de DUARTE (2007) descreve a ação dos sistemas de reparo de hidrojateamento, jateamento de areia a seco e de água quente em corpos-de-prova com ação de corrosão de armaduras por íons cloretos.

A Figura 20 apresenta um somatório da utilização das adições no concreto. Mostra que os materiais mais estudados em trabalhos com tema de corrosão por íons cloreto são a sílica ativa e cinza volante (CV), seguido da cinza de casca de arroz (CCA) e escória de alto forno (EAF).

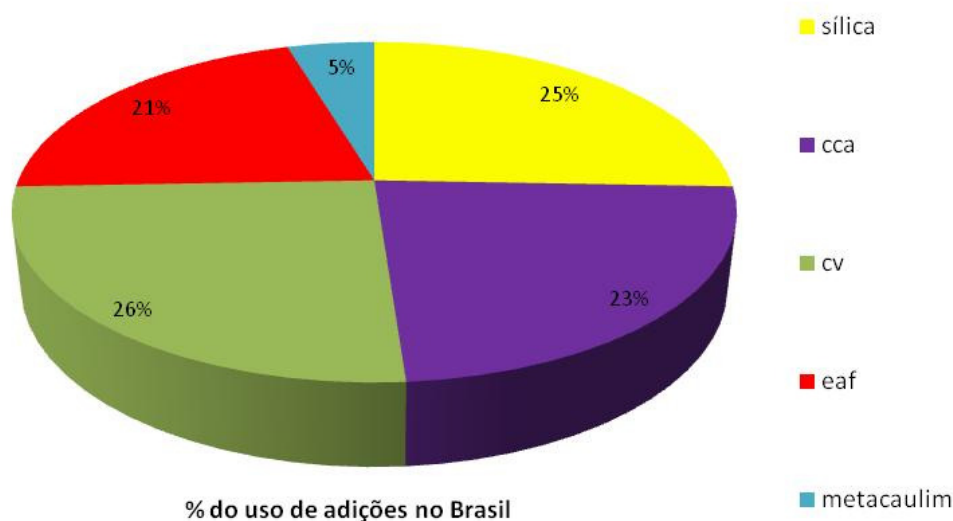


Figura 20 – Uso das adições no concreto em pesquisas de corrosão de armaduras

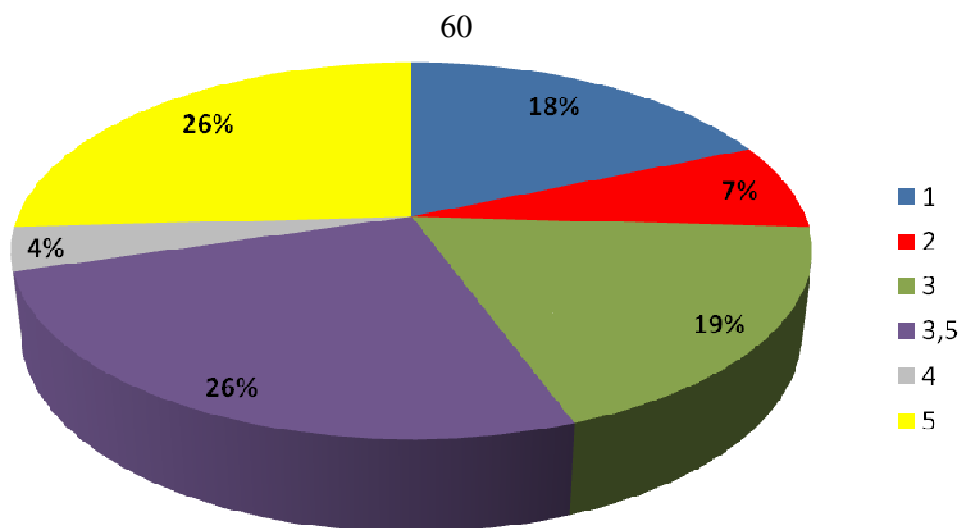
4.2.4 Formas de Indução

A forma de indução de cloretos nos corpos-de-prova é uma variável importante nas pesquisas, pois é a presença de íons cloreto é fundamental para o processo corrosivo. Os métodos encontrados nos trabalhos de teses e dissertações estudados foram o ciclo de imersão e secagem, colocação de cloretos na massa do concreto durante a fabricação dos cps, uso de câmaras de névoa salina, utilização de ativadores químicos, exposição dos corpos-de-prova a ambientes agressivos com presença de íons cloreto e uso de equipamentos (fontes) que provocaram diferença de potencial nos corpos-de-prova.

4.2.4.1 Uso de ciclo de imersão e secagem

O método com maior incidência de uso foi o ciclo de imersão e secagem por não ser um método caro ou de difícil execução. Porém a indução de cloretos com por esta técnica foi utilizada sem seguir um padrão: com os mais variados números de dias de imersão e de secagem além do uso de vários teores de cloretos.

A Figura 21 apresenta em porcentagem o uso de teores de cloretos que variam de 1 a 5%, sendo os de 3,5 e 5% de maior utilização. Sabe-se que o maior uso de 3,5% é justificável por ser comparado, nos estudos, a salinidade do oceano Atlântico que costeia o nosso país.



% do uso de cloretos nos ciclos de imersão e secagem

Figura 21 – Teores de cloretos utilizados nos ciclos de imersão e secagem

4.2.4.2 Uso de cloretos na massa do concreto

A indução de cloretos pelo uso de cloreto na massa do concreto, no Brasil, possui alguns estudos tais como: Pereira (2001), Tinoco (2001), Ribeiro (2001), Juca (2002), Silva (2005), Dotto (2006), Santos (2006), Duarte (2007) e Medeiros (2008). Porém ainda não é uma técnica com grande utilização, pois dos 144 trabalhos encontrados apenas 9 utilizaram este método. Por este motivo, a indução de cloretos por incorporação de cloretos na massa de concreto, não foi utilizada como variável nesta meta-análise.

A Figura 22 mostra um quantitativo de trabalhos que utilizaram cloretos na massa do concreto por cidades brasileiras, sendo Goiânia a cidade que mais utilizou esta técnica.

É interessante ainda comentar que destes 9 trabalhos, 6 deles utilizaram, além da adição de cloretos na massa, a técnica de ciclo de imersão e secagem também como indução de cloretos o que torna o processo com maior poder de degradação, porém ainda sem comprovação da fiel ação do uso das duas técnicas em conjunto.

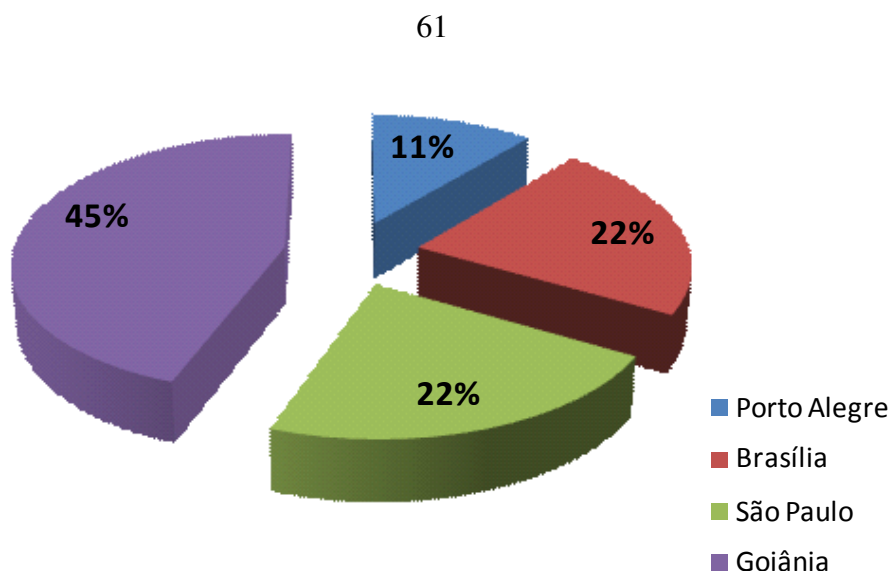


Figura 22 – Pesquisas que utilizaram cloretos no concreto como método de indução por cidade

4.2.5 Outros fatores

- Quanto a dimensões dos corpos-de-prova há total falta de um padrão, pois alguns grupos utilizam formatos do tipo prismáticos, outros cilíndricos e diferenciam nas formas e nos tamanhos dos corpos-de-prova. As armaduras utilizadas apresentaram diversos diâmetros, tais como, 5; 6,3; 8; 10 e 12,5 mm;
- Os valores de cobrimento passaram a ser padronizados, após o lançamento da NBR 6118 em 2003 que inseriu no seu contexto os valores de cobrimento a serem seguidos de acordo com o ambiente onde a estrutura será construída. Antes de 2003 os valores de cobrimento utilizados variavam de 1 a 7 cm;
- A cura dos concretos também não segue uma padronização, pois aparecem materiais curados em ambiente, cura úmida, térmica, química e ainda com uniões destas opções. O tempo de cura manteve certo padrão, em geral de 3, 7, 14, 28 e 91 dias, dependendo do ensaio realizado. Mas aparecem estudos com tempos de cura em longo prazo, geralmente trabalhos de doutorado, para avaliarem o processo corrosivo em longo prazo;
- A variável tempo também não segue um padrão, pois as leituras dos ensaios são nos tempos (dias) mais diversificados. Além de notarmos que os estudos não possuem o mesmo tempo de partida ou mesma nomenclatura da primeira leitura realizada com o método de avaliação de corrosão que esteja sendo

utilizado. Há pesquisas que a primeira leitura é chamada de tempo 0 (zero) e outra de tempo 1 (um), o que dificulta a comparação de dados e que para esta meta-análise teve que ser feito um arranjo dos dados para permitir a comparação. Ressalta-se que esta variável tempo não considera o período de cura e sim apenas o tempo de ensaio;

- Os ensaios mais utilizados para efeito de avaliar a corrosão de armaduras são: potencial de corrosão, intensidade de corrosão, resistência ôhmica, teor de cloretos, medida de perda de massa, coeficiente de difusão, grau de saturação, impedância eletroquímica, entre outros. Nos trabalhos, também foram encontrados, ensaios para caracterização de material utilizado tipo: resistência à compressão, resistência à tração, absorção por imersão e por capilaridade, módulo de deformação, índice de vazios, etc.

4.3 MAPEAMENTO DAS VARIÁVEIS USADAS NOS DIVERSOS ESTUDOS QUE EMPREGARAM CADA UMA DAS TÉCNICAS DE ENSAIO DE INTERESSE

O primeiro passo desta etapa do trabalho foi analisar todas as variáveis independentes presentes no banco de dados geral. Após, foi possível realizar um mapa geral dos estudos que já foram feitos no país sobre corrosão por íons cloreto.

As Figuras 23, 24 e 25 mostram respectivamente todo este levantamento feito nas três técnicas eletroquímicas em estudo: potencial de corrosão, intensidade de corrosão e resistência ôhmica. Estes diagramas foram feitos para facilitar a visualização das variáveis e assim possibilitar a codificação utilização na análise estatística.

A análise dos dados da Figura 23 de potencial de corrosão permitiu as seguintes conclusões:

- Cimento CPIIF sem ciclo apresentou as relação a/c 0,3 a 0,65 sem adição de material e para as relações a/c 0,4; 0,6 e 0,65 com cca, sílica ativa, eaf, metacaulim e cv, ainda a relação a/c 0,6 teve dados com adição de cloretos a massa do concreto;
- CPIIF com ciclo de imersão e secagem possui relações a/c 0,4; 0,5; 0,55 e 0,65 com praticamente todas as possibilidades de adições de materiais;

- CPIIE e CPIV aparecem dados apenas sem adição de materiais;
- CPVARI possui dados com adição de cca, sílica ativa, cv e sem adição.

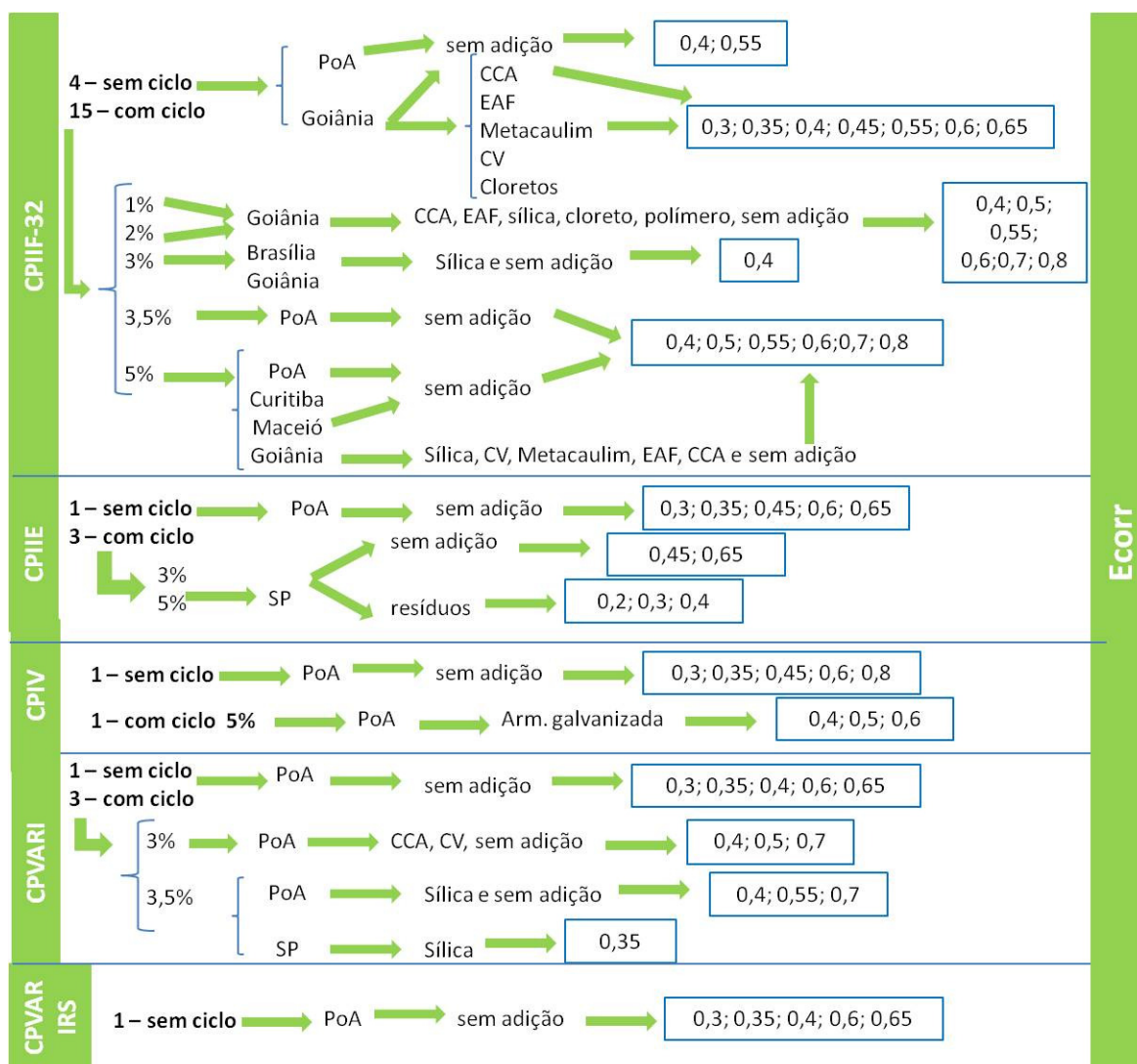


Figura 23 – Diagrama da variável Ecorr

Após análise da Figura 24 e da análise descritiva dos dados de intensidade corrosão (icorr) observou-se as seguintes considerações:

- Falta das combinações do CPIIE e CPIV sem ciclo de imersão e secagem;
- Falta das combinações utilizando relações a/c: 0,3; 0,35 e 0,8;
- Falta das combinações com adição de metacaulim e cinza volante;
- Os cimentos CPIIE e CPIV apenas com relação a/c 0,55 e adição de cinza de

casca de arroz, sem combinações com outras relações a/c e outros materiais;

- CPVARI aparece com combinações com a/c 0,65 e adição de escória de alto forno, faltando as outras combinações;
- A combinação do CPIIF sem ciclo de imersão e secagem só possui com a/c 0,55 e sem adição de material, faltando as outras combinações;
- O CPIIF com ciclo de imersão e secagem possui combinação com relação a/c 0,5 e adição de cinza de casca de arroz, sílica ativa e escoria de alto forno. Com as relações a/c 0,55; 0,6 e 0,65 e sem material.

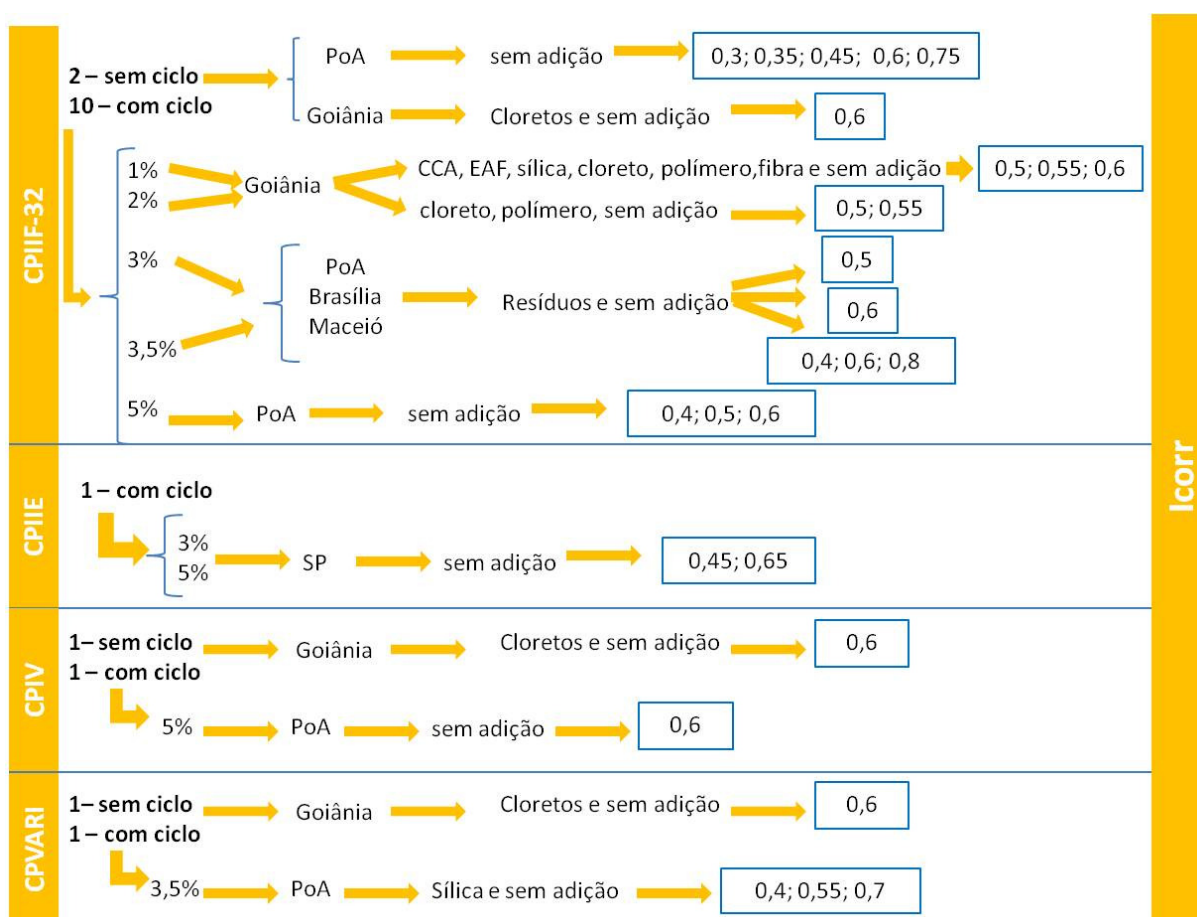


Figura 24 – Diagrama da variável icorr

A partir da análise descritiva e da Figura 25 pode-se observar que os dados relativos a Rohm:

- Falta de estudos com CPIIE;
- Falta de dados para o CPIV com adições dos diversos materiais com e sem ciclo de imersão e secagem;

- CPIIF apresentou diversas combinações das relações a/c e adição de materiais.
- Variável tempo com muitas falhas;
- O cimento CPVARI apresentou combinações para praticamente todas as adições de materiais.

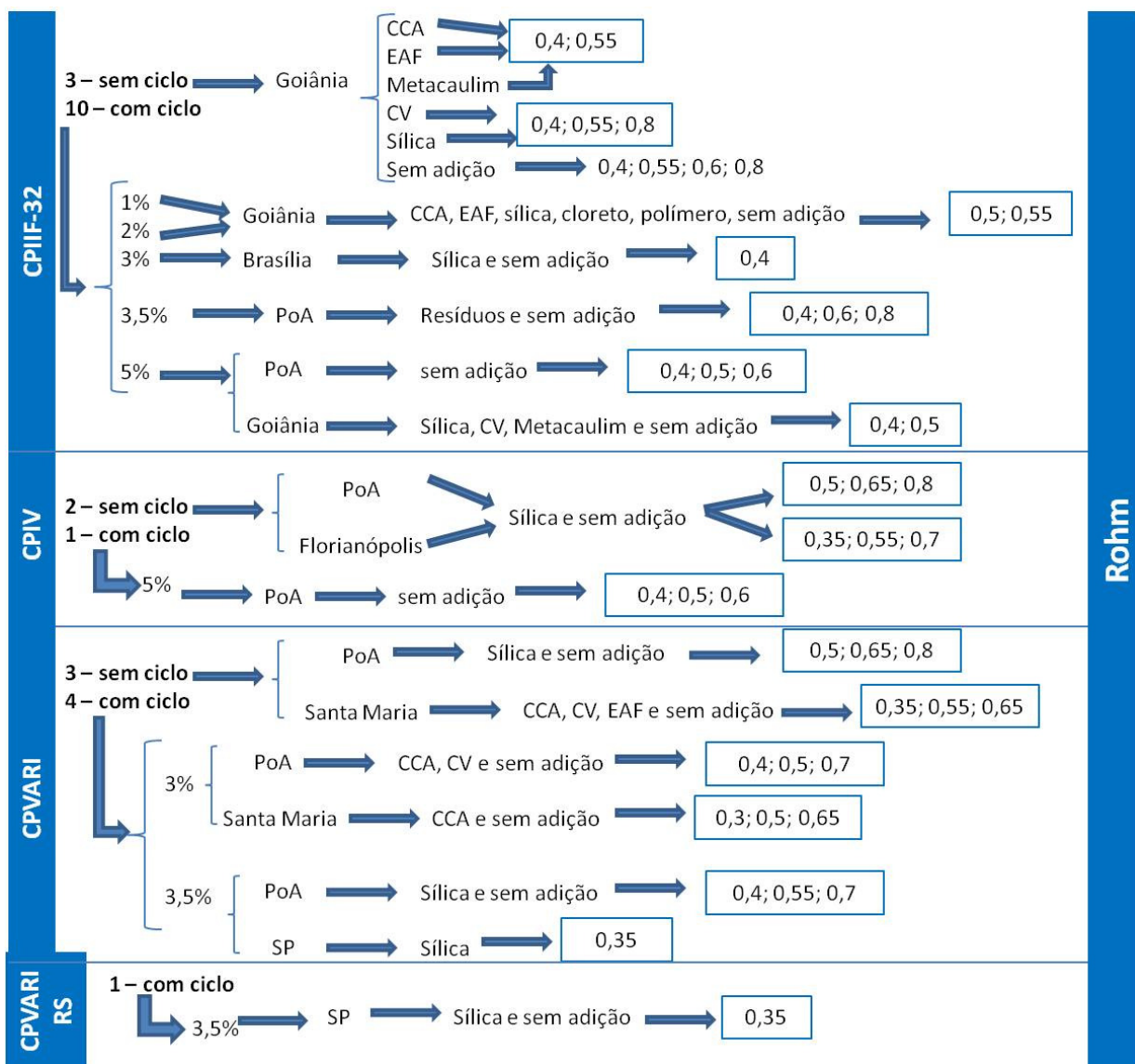


Figura 25 – Diagrama da variável Rohm

Esta análise descritiva, desenvolvida neste capítulo, permitiu a continuação do estudo para as próximas etapas de análise estatística, porém antes de estudar os dados das técnicas

eletroquímicas será realizado o projeto piloto (próximo capítulo) para comprovar a eficiência das técnicas estatísticas pré-selecionadas.

5 PROJETO PILOTO: MODELAGEM DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Neste capítulo apresenta-se o projeto piloto que foi realizado nesta tese, pois ao realizar a coleta de dados dos trabalhos (teses e dissertações) deparamo-nos com muitos estudos que avaliaram além da corrosão por íons cloreto, a resistência à compressão do concreto como método de verificar a qualidade do material em estudo.

Este estudo se justifica pelo fato do ensaio de resistência à compressão ser um ensaio padronizado e desta maneira os dados deverão ter um número reduzido de resíduos, desta maneira foi possível avaliar a real sensibilidade das técnicas estatísticas propostas para esta meta-análise: ANOVA e Regressão Linear.

Um total de 1434 dados foram coletados dos trabalhos de teses e dissertações de corrosão de armaduras de concreto armado por íons cloreto. Estes dados foram avaliados por uma análise descritiva e posteriormente testadas as técnicas estatísticas (ANOVA e Regressão linear) pré-selecionadas para a realização da Meta-análise da variável dependente – resposta: resistência à compressão.

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DO PROJETO PILOTO

A análise descritiva desta variável: resistência à compressão do concreto foi em comparação ao tipo de cimento, relação a/c, adição mineral e tempo de ensaio. A Tabela 15 apresenta os trabalhos que foram selecionados para este projeto piloto.

Tabela 15: Trabalhos utilizados no projeto piloto

Autor:	Ano:	Cidade:
Abreu, Aguida Gomes	1998	Porto Alegre
Teixeira, Luciano Martin	2000	Goiânia
Azevedo, Clarissa Santos	2001	Goiânia
Costa, Paulo Edgar Figueira	2001	Santa Maria
Hoffmann, Anelise Todeschini	2001	Porto Alegre
Martins, Aline Rosa	2001	Campinas
Pereira, Valéria Gomes Alves	2001	Porto Alegre
Ribeiro, Fábio Henrique de Melo	2001	Goiânia
Tessari, Ricardo	2001	Porto Alegre
Tinôco, Hênio Fernandes da Fonseca	2001	Goiânia
Dal Ri, Marcia	2002	Santa Maria
Juca, Tatiana Renata Pereira	2002	Goiânia
Monteiro, Eliana Cristina Barreto	2002	São Paulo
Pereira, Claudio Henrique de Almeida Feitosa	2002	Goiânia
Winck, Maristela de Lima	2002	Santa Maria
Braun, Victor	2003	Goiânia
Couto, Adriana Borges de Paula	2003	Goiânia
Ferreira, Ricardo Barbosa	2003	Goiânia
Gomes, Newton Soares	2003	Santa Maria
Vieira, Geilma Lima	2003	Porto Alegre
Calçada, Luciana Maltez Lengler	2004	Florianópolis
Moreira, Bianca Pereira	2004	Santa Maria
Freire, Karla Regina Rattmann	2005	Curitiba
Hoppe, Tiago Fernandes	2005	Santa Maria
Rosa, Dalton Wegner da	2005	Santa Maria
Saciloto, Adriano Pedroso	2005	Santa Maria
Schneider, Jonas André	2005	Santa Maria
Dotto, Joseane Maria Rosarola	2006	Porto Alegre
Ferreira, Fernanda Giannotti da Silva	2006	São Paulo
Tavares, Lisiane Morfeo	2006	Porto Alegre
Torres, Ariela da Silva	2006	Porto Alegre
Gasparim, José Carlos	2007	São Paulo
Graeff, Ângela Gaio	2007	Porto Alegre
Oliveira, Andrielli Moraes	2007	Goiânia
Barros, Pedro Gustavo dos Santos	2008	Maceió
Garcia, Raphael Barp	2008	Florianópolis
Pedroso, Éder Claro	2008	Santa Maria
Siqueira, Henrique Carvalho	2008	Santa Maria

A Tabela 16 mostra um quantitativo dos estudos sobre resistência à compressão realizados nas cidades de Porto Alegre, Goiânia, São Paulo e Santa Maria. As cidades de Brasília, Campinas, Curitiba e Florianópolis não foram adicionadas à tabela em função do baixo número de trabalhos encontrados nelas, sendo: 1, 1, 1 e 2 respectivamente. Em Brasília o trabalho foi de Santos (2006), Campinas de Martins (2001), em Curitiba de Freire (2005) e em Florianópolis de Calçada (2004) e Garcia (2008).

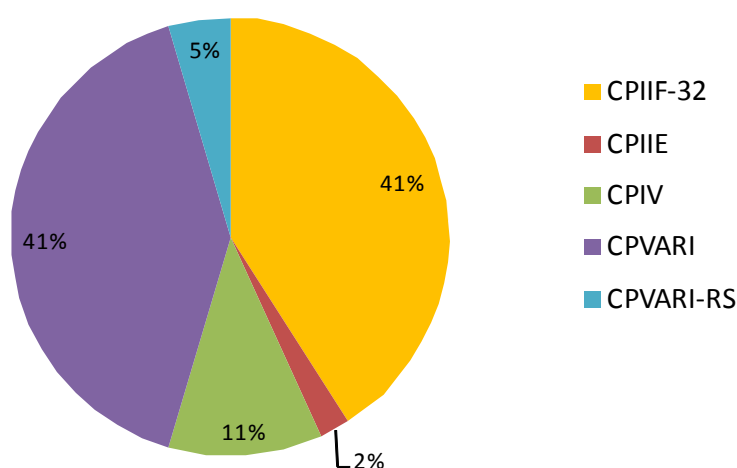
A resistência à compressão, a partir da análise de frequência, só não obteve combinação para o cimento CPIV com adição de material para os intervalos de relação a/c de 0,3 – 0,49 e 0,5 – 0,59. Cabe salientar que todos os períodos de tempo foram contemplados. Sabe-se também que esta variável poderia ter ficado completa em função de que é uma característica do material e que já foi estudada no país, porém manteve-se a hipótese de analisar-se dados apenas de trabalhos sobre o tema de corrosão de armaduras em concreto armado por ação de íons cloretos, ou seja, este dados foram retirados apenas deste trabalhos. Mesmo assim, fica registrada a facilidade de completar este banco e ter um modelo brasileiro extremamente confiável.

Tabela 16: Quantidade de estudos de resistência à compressão em função das variáveis em estudo e das cidades onde foram realizados

Resistência à compressão	Cidades			
	Porto Alegre	Goiânia	São Paulo	Santa Maria
Tipo de cimento				
CPIIF-32	4	10	1	2
CPIIE	1	-	-	-
CPIV	4	1	-	-
CPVARI	6	1	2	9
CPVARI-RS	1	-	1	-
Adições				
cloretos	-	1	-	-
sílica	2	3	1	-
cca	2	2	-	5
cv	1	5	-	6
eaf	-	2	-	8
metacaulim	-	1	-	-
fibra	-	1	-	-
polimeros	-	1	-	-
resíduos	1	-	-	1
sem adição	3	9	1	12
Relação a/c				
0,3	3	-	2	2
0,35	4	-	3	7
0,4	4	4	1	2
0,45	3	-	2	2
0,5	4	3	-	9
0,55	-	5	-	3
0,6	4	2	-	2
0,65	3	-	1	8
0,7	1	3	-	-
0,75	-	-	-	1
0,8	3	-	-	1
Tempo (dias)				
1	-	-	1	-
3	1	1	2	3
7	5	7	2	7
14	2	-	1	-
28	8	7	1	12
63	2	-	1	-
91	4	9	2	11
182	-	1	1	1

A Figura 26 apresenta o gráfico dos tipos de cimento utilizados em ensaios de resistência à compressão em trabalhos sobre corrosão de armaduras por ação de íons cloreto. Os cimentos mais utilizados são CPIIF-32 e CPVARI. O cimento CPIIF-32 teve maior uso nas cidades de Goiânia e Porto Alegre, enquanto que o CPVARI nas cidades gaúchas de Porto Alegre e Santa Maria.

Como já discutido no capítulo 4, o maior uso dos cimentos CPIIF-32 e CPVARI deve-se a facilidade de encontrá-los para compra e também pela utilização do CPVARI em estruturas pré-moldadas que necessitam da rapidez de execução das obras que o cimento CPVARI fornece por proporcionar uma alta resistência já nos primeiros dias do concreto.

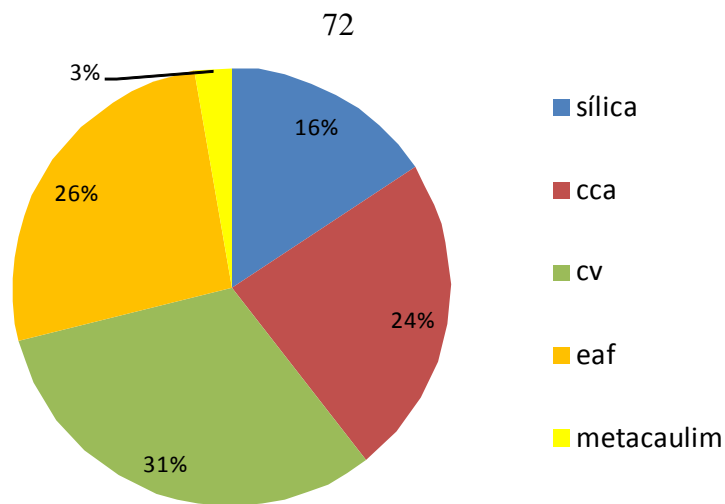


uso de cimentos em ensaio de resistência à compressão

Figura 26 – Tipo de cimento x ensaio de resistência à compressão

A Figura 27 apresenta os tipos de adições minerais encontradas nos trabalhos, sendo a mais utilizada a cinza volante (cv), seguido da escória de alto forno (eaf) e cinza de casca de arroz (cca). Estes três materiais foram mais utilizados em Santa Maria.

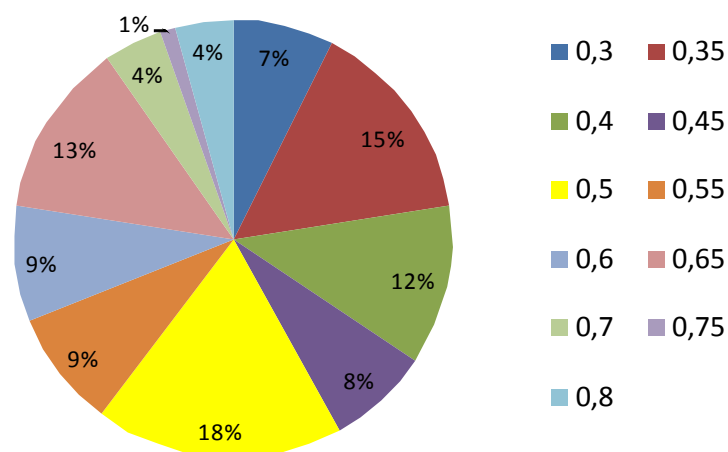
O uso de polímeros, fibras e resíduos não foram colocados neste gráfico, porém foram encontrados dados em 1 trabalho com fibra, 1 com polímero e 2 com uso de resíduos.



Uso de adições em ensaio de resistência à compressão

Figura 27 – Tipo adição em concreto x ensaio de resistência à compressão

A Figura 28 mostra as relações a/c utilizadas nos ensaios de resistência à compressão. As relações 0,35 e 0,5 apresentaram maior incidência, principalmente na cidade de Santa Maria. Realizando um comparativo com a indicação, da NBR 6118/2003, do uso em regiões urbanas de relações a/c superiores a 0,6 nota-se que 78% dos dados contemplaram a sugestão da norma. Novamente salienta-se a importância da continuação das pesquisas com realações a/c superiores a 0,6 para melhora na eficácia das manutenções de estruturas, em função de que a maior parte das edificações terem sido construídas numa faixa superior a indicação da norma.

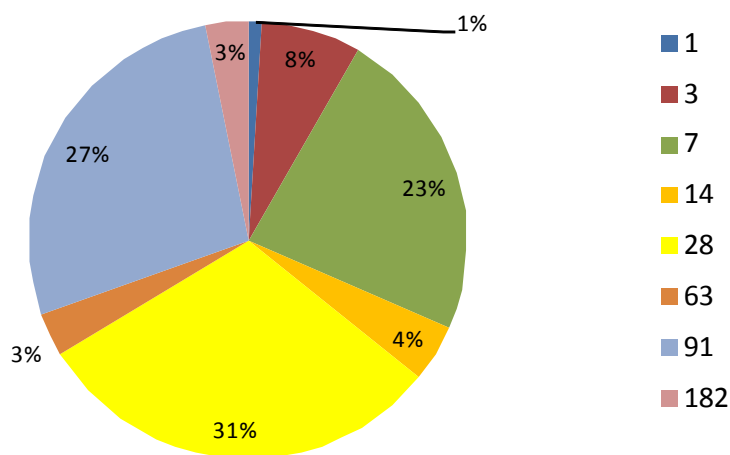


Relação a/c em ensaio de resistência à compressão

Figura 28 – Relação a/c x ensaio de resistência à compressão

A Figura 29 mostra os tempos de ensaio utilizados neste teste, este ensaio segue a NBR 5739

que indica algumas datas para realização do ensaio. Porém os dias com maior escolha foram 28 e 91 dias, datas estas escolhidas pelo conhecimento já adquirido de que os cimentos (com exceção do CPVARI) a partir do 28º dia atinge grande parte da sua resistência final.



Tempo de ensaio de resistência à compressão

Figura 29 – Tempo de ensaio x ensaio de resistência à compressão

5.2 FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS DO PROJETO PILOTO

A resistência à compressão do concreto foi avaliada da mesma forma em todos os trabalhos, seguindo as recomendações da NBR 5739 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos cilíndricos (ABNT, 2007), para corpos-de-prova de 10 x 20 cm submetidos a um ensaio de compressão axial em prensa hidráulica.

Os dados foram obtidos em MPa e calculados dividindo a carga obtida no ensaio pela área de atuação da seção transversal do corpo-de-prova.

Para avaliação da **resistência à compressão** foram utilizadas como variáveis independentes – fatores, as variáveis determinadas no capítulo 3, que estão codificadas na Tabela 18, com as seguintes ressalvas quanto à análise estatística:

- A variável tipo de cimento foi utilizada com três tipos: CPIIF-32, CPIV e CPV-ARI, pois foram os que apresentaram um número significativo de estudos;
- A variável relação a/c foi utilizada a partir de três intervalos de valores,

sendo os dois primeiros intervalos inferiores a 0,6 que é o indicado pela norma (NBR 6118) e o terceiro intervalo acima deste valor. Esta opção, de uso de intervalos, foi utilizada para reduzir o impacto da falta de alguns valores de relações a/c;

- A variável uso adições minerais foi utilizada apenas com a classificação de uso ou não do material, sem definir qual material foi utilizado;
- A variável *tempo* em função de períodos. Esta decisão foi tomada em função de termos poucos estudos com poucos dias de análise. A Tabela 17 indica os períodos utilizados, determinados em função dos ganhos de resistência ao longo do tempo. Onde se observa que até sete dias mantêm um padrão, atingindo uma resistência característica aos 28 dias e acima disto há um aumento nos valores.

Tabela 17: Períodos de tempo utilizados no projeto piloto

Períodos	Dias
1	Até 7 dias
2	De 8 a 28 dias
3	De 29 a 182 dias

- A variável *ciclo de imersão e de secagem* não foi considerada, pois não se aplica a avaliação da resistência à compressão do concreto.

Tabela 18: Codificação das variáveis qualitativas

	Variável qualitativa	Código
Tipo de cimento	CPIIF32	1
	CPIV	2
	CPVARI	3
Relação a/c	0,3 – 0,49	1
	0,5 – 0,59	2
	0,6 - 0,8	3
Adição de material	Com material	0
	Sem material	1

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PROJETO PILOTO

Este ítem compreende a análise estatística realizada com os dados de resistência à

compressão. As técnicas estatísticas utilizadas foram Análise de Variância (ANOVA) e Regressão Linear, métodos estes sugeridos pelo departamento de estatística da UFRGS.

5.3.1 Análise de Variância

O estudo da ANOVA para a variável dependente (resposta) resistência à compressão teve um valor de R^2 de 68,79%, de coeficiente de variação de 30,07 e média de 39,51. A Tabela 19 mostra que houve diferença significativa entre os grupos.

Acredita-se que este valor encontrado para o coeficiente de determinação (R^2) foi em função da variabilidade dos dados coletados, pois mesmo sendo um ensaio padronizado muitos fatores interferem e provocam esta variação. Estes fatores podem estar ligados desde a mão-de-obra que realizou a concretagem ao tipo de material adicionado, além da prensa que foi utilizada na realização dos rompimentos dos corpos-de-prova.

Porém este valor, de entorno de 70%, foi considerado um bom resultado visto ser a união de dados de 38 trabalhos desenvolvidos nas mais diversas cidades brasileiras.

As tabelas de resultados da ANOVA apresentam as variáveis em estudos, o grau de liberdade (GL) que é número de níveis das variáveis menos 1, soma dos quadrados dos grupos, média dos quadrados dos grupos, Teste F que é a relação entre a média dos quadrados do modelo e dos resíduos e o valor de p que apresenta a significância, visto que o valor de α utilizado neste trabalho foi de 5%.

Tabela 19: ANOVA para os dados de Resistência à Compressão

Variáveis	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Teste F	Valor p
Modelo	44	408139,58	9275,89	65,69	0,0001
Resíduos	1311	185113,89	141,20		
Total	1355	593253,48			

A análise de variância de todas as variáveis (Tabela 20) mostrou que apenas a adição de material não se mostrou significativa nos resultados. O que já se esperava sendo a adição de material um fator de melhora na durabilidade do concreto e de conhecimento da comunidade científica a eficiência do tipo de cimento, da relação a/c e do tempo nas avaliações físicas do concreto, como resistência à compressão ou modelo de deformação, por exemplo.

Analisando as interações entre as variáveis foram consideradas válidas para este estudo as interações entre no máximo duas variáveis, pois acredita-se que desta maneira é possível ter um fiel relação com a realidade das estruturas de concreto armado. Apenas a relação cimento*relação a/c é significativa, as demais relações e interações em vários níveis foram todas não significativas.

Tabela 20: ANOVA para as variáveis

Variáveis	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Teste F	Valor p
Cimento	2	47594,07	23797,03	168,53	0,0001
Relação a/c	2	65827,05	32913,52	233,10	0,0001
Adição de material	1	0,87	0,87	0,01	0,9372
Tempo	2	20922,65	10461,32	74,09	0,0001
Cimento*relação a/c	4	22768,69	5692,17	40,31	0,0001
Relação a/c*material	2	148,03	74,01	0,52	0,5922
Relação a/c*tempo	4	555,32	138,83	0,98	0,4156
Cimento*material	1	0,76	0,76	0,01	0,9414
Cimento*tempo	4	1676,19	419,04	2,97	0,0187
Material*tempo	2	161,15	80,57	0,57	0,5653

Na Tabela 21 aparece a falta de dados para o cimento CPIV, relacionando-o com os outros cimentos do estudo. As outras variáveis mantiveram-se com n próximo para as classes estudadas.

Tabela 21: Médias e Desvios padrão dos fatores envolvidos para a variável resposta resistência à compressão

Fatores	Níveis dos fatores	N	Média	Desvio Padrão
Tipo de cimento	1	416	30,92	10,88
	2	85	26,39	15,67
	3	855	44,99	23,01
Relação a/c	1	504	56,16	22,46
	2	407	35,52	11,75
	3	445	24,30	8,76
Adição de material	0	893	40,43	21,33
	1	463	37,74	20,00
Tempo	1	365	29,93	18,55
	2	469	39,23	18,58
	3	522	46,46	21,79

Com objetivo de verificar as diferenças entre os grupos foram realizados os teste de

homogeneidade de Levene, Brown & Forsythe e Bartlett. Os três testes foram significativos sendo os resultados conforme Tabela 22.

Tabela 22: Resultados dos três tipos de teste de homogeneidade

Teste	Resultado
Levene	F = 9,87
Brown & Forsythe	F = 11,53
Bartlett	Q ² = 720,4

Com a finalização deste teste, ANOVA, o mesmo mostrou-se adequado a utilização para a meta-análise nas técnicas eletroquímicas, com a ressalva que para resistência a compressão todas as combinações foram contempladas.

Por sugestão da banca do exame de qualificação da autora desta tese, foi realizado o teste de ANCOVA (Análise de Covariância) também para os dados. Análise de covariância é uma técnica utilizada para testar o efeito principal e os de interação das variáveis independentes - fatores sobre a variável dependente - resposta, controlando os efeitos da variável selecionada sobre outros variáveis que co-variam com a dependente. A variável de controle é denominada de "covariável" e neste trabalho foi a variável tempo. Porém os dados não foram significativos e por isso optou-se por não apresenta-los neste trabalho.

5.3.2 Regressão linear do Projeto Piloto

A Figura 30 apresenta os dados reais (coletados) de resistência à compressão em função do tempo. Este gráfico mostra o comportamento real dos dados e será importante para posterior comparação com as equações geradas pelo método da regressão.

Tabela 23: Coeficientes da regressão linear para resistência à compressão

Variável	Coeficiente angular	Erro padrão	t	Significância
Constante	34,14	1,67	20,35	0,00
Tipo de cimento	8,27	0,38	21,28	0,00
Relação a/c	-15,87	0,42	-37,73	0,00
Adição material	-0,47	0,74	0,63	0,52
Tempo	8,20	0,44	18,60	0,00

A Tabela 24 mostra as correlações entre as variáveis analisadas, através do coeficiente de Pearson e o nível de significância. O coeficiente de correlação de Pearson é visto como a razão entre a covariância de duas variáveis pelo produto dos desvios-padrão de cada uma delas. Este coeficiente pode variar de -1 a +1 e mostra a intensidade da relação linear entre as duas variáveis estudadas. Houve falta de significância entre cimento*relação a/c, relação a/c*material, relação a/c*tempo e tempo*material.

Tabela 24: Correlações entre as variáveis para resistência à compressão

		Tipo de cimento	Relação a/c	Adição Material	Tempo	Resistência à compressão
Tipo cimento	Correlação de Pearson	1	0,02	-0,11	-0,08	0,32
	Significância		0,35	0,00	0,00	0,00
Relação a/c	Correlação de Pearson	0,02	1	-0,00	-0,05	-0,64
	Significância	0,35		0,95	0,08	0,00
Adição material	Correlação de Pearson	-0,10	-0,00	1	-0,04	-0,06
	Significância	0,00	0,95		0,16	0,02
Tempo	Correlação de Pearson	-0,08	-0,04	-0,03	1	0,31
	Significância	0,00	0,08	0,16		0,00
Resistência à compressão	Correlação de Pearson	0,31	-0,64	-0,06	0,31	1
	Significância	0,00	0,00	0,02	0,00	

Após esta análise procurou-se selecionar os resíduos da amostra. Estes dados, os resíduos, representam a diferença entre o valor observado de y e o que foi predito pelo modelo de

regressão, ou seja pela equação.

Após determinados os resíduos, estes foram excluídos do banco de dados e um novo processo estatístico foi realizado, mantendo como parâmetro de comparação o coeficiente de determinação que obteve o valor foi de 63,5%. Este valor de R^2 foi muito próximo do obtido da análise anterior (banco de dados com resíduos) o que comprova a variabilidade dos dados a partir das variáveis que realmente interferem na resistência à compressão.

A equação encontrada para os **dados sem resíduos** foi de acordo com a equação 4 e os dados plotados de acordo com esta equação estão na Figura 31.

$$\text{Resistência} = 59,407 + 14,535(\text{tipo de cimento}) - 94,292(\text{relação a/c}) + 1,253(\text{adição de material}) + 0,133(\text{tempo})$$

eq. 4

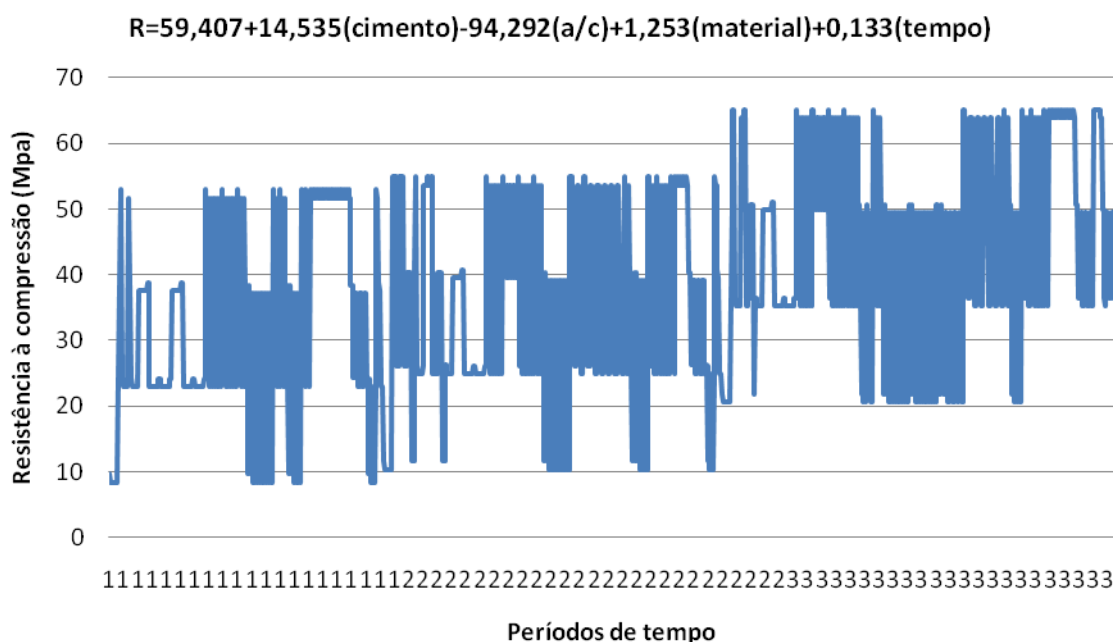


Figura 31 – Resistência x períodos: dados com todas as variáveis independentes sem resíduos

Ao realizar uma comparação entre as Figuras 30, 31 e 32 chama atenção para a similaridade entre as Figuras 31 e 32 e maior diferença destas duas com relação a Figura 30, o que comprova o valor do coeficiente de determinação para entorno de 60%.

Para excluir qualquer dúvida no uso desta técnica estatística foi realizada uma nova análise a partir de um banco de dados sem a variável adição de material, visto que ela foi não significativa. O valor R^2 foi de 60,5%, mantendo o padrão já estabelecido nas outras duas análises (banco de dados total e banco de dados sem resíduos) e assim foi comprovada a sua falta de interação com os dados, pois as outras variáveis continuaram sendo significativas.

Ao realizar uma quarta análise com o banco de dados sem a variável adição de materiais e sem os resíduos encontrou-se um valor de R^2 de 63,4%, mantendo muito próximo dos valores anteriores encontrados, a plotagem destes dados encontram-se na Figura 32.

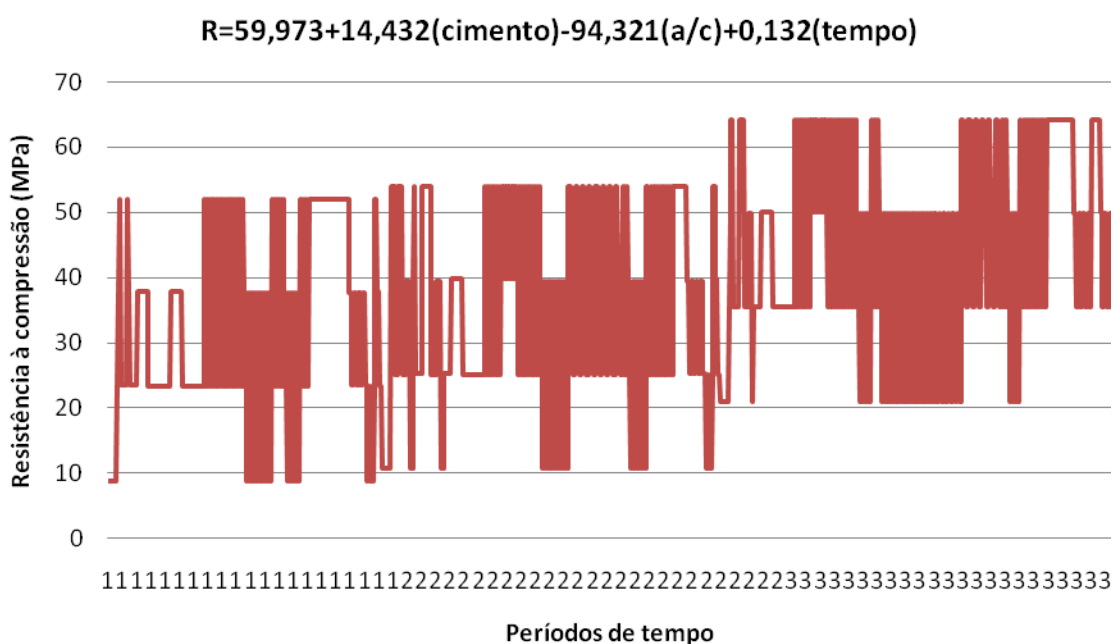


Figura 32 – Resistência x períodos: dados sem a variável adição de material e sem resíduos

Como uma última alternativa de avaliação, através da regressão linear, os dados foram modelados isolando os tipos de cimento, em uma tentativa de elaboração de equações por cimento, porém o parâmetro de comparação (R^2) manteve-se entorno de 60% e assim não se achou necessário apresentar estes dados, pois a qualidade das equações foram praticamente as mesmas.

A banca de qualificação desta tese sugeriu que fossem retirados os dados desta técnica estatística, porém em função de termos adquiridos dados interessantes, optou-se por apresentar os dados e manter a utilização na mesma para análise estatística das técnicas

eletroquímicas.

Desta maneira a próxima etapa deste estudo é a Meta-análise das três técnicas eletroquímicas em estudo (Ecorr, icorr e Rohm). Este estudo, após a análise descritiva realizada no capítulo 4, foi dividido em três etapas:

- 1. Formação do banco de dados,*
- 2. Análise por ANOVA e*
- 3. Análise por Regressão.*

6 FORMAÇÃO DE BANCOS DE DADOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Neste capítulo se descrevem as tentativas efetuadas para formação de um banco de dados, com os dados individuais obtidos em cada trabalho coletado, para cada tipo de ensaio de interesse (potencial de corrosão, intensidade de corrente e resistência ôhmica).

As várias tentativas foram necessárias para definir qual a codificação adequada dos conjuntos de dados para que o banco de dados resultante apresentasse maior robustez e permitisse a realização da análise estatística, efetuada com técnicas de ANOVA e de REGRESSÃO, cujos resultados estão descritos nos capítulos 7 e 8.

6.1. BANCO DE DADOS VERSÃO 1

Objetivando a elaboração do banco de dados para análise estatística foi necessário inicialmente codificar as variáveis qualitativas, possibilitando assim o lançamento dos dados no programa SPSS (versão 11.0.1) e as avaliações posteriores. O processo de codificação foi efetuado com base na análise descritiva apresentada no capítulo 4.

6.1.1 Codificação das variáveis independentes

A Tabela 25 mostra a codificação das variáveis independentes – fatores utilizados na *primeira tentativa de formação do banco de dados*. A mesma foi baseada numa definição dos níveis de variáveis, efetuada com base nos argumentos descritos a seguir:

- TIPO DE CIMENTO: Como descrito no capítulo 4, na avaliação dos dados extraídos das teses e dissertações verificou-se que a maioria dos trabalhos usava quatro tipos de cimentos: CPIIF-32, CII-E, CIIV e CPV-ARI, sendo muito baixo o número de estudos com o cimento CII-E. Portanto se usou essa variável com 4 níveis.

- **FORMA DE INDUÇÃO:** Foram considerados dois níveis, associados ao uso ou não de ciclos de imersão e secagem, pois o número de trabalhos com cloretos incorporados ainda é pequeno;
- **RELAÇÃO A/C:** Como mostrado no capítulo 4, a maioria dos estudos utiliza relações a/c entre 0,3 e 0,8, com intervalos de 0,5. Foram portanto empregados 10 níveis (não foi usado o nível 0,75 pois não existem trabalhos que empregaram essa relação a/c);
- **TIPO DE ADIÇÃO ATIVA:** Como mostrado no capítulo anterior, muitos materiais foram empregados com o intuito de melhorar as condições da matriz. Todavia, são consistentemente usadas apenas as adições ativas. Portanto, para formação do banco de dados se usou somente a variação de tipo de adição, sendo adotados 5 níveis, correspondentes ao uso de cinzas de casca de arroz, sílica ativa, escória de alto forno, metacaulim e cinzas volantes, e um nível de referência, correspondente à matriz sem adições ativas
- **TEMPO:** Visto que o interesse principal desta pesquisa é modelar os resultados de ensaios eletroquímicos, que são realizados através do monitoramento contínuo de um corpo de prova, com tomada de leituras em períodos pré-determinados, decidiu-se utilizar uma variável tempo associada ao momento em que foi efetuada a leitura, ou seja, o tempo decorrido desde o início do ensaio, medido em dias, sendo as leituras efetuadas no primeiro dia de ensaio codificadas como 0 (zero) dias.

Os dados foram analisados de acordo com a estatística descritiva, através de um teste de frequência das combinações das variáveis independentes – fatores. Assim foi possível estabelecer os estudos que estão faltando ser realizados com estas combinações de fatores e também o número de repetições dos testes, pois há a necessidade de se ter no mínimo duas repetições de cada combinação para poder realizar a análise estatística.

Tabela 25: Codificação das variáveis qualitativas – primeiro banco de dados

	Níveis da Variável	Código
Tipo de cimento	CPIIF32	1
	CPIIE	2
	CPIV	3
	CPVARI	4
Ciclo de imersão e secagem	Sem ciclo	1
	Com ciclo	2
Relação água/cimento	0,3	1
	0,35	2
	0,4	3
	0,45	4
	0,5	5
	0,55	6
	0,6	7
	0,65	8
	0,7	9
	0,8	10
Adição material	Cinza de casca de arroz - CCA	1
	Sílica ativa - SA	2
	Escoria de alto forno – EAF	3
	Metacaulim – MC	4
	Cinza volante - CV	5
	Sem adição	6
Tempo		Em dias

6.1.2 Análise de problemas de escopo do banco de dados

Para os dados das técnicas eletroquímicas em estudo (Ecorr, icorr e Rohm) utilizando as técnicas descritivas (Capítulo 4) e de análise por frequência das combinações das variáveis independentes - fatores, o resultado da análise inicial demonstrou que faltaram muitas combinações, obtendo um fatorial com diversas falhas. A variável com maior número de falhas foi tempo.

Dados de Potencial de corrosão (Ecorr)

Para completar o fatorial do Ecorr faltaram dados para o CPIIF sem ciclo para relações a/c inferiores a 0,5 e superiores a 0,6 com adições de materiais. Para o mesmo cimento com ciclo de imersão e secagem faltaram combinações com relações a/c abaixo de 0,4 e acima de 0,65. CPIIE e CPIV não possuem dados com adições de diferentes materiais. Para o cimento CPVARI faltaram dados com adições de materiais tipo EAF e metacaulim.

Dados de Intensidade de corrosão (icorr)

Faltam estudos de icorr com CPIIE e CPIV nas diversas relações água/cimento e com a maioria das adições dos materiais conhecidos. Os materiais metacaulim e cinza volante também não foram testados como variáveis para Icorr. CPVARI deve ser testado com outras relações a/c, além de 0,65 e outros materiais além de EAF.

Dados de resistência ôhmica (Rohm)

Para avaliação de Rohm faltaram muitos dados, pois o CPIIE não teve nenhum dado e CPIV só apresentou dados sem adição de materiais.

6.2. BANCO DE DADOS VERSÃO 2

Ao realizar a análise das técnicas eletroquímicas (Ecorr, Icorr e Rohm) do banco de dados versão 1 foram diagnosticadas várias falhas de estudos, como já descrito anteriormente. Para tentar reduzir estas falhas de combinações foi proposto este novo estudo (**banco de dados versão 2**) com duas principais modificações nas variáveis independentes – fatores: relação água/cimento e adição de material.

6.2.1 Codificação das variáveis independentes

A Tabela 26 apresenta a codificação das variáveis utilizadas no banco de dados versão 2. Para este banco de dados as seguintes modificações foram realizadas com intuito de reduzir o número de falhas de combinações:

- TIPO DE CIMENTO: manteve-se os mesmos apenas para a variável potencial de corrosão (Ecorr), sendo excluído o cimento CPIIE para intensidade de corrosão e resistência ôhmica em função do baixo número de estudos com este material e estes tipos de ensaio.
- FORMA DE INDUÇÃO: manteve-se a mesma codificação do banco versão 1 (dois níveis: com e sem ciclo de imersão e secagem).
- RELAÇÃO A/C: esta variável foi classificada em intervalos e não mais em valores isolados, como anteriormente, desta maneira acreditou-se que maiores números de combinações serão geradas em função de cada intervalo abranger um número considerável de relações água/cimento. Os valores destes intervalos foram

determinados de acordo com a variação das resistências mecânicas que cada valor de água/cimento determina, assim valores inferiores a 0,49 foram denominados intervalo 1, entre 0,5 e 0,59 intervalo 2 e superiores a 0,6 intervalo 3.

- TIPO DE ADIÇÃO ATIVA: esta variável foi determinada apenas com e sem adição (dois níveis), desta maneira o uso de adição de materiais pozolânicos foram unidos em um mesmo grupo.
- TEMPO: esta variável foi mantida em dias para se ter a sensibilidade do seu efeito nas combinações.

Tabela 26: Codificação das variáveis qualitativas – banco de dados versão 2

Variável a ser analisada	Ecorr		icorr e Rohm	
	Variável qualitativa	Variável quantitativa	Variável qualitativa	Variável quantitativa
Tipo de cimento	CPIIF32	1	CPIIF32	1
	CPIIE	2	CPIV	2
	CPIV	3	CPVARI	3
	CPVARI	4		
Ciclo de imersão e secagem	Com ciclo	0	Com ciclo	0
	Sem ciclo	1	Sem ciclo	1
Relação a/c	0,3 – 0,49	1	0,3 – 0,49	1
	0,5 – 0,59	2	0,5 – 0,59	2
	0,6 - 0,8	3	0,6 - 0,8	3
Adição de material	Com adição	0	Com adição	0
	Sem adição	1	Sem adição	1
Tempo		Em dias		Em dias

6.2.2 Análise de problemas de escopo do banco de dados versão 2

Potencial de corrosão (Ecorr)

Nesta segunda tentativa, Ecorr apresentou 60,5% das possíveis combinações desconsiderando a variável tempo. Ressalta-se que ainda faltam estudos com os cimentos CPIIE e CPIV.

Intensidade de corrosão (icorr)

Ao analisar os dados desta variável, notou-se a baixa na quantidade de dados com o cimento CPIIE (n = 16 para um total de 2816) e por isso optou-se por retirar este cimento da análise, alterando os dados conforme Tabela 26. Desta maneira, ocorreram 14 combinações de uma possibilidade total de 36, porém ainda faltaram muitas em função do tempo. Também salienta-se a falta de dados de Icorr sem ciclo de imersão e secagem e com cimento CPIV.

Resistência ôhmica (Rohm)

Da mesma maneira que a variável Icorr, o n para o cimento CPIIE foi de 3 e assim retirado da análise, seguindo a nova configuração, também, conforme a Tabela 26 (anterior). A variável Rohm necessita ser incrementada para o cimento CPIV sem uso de ciclos de imersão e secagem e com adição dos diferentes matérias. Também necessita estudos com o cimento CPIIE.

Ao realizar a segunda opção de banco de dados, houve uma redução nas falhas de combinações, porém ficou claro o problema com a variável tempo. Desta maneira optou-se em escolher períodos de tempo e não mais leituras diárias dos ensaios, para desta maneira termos várias leituras em cada intervalo estipulado e assim reduzir ainda mais as falhas nas combinações (*terceira tentativa do banco de dados*).

6.3. BANCO DE DADOS VERSÃO 3

A principal mudança no banco de dados versão 3 é na variável tempo que passou a ser analisada em períodos semanais. Esta opção foi realizada baseada nas informações contidas nas figuras a seguir.

Para visualizar melhor a ocorrência das variáveis dependentes (resposta) foram confeccionados os gráficos *tipo scatterplot*, que permitem a visualização de uma possível associação entre variáveis quantitativas e *boxplot*, que possibilitam representar a distribuição de um conjunto de dados com base em alguns de seus parâmetros descritivos. Os dois tipos de gráficos foram utilizados para que a visualização da distribuição dos pontos ficasse clara e como o número de pontos é muito grande foi necessário o uso dos dois. Porém o gráfico tipo *boxplot* apresentou uma aparência de difícil visualização e em função disto optou-se por não

expor os mesmos neste trabalho.

Os gráficos ou diagramas de pontos (*scatterplot*) permitem ver facilmente o espalhamento, ou seja, a variabilidade dos dados e assim determinar os períodos que houve mudanças de comportamento.

As Figuras 33, 34 e 35 mostram o comportamento das técnicas eletroquímicas (E_{corr} , i_{corr} e R_{ohm}) aplicadas em função do tempo em dias com o gráfico tipo *scatterplot*. As escalas dos gráficos, função tempo, estão diferentes, pois cada ensaio eletroquímico foi realizado em tempos divergentes, assim optou-se por não manter as escalas iguais.

A Figura 33 mostra o comportamento da variável dependente (resposta) potencial de corrosão (E_{corr}). A Figura tem grande variabilidade de dados em mesmas idades. O gráfico tipo *scatterplot* apresenta uma grande concentração de dados até a medida, entorno, de 500 dias, após essa data os dados ficam esparsos e em menor número, o que leva a crer que se considerar a variável tempo em intervalos, e não mais em dias, teremos as semelhanças de comportamentos nos mesmos intervalos e assim, provavelmente, redução da falta de combinações em função da variável tempo. Nota-se também que as primeiras medidas não apresentaram processo corrosivo, obtiveram leitura zero, e após que iniciou o evento.

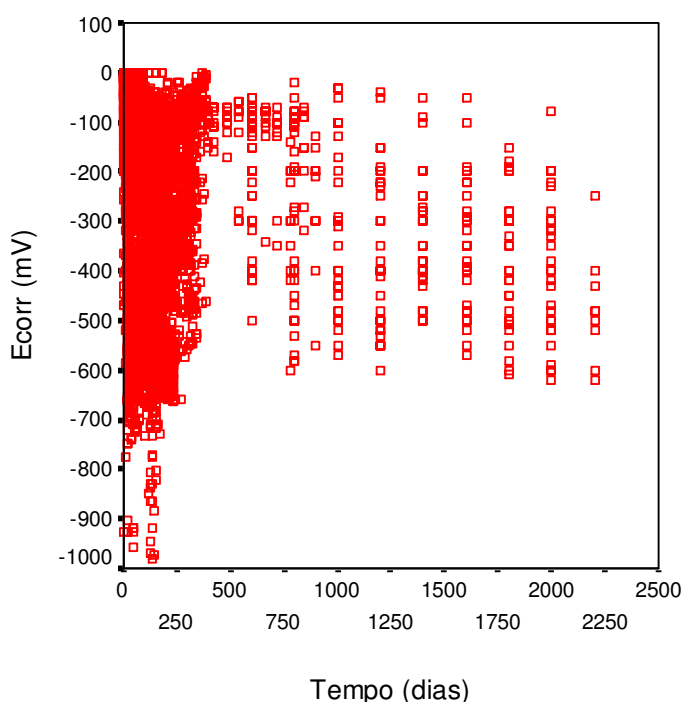


Figura 33 – *scatterplot* E_{corr} x tempo

A Figura 34 apresenta os dados da variável dependente (resposta) intensidade de corrosão

(i_{corr}). O gráfico mostra que grande parte dos dados está na faixa abaixo de $1 \mu A/cm^2$ e assim com um comportamento muito similar ao longo de períodos de tempo.

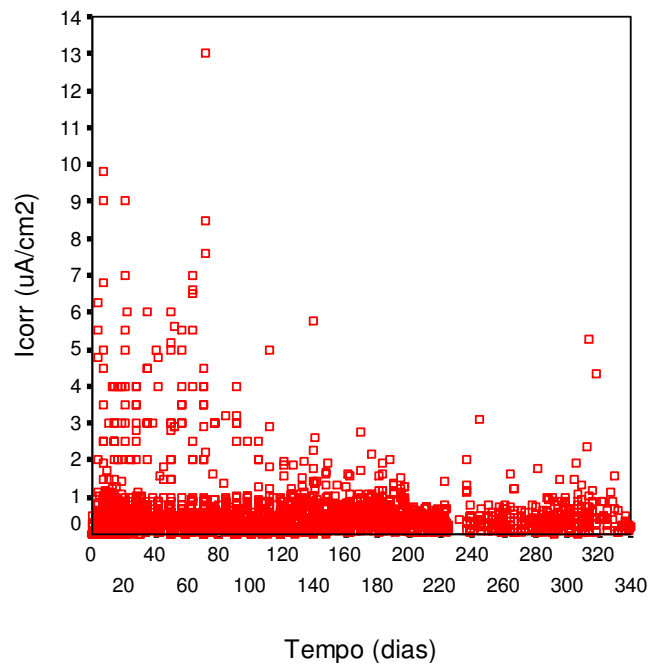


Figura 34 – *scatterplot* icorr x tempo

A Figura 35 apresenta o dado da variável dependente (resposta) resistência ôhmica (R_{ohm}). Novamente apresentou dados com um comportamento muito similar ao longo de períodos de tempo, até certo padrão de comportamento nas idades iniciais. Outro fato a salientar é quantidade de dados até completar um ano de leitura. Essa observação deve-se em função da maior parte dos dados serem oriundos de dissertações e cursos de Mestrados que devem ser realizados em dois anos.

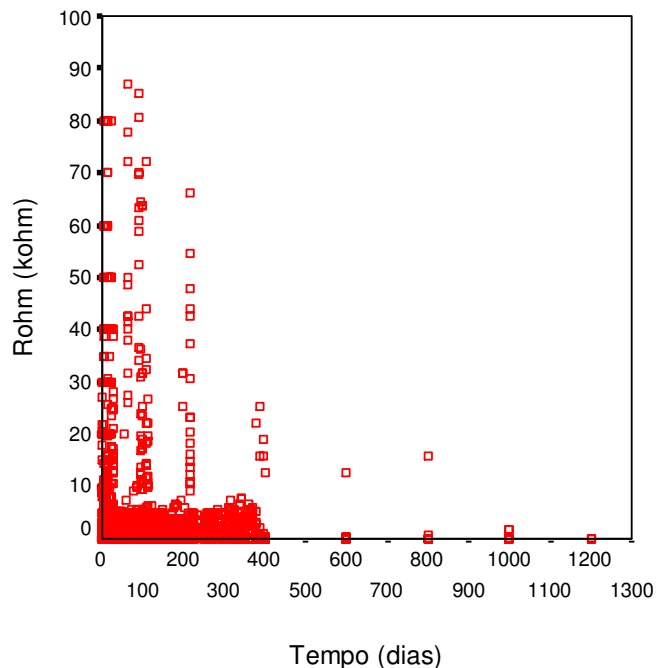


Figura 35 – *scatterplot* Rohm x tempo

6.3.1 Codificação das variáveis independentes

A partir da análise dos gráficos anteriores decidiu-se realizar o **banco de dados versão 3** a partir de análise do tempo em função de períodos de tempo se não mais diário. Mesmo utilizando esta ferramenta, do gráfico, não sabe-se qual melhor intervalo a utilizar, em função desta dúvida esta tentativa será em períodos de 7 dias, pois semanalmente, a maioria, dos pesquisadores realizaram leituras nos seus estudos. A Tabela 27 mostra a codificação dos dados para esta nova tentativa do banco de dados, com a única diferença, da tentativa anterior, do período de tempo ser de 7 dias.

Tabela 27: Codificação das variáveis qualitativas – banco de dados versão 3

Variável a ser analisada	Ecorr		Icorr e Rohm	
	Variável qualitativa	Variável quantitativa	Variável qualitativa	Variável quantitativa
Tipo de cimento	CPIIF32	1	CPIIF32	1
	CPIIE	2	CPIV	2
	CPIV	3	CPVARI	3
	CPVARI	4		
Ciclo de imersão e secagem	Com ciclo	0	Com ciclo	0
	Sem ciclo	1	Sem ciclo	1
Relação a/c	0,3 – 0,49	1	0,3 – 0,49	1
	0,5 – 0,59	2	0,5 – 0,59	2
	0,6 - 0,8	3	0,6 - 0,8	3
Adição de material	Com adição	0	Com adição	0
	Sem adição	1	Sem adição	1
Tempo		Períodos de 7 dias (semanais)		Períodos de 7 dias (semanais)

6.3.2 Análise de problemas de escopo do banco de dados versão 3

Potencial de corrosão (Ecorr)

Em função da alteração da variável tempo, o comportamento das combinações das outras variáveis foi o mesmo da tentativa anterior. Mesmo assim nota-se a falha de algumas semanas nas combinações e o espaçamento cada vez maior após a 60ª semana.

Intensidade de corrosão (icorr)

Os cimentos CPIIF e CPVARI apresentaram as combinações para com ciclo de imersão e secagem, porém faltaram muitos dados para a opção sem ciclo, como já observado anteriormente. Outra vez o cimento CPIV não dispõe de todas as combinações de Icorr e faltam dados de ensaios sem o uso de ciclos de imersão e secagem para todos os cimentos. Em várias semanas não houve a apresentação dos dados, concluindo-se que o período pode ser maior que 7 dias.

Resistência ôhmica (Rohm)

Nesta terceira tentativa os cimentos CPIIF e CPVARI apresentaram todas as combinações com as variáveis: ciclos de imersão e secagem, relação a/c e adição de material. Novamente, chama-se atenção para a falta de dados de Rohm para o cimento CPIV, pois apresentaram a metade das possíveis combinações. Ainda, em algumas semanas não foram obtidos dados.

6.4 BANCO DE DADOS VERSÃO 4

A partir das conclusões do banco de dados versão 3, onde ainda ocorreram falhas nos intervalos de tempo, e baseado nas Figuras 33, 34 e 35 optou-se por alterar a variável tempo para períodos de **10 dias** até completar um ano de ensaio e após todos os dados serem considerados mais de um ano (**banco de dados versão 4**). Como descrito anteriormente, pelos gráficos não fica bem claro o tamanho certo do período de tempo que manteve-se o comportamento semelhante, porém observa-se que após 1 ano de ensaios o comportamento manteve-se com desempenho similar nas medidas eletroquímicas. Manteve-se a codificação das variáveis apresentadas na Tabela 27 alterando o tempo para períodos de 10 dias.

6.4.1 Codificação das variáveis independentes

A codificação das variáveis independentes – fatores no banco de dados versão 4 foi a mesma da versão 3, Tabela 27, com a diferença dos períodos de tempo não serem mais de 7 dias e sim de 10 dias.

6.4.2 Análise de problemas de escopo do banco de dados versão 4

O resultado desta análise foi de preenchimento de algumas falhas de combinações em relação a variável tempo (período), porém ainda faltando algumas combinações, estas falhas irão aparecer durante a análise estatística. Porém este banco de dados versão 4 foi considerado satisfatório.

A próxima etapa é a análise estatística das três técnicas eletroquímicas em estudo (Ecorr, icorr e Rohm) que foi feita em parceria com o departamento de estatística da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, utilizado as técnicas ANOVA (capítulo 7) e Regressão Linear (capítulo 8) e usando o programa SPSS.

7 ANÁLISE ESTATÍSTICA POR ANÁLISE DE VARIÂNCIA – ANOVA

Como já mencionado no capítulo 3 e no projeto piloto (capítulo 5) desta tese uma das técnicas utilizadas para esta Meta-análise foi a Análise de variância (ANOVA). Ressalta-se que estes testes foram realizados com o *banco de dados versão 4* (banco de dados com tempo em períodos de 10 dias) e o nível de significância considerado no estudo foi de 5%.

A análise de variância, como já mencionado, tem como objetivo verificar a existência de diferença significativa entre as médias. As tabelas de resultados da ANOVA apresentam as variáveis em estudo, o grau de liberdade (GL) que é número de níveis das variáveis menos 1, soma dos quadrados dos grupos, média dos quadrados dos grupos, Teste F que é a relação entre a média dos quadrados do modelo e dos resíduos e o valor de p que apresenta a significância, visto que o valor de α utilizado neste trabalho foi de 5%. As interações com mais de dois fatores foram excluídas das análises em função de não acreditar da sua relação com as estruturas reais ou com o ensaio, e também as interações sem repetições não puderam ser calculadas em função da falta de dados para determinação da soma quadrada dos fatores.

As tabelas das médias e desvios padrão apresentam as variáveis, os níveis da codificação, a quantidade da amostra (N), a média da amostra e o desvio padrão de cada amostra de cada nível das variáveis independentes (fatores).

Os itens a seguir apresentarão os resultados da ANOVA para as técnicas eletroquímicas em estudo: Potencial de corrosão, Intensidade de corrosão e Resistência ôhmica.

7.1 POTENCIAL DE CORROSÃO (Ecorr)

O Anexo C apresenta as combinações que foram possíveis para o banco de dados versão 4. Cada um dos 4 primeiros algarismos do código representa, respectivamente, tipo de cimento, ciclo de imersão e secagem, relação a/c e adição de material; enquanto que os dois últimos

algarismos representam o período de tempo.

Por exemplo a combinação 101001 representa cimento tipo CPIIF-32 (1), com ciclo de imersão e secagem (0), relação água/cimento no intervalo de 0,3 a 0,49 (1), com adição de material (0) e tempo de 1 período (01). Foram analisadas 6281 observações para esta variável de potencial de corrosão.

A Tabela 28 mostra os resultados para análise de variância. Como o valor da média quadrada é muito superior ao valor do erro mostra a grande variabilidade entre as variáveis e conseqüentemente há diferença significativa entre os grupos.

Tabela 28: ANOVA para a variável dependente – resposta - Ecorr

Variáveis	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Teste F	Valor p
Modelo	506	124657185,1	246358,1	15,96	<0,0001
Resíduos	5774	89123784,6	15435,4		
Total	6280	213780969,7			

O coeficiente de determinação (R^2) dos dados do potencial de corrosão foi de 58,3%, assim 58,3% da variável dependente (Ecorr) é explicada pelas variáveis independentes (fatores): tipo de cimento, relação a/c, ciclo de imersão e secagem, adição de materiais e tempo. Este valor deve-se ao processo deste teste ser indicativo dos locais onde ocorre a corrosão e assim alguma das variáveis independentes (fatores) deve ter pouca interferência no processo. Porém este resultado de 58,3% é considerado um bom valor de resposta visto a grande variabilidade dos dados, já que esta meta-análise é a união de dezenas de estudos. A média da variável dependente Ecorr foi de 277,38 e o coeficiente de variação 44,78.

É importante ressaltar que o uso de técnicas eletroquímicas provocam diferentes resultados, mesmo quando se utiliza a mesma técnica em dois experimentos com as mesmas variáveis de estudos os resultados obtidos podem não ser iguais, pois é considerado um processo não exato e que muitas variáveis externas ao experimento influenciam, tais como temperatura e umidade do ambiente, por exemplo.

A Tabela 29 mostra a ANOVA das variáveis envolvidas no processo do potencial de corrosão. O fator adição de material não foi considerado significativo no processo, assim seu envolvimento não interfere no resultado final pela análise estatística, porém sabe-se da

importância da adição de pozolanas no aumento da durabilidade do concreto e assim na redução da incidência do processo corrosivo. Portanto acredita-se que esta falta de significância da variável de adição de materiais está diretamente relacionada a grande variabilidade dos dados, já que foram obtidos de inúmeros trabalhos com objetivos de pesquisas diferentes.

As relações da variável adição de material*tipo de cimento, ciclo de imersão e secagem*adição de material e adição de material*tempo foram não significativas em função da variável adição de material ter sido considerada estatisticamente não significativa no processo corrosivo deste tipo de ensaio, ressaltando que sabe-se do erro desta afirmação, visto a grande interferência da adição de pozolanas na durabilidade do concreto.

Tabela 29: ANOVA para as variáveis independentes –fatores – para Ecorr

Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Estatística F	Valor p
Tipo de cimento	3	2147326,95	715775,65	46,37	0,0001
Ciclo de imersão e secagem	1	73465,34	73465,34	4,76	0,0292
Relação a/c	2	4034959,32	2017479,66	130,71	0,0001
Adição de material	1	39969,20	39969,20	2,59	0,1076
Tempo	34	10885273,99	320155,12	20,74	0,0001
cimento*relação a/c	5	296012,54	59202,51	3,84	0,0018
Ciclo*relação a/c	2	758590,44	379295,22	24,57	0,0001
Relação a/c*material	2	522133,31	261066,65	16,91	0,0001
Relação a/c*tempo	58	1950866,83	33635,64	2,18	0,0001
Cimento *ciclo	3	303886,40	101295,47	6,56	0,0002
Cimento*material	1	27857,69	27857,69	1,80	0,1792
Cimento*tempo	71	4383083,94	61733,58	4,00	0,0001
Ciclo*material	1	40226,08	40226,08	2,61	0,1065
Ciclo*tempo	23	1320616,63	57418,11	3,72	0,0001
Material*tempo	34	610299,44	17949,98	1,16	0,2372

A Tabela 30 mostra todos os níveis das variáveis independentes consideradas com o tamanho das amostras, suas médias e desvios padrão. A grande evidência desta tabela é a diferença do tamanho das amostras entre os tipos de cimento, o que já havia sido considerado na análise descritiva apresentada no capítulo 4.

Tabela 30: Médias e Desvios padrão dos fatores envolvidos para a variável resposta Ecorr

Fatores	Níveis dos fatores	N	Média	Desvio Padrão
Tipo de cimento	1	4214	-252,47	167,72
	2	356	-462,17	224,01
	3	364	-343,27	200,55
	4	1347	-288,69	185,52
Ciclo de imersão e secagem	0	3664	-233,29	153,20
	1	2617	-339,12	205,71
Relação a/c	1	1872	-237,34	165,03
	2	1845	-222,15	157,67
	3	2564	-346,36	193,68
Adição de material	0	3674	-234,75	157,46
	1	2607	-337,47	202,27
Tempo	1	365	-91,96	107,47
	2	255	-200,19	158,66
	3	395	-289,62	179,55
	4	201	-247,44	183,23
	5	298	-232,05	190,96
	6	267	-264,48	183,09
	7	278	-218,98	176,23
	8	272	-268,04	182,29
	9	222	-216,36	164,83
	10	364	-248,27	178,59
	11	168	-288,16	168,67
	12	242	-270,18	169,63
	13	290	-320,41	197,13
	14	178	-337,50	194,13
	15	261	-358,27	183,56
	16	156	-344,42	166,25
	17	264	-364,34	151,88
	18	166	-347,38	171,61
	19	182	-360,27	141,68
	20	207	-375,87	173,81
	21	106	-348,63	180,06
	22	138	-387,75	189,33
	23	87	-370,71	187,81
	24	88	-357,41	193,39
	25	26	-292,50	167,79
	26	41	-241,06	117,69
	27	32	-226,23	136,95
	28	46	-275,68	147,23
	29	44	-236,88	121,20
	30	55	-232,63	133,15
	31	48	-247,65	130,25
	32	40	-270,66	138,59
	33	25	-292,07	160,75
	34	30	-265,47	145,82
	35	444	-264,69	170,40

Importante considerar, também na Tabela 30, que todos os níveis de variáveis foram contemplados com dados, o que anula a idéia de ausência de dados.

Para averiguar as diferenças entre os grupos foram realizados os teste de homogeneidade de Levene, Brown & Forsythe e Bartlett. Os três testes foram considerados significativos e comprovaram as diferenças entre as variáveis independentes (fatores) sendo os resultados conforme Tabela 31.

Tabela 31: Resultados dos três tipos de teste de homogeneidade

Teste	Resultado
Levene	F = 3,27
Brown & Forsythe	F = 3,90
Bartlett	Q ² = 2925,2

7.2 INTENSIDADE DE CORROSÃO (icorr)

A Tabela 32 mostra os resultados da ANOVA para os dados de intensidade de corrosão considerados no *banco de dados versão 4*, e nota-se uma significância, menor do que a encontrada nos resultados do Ecorr.

O coeficiente de determinação foi de 26,91%. Sendo assim entorno de 27% das variáveis independentes explicam o resultado da variável dependente icorr. Este valor representa a grande variabilidade dos dados e ainda que este ensaio faz um estudo pontual do processo corrosivo o que pode interferir na análise dos resultados. O Coeficiente de variação foi de 0,70 e a média da variável de 0,53.

Tabela 32: ANOVA para a variável dependente – resposta - Icorr

Variáveis	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Teste F	Valor p
Modelo	146	486,32	3,33	6,73	0,0001
Resíduos	2668	1320,43	0,49		
Total	2814	1806,76			

A Tabela 33 mostra a ANOVA para as variáveis independentes (fatores) que foram estudadas. A variável ciclo de imersão e secagem e não foi considerada significativa. Mesmo sabendo

que este ensaio tem como característica exibir a quantidade de material que sofreu oxidação em função do tempo, a variável ciclo de imersão e secagem é uma variável que interfere diretamente no processo corrosivo visto que para ocorrer corrosão de armaduras é necessário a presença de um agente agressivo, que no caso dos trabalhos analisados nesta tese é o íon cloreto. Portanto esta falta de significância nos dados, não é uma afirmação da falta de necessidade do uso de um método de indução de cloretos e sim da grande variabilidade dos dados coletados dos trabalhos. Acredita-se que esta variabilidade esteja ligada aos diferentes objetivos que cada pesquisa teve, provocando dados diversos.

As relações cimento*relação a/c, ciclo*tempo, material*tempo não foram consideradas significativas também pela ação da variabilidade dos dados.

As interações ciclo*relação a/c, cimento*ciclo e ciclo*material, não puderam ser calculadas em função da falta de repetição dos dados, desta maneira impossibilitando a soma quadrada, já que esta técnica de cálculo necessita no mínimo duas amostras de cada dado estudado. Esta análise comprova os resultados da análise descritiva, capítulo 4, que mostrou os estudos que faltam ser realizados para completar esta meta-análise.

Por exemplo, houve somente um dado nas seguintes combinações:

- CPIIF+com ciclo+a/c: 0,3-0,49+sem material+1-15 períodos
- CPIIF+com ciclo+a/c: 0,6-0,8+sem material+4 período
- CPIV+com ciclo+a/c: 0,6-0,8+sem material+01-08 períodos

Tabela 33: ANOVA para as variáveis independentes –fatores – para Icorr

Variáveis	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Teste F	Valor p
Tipo de cimento	2	26,29	13,14	26,57	0,0001
Ciclo de imersão e secagem	1	0,21	0,21	0,44	0,5059
Relação a/c	2	32,73	16,36	33,07	0,0001
Adição material	1	2,22	2,22	4,49	0,0342
Tempo	18	22,93	1,27	2,58	0,0003
Tipo de cimento*relação a/c	2	0,89	0,44	0,91	0,4046
<i>Ciclo*relação a/c</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
Relação a/c*material	2	12,88	6,44	13,01	0,0001
Relação a/c*tempo	32	42,09	1,31	2,66	0,0001
<i>Cimento *ciclo</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
Cimento*material	2	3,83	1,91	3,87	0,0209
Cimento*tempo	24	25,43	1,05	2,14	0,0010
<i>Ciclo*material</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
Ciclo*tempo	1	0,06	0,06	0,12	0,7272
Adição material*tempo	18	6,46	0,35	0,73	0,7876

A Tabela 34 mostra o baixo “n” para a variável sem ciclo de imersão e secagem, o que pode justificar a sua falta de significância na análise individual nas variáveis e também da necessidade do uso de uma técnica de indução de cloretos para que o processo corrosivo ocorra.

Também torna-se evidente a diferença do tamanho da amostra entre os tipos de cimento, onde o cimento com maior número de dados foi CPIIF-32 e para o intervalo da relação a/c (0,5-0,59). Importante também o fato de que o intervalo de relação a/c maior que 0,6 obtém um número significativamente maior que o primeiro intervalo, inferior a 0,49, importante para avanço das pesquisas para manutenção e reparo de estruturas.

Para a variável adição de material, a quantidade de dados com o uso de materiais pozolânicos foi 100% maior, mostrando a certeza dos pesquisadores da influência positiva do uso destes materiais em evitar patologias das estruturas e desta maneira da necessidade de estudar o efeito da adição para o processo corrosivo.

Em relação a variável tempo, todos os períodos foram contemplados com dados e assim comprovando a boa escolha deste banco de dados (versão 4) para uma análise com o menor número de falhas, sabendo-se das falhas nas interações das variáveis como relatadas anteriormente.

Tabela 34: Médias e Desvios padrão dos fatores envolvidos para a variável resposta icorr

Fatores	Níveis dos fatores	N	Média	Desvio Padrão
Tipo de cimento	1	2319	0,48	0,60
	2	175	0,47	0,90
	3	321	0,90	1,53
Ciclo de imersão e secagem	0	2807	0,53	0,80
	1	8	0,17	0,03
Relação a/c	1	71	0,19	0,85
	2	2056	0,41	0,41
	3	688	0,93	1,34
Adição de material	0	1981	0,56	0,80
	1	834	0,45	0,79
Tempo	1	221	0,57	1,29
	2	198	0,57	0,78
	3	233	0,68	1,12
	4	105	0,67	1,03
	5	152	0,65	0,94
	6	110	0,64	1,09
	7	145	0,75	1,26
	8	116	0,51	0,60
	9	114	0,38	0,34
	10	149	0,46	0,59
	11	74	0,44	0,48
	12	136	0,36	0,52
	13	108	0,39	0,39
	14	84	0,44	0,37
	15	101	0,58	0,69
	16	62	0,44	0,32
	17	85	0,54	0,41
	18	50	0,55	0,38
	19	572	0,45	0,45

Os resultados dos três testes de homogeneidade de Levene, Brown & Forsythe e Bartlett foram significativos ocorrendo diferença entre os fatores, conforme Tabela 35.

Tabela 35: Resultados dos três tipos de teste de homogeneidade

Teste	Resultado
Levene	F = 4,99
Brown & Forsythe	F = 6,77
Bartlett	Q ² = 3937,20

7.3 RESISTÊNCIA ÔHMICA (Rohm)

A Tabela 36 mostra que o resultado da ANOVA para a resistência ôhmica foi considerado significativo, ou seja, que existe diferença significativa entre os grupos. O coeficiente de determinação foi de 52,6% da variável dependente (resposta) é explicada pelas variáveis independentes (fatores), mas ainda assim há muitos dados que não são explicados e acredita-se que isto seja em função da grande variabilidade dos dados, já que estes foram extraídos de diversos trabalhos com diferentes objetivos de pesquisas. O coeficiente de variação foi determinado em 191,72 e média dos resultados deste ensaio em 3,41.

Tabela 36: ANOVA para a variável dependente – resposta - Rohm

Variáveis	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Teste F	Valor p
Modelo	432	148771,44	344,37	8,02	0,0001
Resíduo	3117	133899,17	42,95		
Total	3549	282670,62			

A Tabela 37 apresenta a ANOVA para as variáveis independentes (fatores) envolvidas e todas estas foram consideradas significativas, assim todos os fatores interferem no resultado estatístico desta técnica eletroquímica (Rohm).

As interações relação a/c*tempo, ciclo*material e material*tempo não foram significativas. Sendo a relação ciclo*material não significativa pelo baixo número de amostras, o que dificulta a análise estatística. As outras duas interações, acredita-se, que esta falta de significância seja em função do baixo número de amostras em algumas combinações.

Ressalta-se que todas as combinações apresentaram repetição, o que aumenta a confiabilidade no estudo.

Tabela 37: ANOVA para as variáveis independentes –fatores – para Rohm

Variáveis	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Teste F	Valor p
Tipo de cimento	2	10228,45	5114,22	119,05	0,0001
Ciclo de imersão e secagem	1	170,13	170,13	3,96	0,0467
Relação a/c	2	703,05	351,52	8,18	0,0003
Adição material	1	952,02	952,02	22,16	0,0001
Tempo	34	7996,89	235,20	5,48	0,0001
cimento*relação a/c	4	564,04	141,01	3,28	0,0108
Ciclo*relação a/c	2	2009,46	1004,73	23,39	0,0001
Relação a/c*material	2	330,56	165,28	3,85	0,0214
Relação a/c*tempo	54	2241,32	41,50	0,97	0,5451
Cimento *ciclo	2	1403,50	701,75	16,34	0,0001
Cimento*material	2	436,68	218,34	5,08	0,0063
Cimento*tempo	27	9652,17	357,48	8,32	0,0001
Ciclo*material	1	34,44	34,44	0,80	0,3706
Ciclo*tempo	18	4806,01	267,00	6,22	0,0001
Material*tempo	34	458,91	13,49	0,31	1,0000

Na Tabela 38 evidencia-se o grande número de resultados para o cimento CPIIF-32, diferenciando-o dos outros cimentos do estudo e também o alto desvio padrão encontrado nos resultados do cimento CPVARI, mostrando a grande variabilidade dos dados.

Esta discrepância também aparece na quantidade de dados com uso de ciclo de imersão e secagem e com uso de adições. O que comprova a direção dos objetivos das pesquisas em analisarem concretos com o uso do método indutivo de cloretos de ciclo de imersão e secagem e também avaliarem o uso de adições minerais no processo corrosivo.

O intervalo de relação a/c de 0,50 a 0,59 foi o que apresentou maior número de amostras, seguido de relações superiores a 0,6. Como já mencionado no capítulo 4, de análise descritiva, estudos com relações a/c superiores a 0,6 são extremamente importantes para avanço das tecnologias para manutenção e reparo de estruturas com maior tempo de construção, já que a NBR 6118 apenas em 2003 sugeriu o uso inferior a 0,6 em estruturas urbanas.

Tabela 38: Médias e Desvios padrão dos fatores envolvidos para a variável resposta Rohm

Fatores	Níveis dos fatores	N	Média	Desvio Padrão
Tipo de cimento	1	2700	1,55	2,22
	2	219	4,40	8,18
	3	631	11,06	18,17
Ciclo de imersão e secagem	0	2755	2,69	7,73
	1	795	5,93	11,84
Relação a/c	1	648	3,77	8,88
	2	1800	2,89	8,20
	3	1102	4,07	9,97
Adição de material	0	2825	3,40	9,01
	1	725	3,47	8,57
Tempo	1	301	7,02	13,50
	2	190	9,08	17,39
	3	255	4,94	10,48
	4	106	1,65	1,49
	5	177	1,98	1,61
	6	154	2,04	2,16
	7	190	5,35	12,69
	8	107	2,23	1,77
	9	146	2,57	1,91
	10	268	6,02	14,28
	11	100	1,10	1,22
	12	161	3,88	8,47
	13	165	1,19	1,30
	14	87	1,08	1,26
	15	121	0,79	1,09
	16	79	0,69	0,75
	17	121	0,52	0,61
	18	78	0,93	1,22
	19	113	2,05	4,80
	20	57	0,96	1,10
	21	56	9,64	15,71
	22	34	1,08	1,13
	23	29	1,23	1,28
	24	20	1,49	1,39
	25	42	1,00	0,97
	26	35	1,54	1,44
	27	43	1,16	1,14
	28	34	1,13	1,23
	29	40	1,18	1,20
	30	47	1,08	1,13
	31	33	1,14	1,39
	32	17	1,75	2,18
	33	30	1,22	1,50
	34	8	2,95	2,32
	35	106	2,72	4,79

Os testes de homogeneidade de Levene, Brown & Forsythe e Bartlett apresentaram os resultados da Tabela 39, confirmando a significância dos dados e a diferença entre as variáveis independentes (fatores).

Tabela 39: Resultados dos três tipos de teste de homogeneidade

Teste	Resultado
Levene	F = 4,99
Brown & Forsythe	F = 6,77
Bartlett	Q ² = 3937,20

Ainda sobre a utilização desta técnica eletroquímica (Rohm) é importante salientar que nos dias de hoje o grande uso da resistividade como ensaio in loco a partir de equipamentos adequados, como descrito no trabalho de Andrade (2010) e não mais como os estudos até então realizados com o uso de resistência ôhmica.

A análise de variância das técnicas eletroquímicas (Ecorr, icorr e Rohm) apresentou resultados satisfatórios vistos os coeficientes de determinação, mas principalmente por se tratar de grandes bancos de dados, onde diversos estudos por diferentes grupos de pesquisas foram considerados, sem terem técnicas padronizadas desde a concretagem dos corpos-de-prova até as leituras dos ensaios.

O potencial de corrosão (Ecorr) e resistência ôhmica (Rohm) apresentaram coeficientes de determinação superiores a 50% e demonstram o potencial do estudo e a confiabilidade do mesmo confirmando a qualidade dos dados obtidos até então no Brasil. A intensidade de corrosão (icorr) obteve R² de 26,9%, acredita-se que este baixo valor seja em função da grande variabilidade dos dados.

De qualquer maneira, os resultados por ANOVA foram considerados satisfatórios para as técnicas eletroquímicas em estudo.

8 ANÁLISE ESTATÍSTICA POR REGRESSÃO LINEAR

A outra técnica estatística utilizada para esta Meta-análise foi a Regressão linear, já mencionada no capítulo 3 e no projeto piloto (capítulo 5) desta tese. Ressalta-se que os testes apresentados neste capítulo foram realizados com o *banco de dados versão 4* e o nível de significância considerado no estudo foi de 5%.

A regressão linear é uma técnica estatística que procura uma relação ou equação que explique a variável dependente (resposta) através das variáveis independentes (fatores), maiores detalhes desta técnica estão expostos no capítulo 3.

8.1 POTENCIAL DE CORROSÃO (Ecorr)

O coeficiente de determinação, através da regressão linear, foi de 29,1%, não sendo um modelo com grande confiabilidade, visto que indica que 29,1% das variáveis independentes explicam através da equação gerada os dados da variável independente.

A Tabela 40 possui os coeficientes da equação linear e apenas o cimento aparece como uma variável não significativa. Este dado é baseado em uma análise estatística, fazendo uma ligação com a realidade das estruturas é uma afirmação que não pode ser considerada, visto que o tipo de cimento interfere diretamente no processo corrosivo. Acredita-se que esta falta de significância seja em função da grande variabilidade dos dados obtido, já que estes dados são a união de diversos trabalhos desenvolvidos com diferentes objetivos de pesquisa.

Tabela 40: Coeficientes da regressão linear para Ecorr

Variável	Coefficiente angular	Erro padrão	t	Significância
Constante	61,40	7,92	7,75	0,00
Tipo de cimento	0,97	1,81	0,53	0,59
Ciclo de imersão e secagem	-87,94	4,93	-17,82	0,00
Relação a/c	-87,46	2,51	-34,80	0,00
Adição material	-92,34	5,20	-17,74	0,00
Tempo	-6,02	0,21	-27,48	0,00

A Tabela 41 possui as correlações entre as variáveis através de Pearson e do nível de significância. Como já mencionado, o coeficiente de correlação de Pearson mostra a intensidade da relação linear entre as duas variáveis estudadas. A relação material*tempo foi considerada não significativa através desta análise e possivelmente em função da falta de combinações entre estas variáveis.

Tabela 41: Correlações entre as variáveis para Ecorr

		Tipo de cimento	Ciclo	Relação a/c	Adição material	Tempo	Ecorr
Tipo cimento	Correlação de Pearson	1	0,24	-0,26	0,42	0,19	-0,11
	Significância		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ciclo	Correlação de Pearson	0,24	1	-0,05	0,55	-0,21	-0,28
	Significância	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
Relação a/c	Correlação de Pearson	-0,26	-0,05	1	-0,22	-0,21	-0,26
	Significância	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Adição material	Correlação de Pearson	0,42	0,55	-0,22	1	-0,03	-0,27
	Significância	0,00	0,00	0,00		0,01	0,00
Tempo	Correlação de Pearson	0,19	-0,21	-0,21	-0,03	1	-0,17
	Significância	0,00	0,00	0,00	0,01		0,00
Ecorr	Correlação de Pearson	-0,11	-0,28	-0,26	-0,27	-0,17	1
	Significância	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

8.1.1 Análise estatística dos dados sem resíduos

Relembrando o conceito já mencionado no capítulo 3, “*os resíduos representam a diferença entre o valor observado de y e o que foi predito pelo modelo de regressão*” e estes dados classificados como resíduos foram excluídos e realizada uma nova análise estatística.

O resultado do R^2 continuou muito próximo ao obtido na análise com todos os dados, foi de 31,1%. Dentre as variáveis independentes a variável tipo de cimento continuou sendo considerada não significativa.

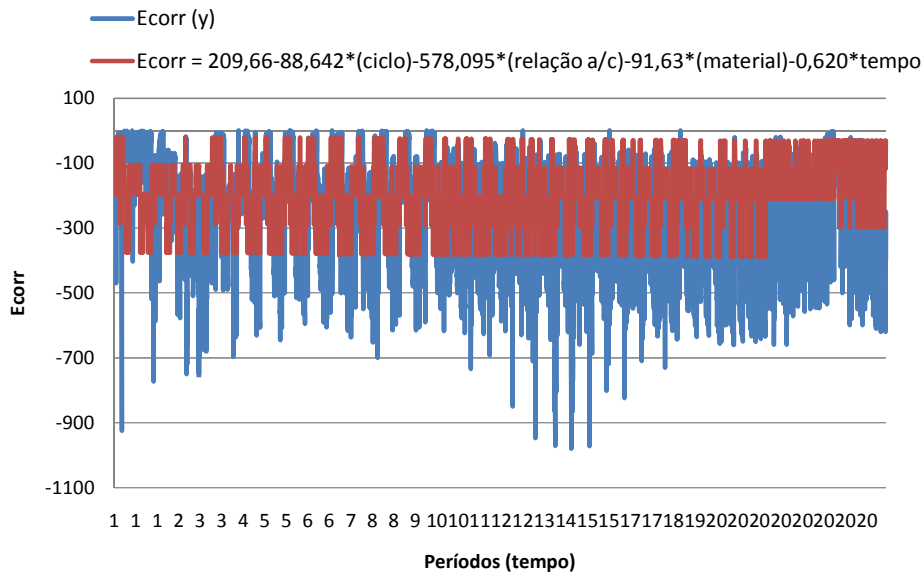
8.1.2 Análise estatística dos dados sem a variável não significativa

Ao realizar um estudo sem a variável que não foi considerada significativa, tipo de cimento e também sem os resíduos gerados, o valor de coeficiente de determinação encontrado foi de $R^2 = 29,1\%$.

Concluindo que, mesmo com diferentes tentativas de análises (sem resíduos e sem a variável não significativa) o parâmetro utilizado de comparação (R^2) manteve-se muito similar e sem necessidade de utilizar modelagens sem ser com o banco de dados total.

Apenas para efeito de comparação visual dos dados, a Figura 36 apresenta os dados reais e os dados sem a variável tipo de cimento e sem resíduos. A partir da Figura é possível notar a diferença entre os dados, porém uma similaridade de comportamento.

Um fato interessante de comparar é as variáveis não significativas entre as duas técnicas estatísticas utilizadas nesta meta-análise para Ecorr. Por ANOVA, Ecorr não teve significativo adição de materiais, enquanto que por regressão foi tipo de cimento. O que comprova a diferença entre as técnicas escolhidas que fazem análises diferentes apesar de utilizarem o mesmo coeficiente de comparação, R^2 .



F

figura 36 – Ecorr x períodos

8.2 INTENSIDADE DE CORROSÃO (icorr)

O coeficiente de determinação, em função da regressão linear, foi de 8,5% para intensidade de corrosão. O que torna o resultado sem credibilidade, em função de menos de 10% dos resultados serem explicados pela relação entre as variáveis dependentes e independentes (tipo de cimento, relação a/c, ciclo de imersão e secagem, adição de materiais e tempo). Porém esta falta de credibilidade pode ser em função da grande variabilidade dos dados, ou ainda, pela falta de padronização dos ensaios realizados pelos diversos grupos de pesquisas nacionais.

Na Tabela 42, as variáveis independentes (fatores) tipo de cimento, ciclo de imersão e secagem e tempo não foram significativas. Este resultado é contrário as certezas já obtidas pelos pesquisadores da área de corrosão de armaduras por ação de íons cloretos, já que, pelo próprio nome de classificação da área, para acontecer a corrosão de armaduras há a necessidade de haver íons cloretos no concreto e para que ocorra isso, em laboratório, utiliza-se algum método de indução de cloretos, neste caso ciclo de imersão e secagem.

Também, como já mencionado no ítem anterior, o tipo de cimento interfere diretamente no processo corrosivo, portanto esta falta de significância é em função dos dados coletados e não como uma certeza da variável não interferir na corrosão.

Acredita-se que estas variáveis sem significância sejam em função da variabilidade dos dados

coletados, pois cada pesquisa tinha uma meta de estudo diferente o que proporciona, muitas vezes, variáveis que interferem no resultado final do uso da técnica eletroquímica, tais como: temperatura, umidade, mão-de-obra de execução dos cps, etc.

Já a falta de significância da variável tempo é de melhor entendimento entre a estatística e a realidade das estruturas, visto que o ensaio de intensidade de corrosão faz um estudo pontual do processo corrosivo, desta maneira define se há ou não naquela armadura degradação por corrosão.

Tabela 42: Coeficientes da regressão linear para Icorr

Variável	Coeficiente angular	Erro padrão	t	Significância
Constante	-0,44	0,07	-5,71	0,00
Tipo de cimento	0,04	0,02	1,69	0,09
Ciclo de imersão e secagem	-0,22	0,27	-0,80	0,42
Relação a/c	0,44	0,03	13,48	0,00
Adição material	-0,08	0,03	-2,64	0,01
Tempo	-0,00	0,00	-1,59	0,11

A Tabela 43 mostra as correlações entre as variáveis através do coeficiente de Pearson e do nível de significância entre icorr e as variáveis independentes. Nesta análise apenas o fator ciclo de imersão e secagem manteve-se sem significância. O que, como já descrito, não é uma situação a ser considerada fora de uma avaliação estatística pela necessidade da presença de íons cloreto para que ocorra a corrosão.

Tabela 43: Correlações entre as variáveis

		Tipo de cimento	Ciclo	Relação a/c	Adição material
Tipo cimento	Correlação de Pearson	1	-0,02	0,38	-0,08
	Significância		0,21	0,00	0,00
Ciclo	Correlação de Pearson	-0,02	1	-0,02	0,08
	Significância	0,21		0,18	0,00
Relação a/c	Correlação de Pearson	0,38	-0,02	1	-0,01
	Significância	0,00	0,18		0,42
Adição material	Correlação de Pearson	-0,08	0,08	-0,01	1
	Significância	0,00	0,00	0,42	
Tempo	Correlação de Pearson	-0,35	-0,07	-,134	0,14
	Significância	0,00	0,00	0,00	0,00
Icorr	Correlação de Pearson	0,15	-0,02	0,28	-0,06
	Significância	0,00	0,21	0,00	0,00

8.2.1 Análise estatística dos dados sem resíduos

Estes dados foram analisados retirando os resíduos, porém o valor do R^2 continuou muito baixo $R^2 = 10,2\%$.

8.2.2 Análise estatística dos dados sem a variável não significativa

A análise dos dados retirando as variáveis que não foram significativas (tipo de cimento, ciclo de imersão e secagem e tempo) em ambos os estudos dos dados, com e sem resíduos, obtiveram valores de coeficiente de determinação inferiores a 9%.

Em função destes dados serem baixo optou-se por não plotar os dados com as equações que foram geradas. Acredita-se que com o aumento das pesquisas com o ensaios de intensidade de corrosão e assim ampliando o banco de dados deste ensaio o modelo gerado por regressão linear deve ser bem mais confiável.

Da mesma maneira que foi feita a comparação entre as variáveis não significativas para as duas técnicas desta meta-análise para Ecorr, avaliamos para icorr. Por ANOVA apenas a

variável ciclo de imersão e secagem foi não significativa, enquanto por regressão além do ciclo de imersão e secagem, o tipo de cimento e tempo também foram considerados. Importante salientar que a técnica de regressão linear diagnosticou tanto para Ecorr quanto para icorr a falta de significância para o tipo de cimento, que como já foi discutido, é uma conclusão inviável com a realidade do processo corrosivo.

8.3 RESISTÊNCIA ÔHMICA (Rohm)

O coeficiente de determinação para a resistência ôhmica foi de 18,5%, este valor é considerado, dentro da Engenharia, baixo para credibilidade em modelos, contudo deve-se pensar que se trata de uma Meta-análise, onde é comum a ocorrência destas situações, pois se trata de estudos com grande dimensões de dados, e estes dados com muita variabilidade.

A significância das variáveis só não foi comprovada para adição de material (Tabela 44) o que é uma conclusão discutível em virtude da adição de pozolanas em concretos melhorarem a durabilidade dos concretos e desta maneira influenciarem na patologia em questão. Acredita-se que esta falta de significância seja em função dos dados serem coletados de muitos trabalhos e desta maneira terem uma boa variabilidade. A Tabela 44 também aparece a falta de significância da constante da equação.

Tabela 44: Coeficientes da regressão linear para Rohm

Variável	Coeficiente angular	Erro padrão	t	Significância
Constante	0,29	0,56	0,52	0,59
Tipo de cimento	4,69	0,18	25,22	0,00
Ciclo de imersão e secagem	1,87	0,33	5,64	0,00
Relação a/c	-1,40	0,20	-6,80	0,00
Adição material	-0,62	0,33	-1,85	0,06
Tempo	-0,06	0,01	-4,37	0,00

A Tabela 45, mostra a correlação entre as variáveis pelo coeficiente de Pearson e nível de significância. A falta de significância apareceu entre diversas variáveis, ressalta-se Rohm com relação a/c e adição de material.

Tabela 45: Correlações entre as variáveis para Rohm

		Tipo de cimento	Ciclo	Rel. a/c	Adição material	Tempo	Rohm
Tipo cimento	Correlação de Pearson	1	0,13	0,27	0,04	-0,22	0,40
	Significância		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ciclo	Correlação de Pearson	0,13	1	0,02	0,06	-0,19	0,15
	Significância	0,00		0,12	0,00	0,00	0,00
Relação a/c	Correlação de Pearson	0,27	0,02	1	-0,03	-0,21	0,02
	Significância	0,00	0,12		0,02	0,00	0,18
Adição material	Correlação de Pearson	0,04	0,06	-0,03	1	-0,01	0,00
	Significância	0,00	0,00	0,027		0,29	0,85
Tempo	Correlação de Pearson	-0,22	-0,19	-0,21	-0,01	1	-0,15
	Significância	0,00	0,00	0,00	0,29		0,00
Rohm	Correlação de Pearson	0,40	0,15	0,02	0,00	-0,15	1
	Significância	0,00	0,00	0,18	0,85	0,00	

8.3.1 Análise estatística dos dados sem resíduos

O banco de dados versão 4, após primeira análise e identificado so resíduos, foi analisado sem os resíduos. O coeficiente de determinação foi calculado em $R^2 = 17,1\%$, ou seja inferior ao obtido com o banco de dados total.

8.3.2 Análise estatística dos dados sem a variável não significativa

Ao realizar análise estatística retirando a variável adição de material, que foi considerada não significativa e os resíduos os valores de coeficiente de determinação permaneceram no mesmo nível já obtido

Como a técnica eletroquímica anterior, icorr, os dados gerados não foram plotados para Rohm em função dos seus baixos valores do coeficiente de determinação.

O uso da técnica estatística de regressão linear para este estudo de Meta-análise não foi considerado satisfatório em função do baixo coeficiente de determinação para as três técnicas eletroquímicas em estudo: potencial de corrosão (E_{corr}) com 29%, intensidade de corrosão (icorr) com 8,5% e resistência ôhmica com 18,5 %. Diversos fatores podem justificar estes valores baixos do R^2 principalmente a grande variabilidade dos dados.

Também cabe salientar que este dados poderia ter resultados melhores se fossem

modelados por uma regressão não linear, por umas das diversas funções utilizadas, tipo: múltipla, potencial, exponencial ou logarítmica. Lembra-se que o uso da regressão linear nesta Meta-análise foi por sugestão do departamento de estatística da UFRGS por não sabermos o seu comportamento, porém a partir desta tese poderiam ser realizados novas tentativas com outros modelos.

Porém para eliminar qualquer dúvida, quanto a possibilidade de outro fator estar interferindo na análise por regressão linear, foi realizado uma avaliação estatística com o **banco de dados versão 5**. Este banco elimina as combinações sem repetições e utiliza os pontos médios dos intervalos de relação água/cimento e também o uso de diferente codificação para a variável independente (fator) tempo para 10, 20, 30 ao invés de 1, 2, 3, por exemplo.

8.4 REGRESSÃO LINEAR PARA O BANCO DE DADOS VERSÃO 5

A regressão linear com a utilização do **banco de dados versão 5** foi realizada para Ecorr, icorr e Rohm. As análises foram feitas em três diferentes formatos:

- com o banco de dados completos com e sem resíduos,
- com a exclusão das variáveis que não foram significativas e
- com a tentativa de modelar com os tipos de cimentos separados, ou seja para cada tipo de cimento uma equação.

A partir destas análises as seguintes verificações foram possíveis:

1. Potencial de corrosão (Ecorr): a análise do banco de dados completo manteve R^2 muito próximo ao obtido para o banco de dados versão 4, mesmo fazendo análise sem resíduos. A exclusão das variáveis manteve ou até mesmo reduziu o efeito do coeficiente de determinação. Já as equações por tipo de cimento apresentaram bons resultados e serão apresentados detalhadamente no próximo item;
2. Intensidade de corrosão (icorr): este estudo apresentou um pequeno acréscimo no valor do coeficiente de determinação, porém sem grande significado. As análises com exclusão de variáveis ou modelando por tipo de cimento também não apresentaram resultados distintos daqueles obtidos para o

banco de dados versão 4, concluindo a falta de confiabilidade desta análise por regressão linear. Acredita-se que a técnica de análise de variância, mesmo tendo outro objetivo que a regressão linear, ou seja, sem terem relação, é a melhor escolha para analisar os dados de icorr;

3. Resistência ôhmica (Rohm): esta análise, como o Icorr, também não apresentou melhora nos resultados para o R^2 , tendo os dados mantendo-se muito similares aos dados da quarta tentativa do banco de dados, obtendo dados inferiores.

8.4.1 Potencial de corrosão - Ecorr

Este estudo de regressão linear para Ecorr com o banco de dados versão 5 apresentou resultados interessantes para as equações por tipo de cimento, como relatado anteriormente.

As possibilidades de modelagem e os resultados do coeficiente de determinação estão na Tabela 46, os dados estão apresentados com e sem a exclusão dos resíduos. Ambas as análises foram consideradas significativas, ou seja, havia diferença significativa entre os grupos.

Tabela 46: Regressão linear em função do tipo de cimento x R^2 – com resíduos

Tipo de cimento	R^2 com resíduos	R^2 sem resíduos
CPII-F	23,20	23,90
CPII-E	26,80	26,80
CPIV	68,50	82,70
CPV-ARI	36,00	39,20

A partir destes resultados, da Tabela 46, optou-se por realizar uma análise isolado do cimento CPIV, pois foi o que apresentou melhor resultado através do coeficiente de determinação.

8.4.1.1 Modelagem para o cimento CPIV

O cimento CPIV apresentou resultados muito bons para Ecorr o que indica a confiabilidade do modelo. A Tabela 47 possui os coeficientes da regressão para os dados com resíduos.

Nesta análise a variável independente (fator) ciclo de imersão e secagem não foi considerada significativa, diferente da análise anterior (banco de dados versão 4) onde o fator não

significativo foi o tipo de cimento. Como já discutido, a variável ciclo de imersão e secagem é um método de indução de cloretos que são vitais para a existência do processo corrosivo. Desta maneira essa falta de significância deve-se a variabilidade dos dados.

Tabela 47: Coeficientes da regressão linear para Ecorr cimento CPIV

Variável	Coeficiente angular	Erro padrão	t	Significância
Constante	252,04	32,06	7,85	0,00
Ciclo de imersão e secagem	27,34	24,86	1,09	0,27
Relação a/c	-1104,24	40,06	-27,55	0,00
Adição material	-0,41	0,09	-4,60	0,00
Tempo	252,04	32,06	7,85	0,00

8.4.1.1.1 Modelagem para o cimento CPIV sem resíduos

A Tabela 48 apresenta o resultado da análise dos dados após retirada dos resíduos. Na tentativa com resíduos, a variável independente (fator) ciclo de imersão e secagem não foi considerada significativa e desta vez, além desta variável, a variável adição de material também não foi considerada.

Tabela 48: Coeficientes da regressão linear para Ecorr cimento CPIV sem resíduos

Variável	Coeficiente angular	Erro padrão	t	Significância
Constante	278,83	23,59	11,81	0,00
Ciclo de imersão e secagem	6,02	18,51	0,32	0,74
Relação a/c	-1212,21	29,74	-40,75	0,00
Adição material	-0,10	0,07	-1,50	0,13
Tempo	278,83	23,59	11,82	0,00

8.4.1.1.2 Modelagem para o cimento CPIV sem variáveis não significativas

Os dados foram submetidos a nova análise sem as variáveis independentes (fatores) ciclo de imersão e secagem e adição material, fatores estes não significativos, porém o valor do coeficiente de determinação continuou o mesmo, comprovando a falta de interação destas

variáveis no processo.

Nesta nova análise, sem estas variáveis, o tempo foi considerado não significativo também. O modelo gerado para esta análise é apresentado na equação 5.

$$E_{\text{corr}} = 275,53 - 1106,35 * (\text{relação a/c}) - 0,38 * \text{tempo}$$

Eq 5

Ao realizar uma análise sem resíduos e sem o fator tempo obteve-se uma equação para o potencial de corrosão em função apenas da relação água/cimento, conforme equação 6 a seguir:

$$E_{\text{corr}} = 273,54 - 1214,35 * (\text{relação a/c})$$

Eq 6

Sabe-se da falta das outras variáveis independentes (fatores) no processo do potencial de corrosão, pois os fatores são de vital importância na realidade do processo corrosivo por íons cloreto nas estruturas de concreto armado. Portanto estes modelos (equações 5 e 6) são modelos com alta confiabilidade, porém com baixa relação com a real situação das estruturas. Desta maneira acredita-se que o modelo com todos os fatores, mesmo aparecendo a falta de significância em parte deles e com um valor de coeficiente de determinação inferior é um modelo mais relacionado com a realidade das estruturas de concreto armado.

Com intuito de realizar um análise visual de quanto se “perde” ou a quantidade de dados que retira-se com a exclusão de resíduos e de variáveis foram plotadas as Figuras 37, 38 e 39 com a relação E_{corr} x relação a/c, a escolha desta interação foi em função da variável relação a/c ter ser mantido significativa em todas as análises.

A Figura 37 apresenta os dados de potencial de corrosão puros, ou seja com todas as variáveis interferindo.

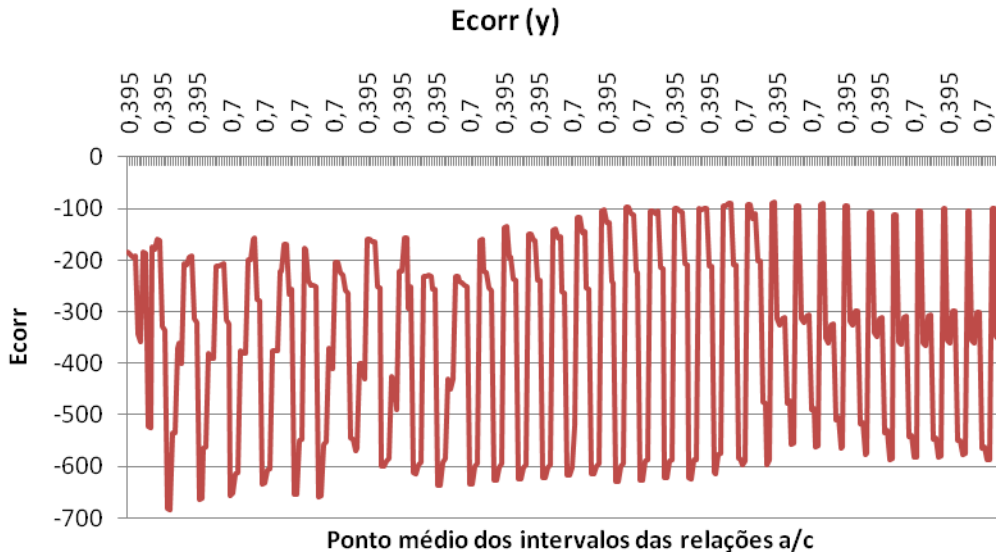


Figura 37 – Ecorr x relação a/c: dados com todas as variáveis independentes

A Figura 38 possui o gráfico da relação Ecorr x relação a/c com os dados obtidos da equação 5, onde as variáveis relação a/c e tempo são significativas. Enquanto que a Figura 39 é a relação Ecorr x relação a/c com dados da equação 6, onde somente a relação a/c tem efeito sobre o potencial de corrosão.

Mantendo a mesma escala nos três gráficos é possível observar que o comportamento do potencial de corrosão para o cimento CPIV possui uma tendência muito semelhante nos três gráficos. Porém a Figura 38 apresenta dados constantes, que comprovam a retirada dos resíduos e a Figura 39 já apresenta dados que não são próximo a -100, pois a Figura 37 apresenta muitos dados iguais ou inferiores a este valor.

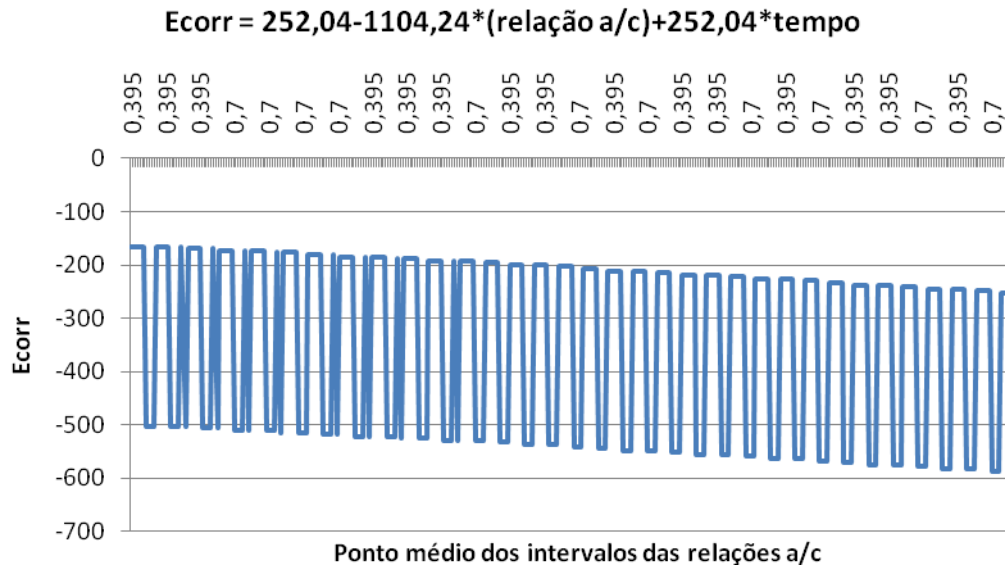


Figura 38 – Ecorr x relação a/c: dados baseados na equação 4

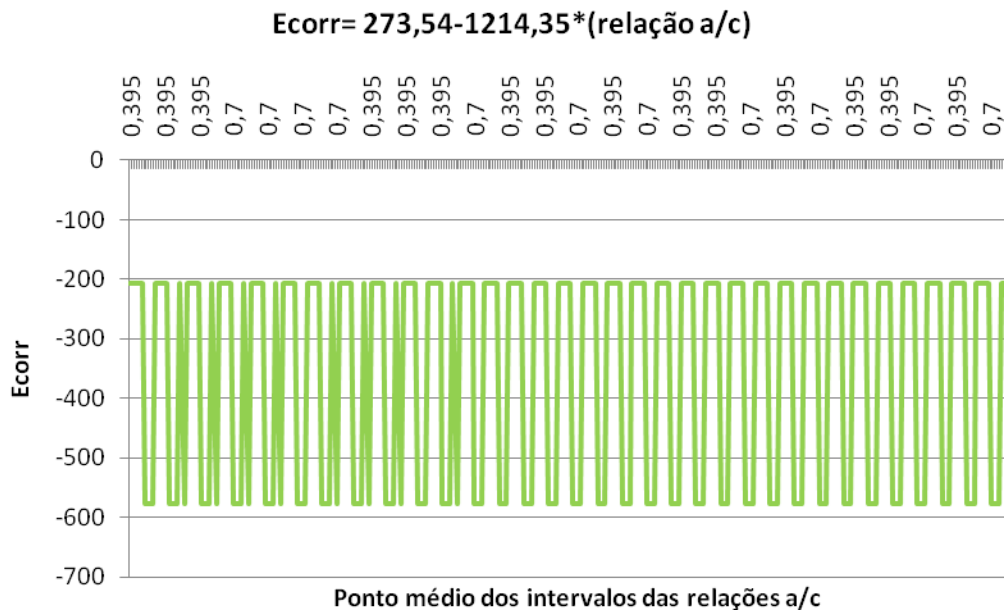


Figura 39 – Ecorr x relação a/c: dados baseados na equação 5

As conclusões desta tese estão apresentadas no próximo capítulo.

9 CONCLUSÕES

A partir das análises feitas nesta tese, com uso de abordagens estatísticas para efetuar uma análise descritiva e uma meta-análise por ANOVA e por Regressão linear de dados obtidos de trabalhos de tese e dissertação desenvolvidos pelos principais grupos de pesquisa do Brasil atuantes na área de corrosão de estruturas de concreto armado, é possível concluir:

1. A análise descritiva mostra que os Grupos de Pesquisa em Corrosão no país estão em expansão, a partir de esforços seminais do Professor Paulo Helene, da USP, que direta ou indiretamente participou na formação e inspiração dos demais grupos brasileiros;
2. A expansão de Grupos de Pesquisa com atuação na área de corrosão de estruturas de concreto armado tem incrementado fortemente o número de pesquisas desenvolvidas, mas as mesmas não estão articuladas e não existe uma estratégia nacional para o avanço na área;
3. Os trabalhos usam métodos de ensaio semelhantes, envolvendo principalmente a medição do potencial de corrosão (E_{corr}), intensidade de corrosão (i_{corr}) e resistência ôhmica (R_{ohm}), porém falta padronizar a metodologia de ensaio e os tempos de monitoramento e de medição, para que se possa obter resultados comparáveis;
4. As pesquisas seguem, em linhas gerais, as normas brasileiras para ensaios de resistência à compressão, resistência à tração, absorção por imersão e por capilaridade, módulo de deformação e índice de vazios, o que torna os resultados mais comparáveis;
5. As pesquisas não padronizam condições de ensaio importantes tais como as dimensões de corpos-de-prova; a forma, dimensão e posição da armadura; e a espessura de revestimento;

6. A forma de indução da corrosão também é variável. Alguns trabalhos esparsos usam ciclos de imersão e secagem e outros incorporam o cloreto na massa. A maioria dos trabalhos usa a indução por imersão em solução de cloretos, mas não existe padronização de teores de cloretos da solução, temperatura ou nível da solução. Não existem estudos para comparar os efeitos de diferentes estratégias de indução, o que permitiria correlacionar dados;
7. Como esperado, vários cimentos são utilizados nos estudos, conforme a região do país. Existem, todavia, poucos estudos com cimentos brancos, em função de ser um tipo de cimento pouco utilizado;
8. Muitos trabalhos não registram os dados individuais de medições no texto principal ou em anexos, apresentando apenas dados médios ou gráficos, o que prejudica qualquer esforço posterior de modelagem ou meta-análise;
9. Muitos trabalhos são semelhantes, usando condições e variáveis similares, o que caracteriza uma repetição de esforços. Embora confirmações independentes de variáveis sejam válidas, em função do desenvolvimento na área, pode ser interessante articular estudos para que se pudesse investigar mais rapidamente uma gama maior de variáveis. A superposição de trabalhos, sem comparação dos dados gerados, indica falta de interação entre os grupos de pesquisas nacionais para direcionar as pesquisas sobre corrosão;
10. Diversas variáveis que já foram consideradas significativas em vários trabalhos individuais, não resultaram de tal forma na meta-análise desenvolvida nesta pesquisa, o que indica que os ruídos devido às diferenças de programas e estratégias experimentais prejudicam muito as análises mais amplas do fenômeno;
11. Observa-se uma grande variabilidade dos dados devido à falta de padronização dos ensaios e dos fatores controlados, o que acarreta um grande desperdício financeiro e de conhecimento;
12. Uso da técnica estatística ANOVA se mostrou uma ferramenta interessante para esta meta-análise, visto os bons resultados encontrados. Também seu uso foi muito útil para que se possa entender a realidade da pesquisa sobre corrosão de estruturas de concreto armado no Brasil.

13. O uso da técnica estatística de regressão linear não foi considerado adequado para esta meta-análise em função dos baixos valores encontrados para o coeficiente de determinação. Porém acredita-se que se forem realizadas novas análises com funções não lineares os resultados deverão ser melhores em função da grande variabilidade dos dados coletados nos trabalhos de teses e dissertações.

A partir da avaliação descritiva e estatística das pesquisas já realizadas foi possível identificar quais estudos ainda são necessários. A Tabela 49 é uma síntese deste trabalhos que faltam para completar esta rede de estudos de corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado por ação de íons cloretos.

Tabela 49: Trabalhos que faltam ser realizados na área de corrosão de armaduras por ação de íons cloretos

Tipo de ensaio	Tipo de cimento	Indução de cloretos	Relação a/c	Adição material
Ecorr	CPII-F	Sem ciclos	< 0,5	CCA, CV, SA, EAF e Metacaulim
			> 0,6	
		Com ciclos	< 0,4	
			> 0,65	
	CPII-E	Com e sem ciclo	0,5 > x > 0,59	EAF e Metacaulim
CPIV				
CPV-ARI				
Icorr	CPII-E	Sem ciclo	>0,55 e < 0,55	CV, SA, EAF e Metacaulim
	CPIV			
	CPV-ARI	Com e sem ciclo	>0,65 e <0,65	CCA, CV, SA e Metacaulim
	CPII-F	Sem ciclo	>0,55 e < 0,55	CCA, CV, SA, EAF e Metacaulim
		>0,7 e < 0,6	Sem adição	
Rohm	CPII-E	Com e sem ciclo	0,3 > x > 0,80	CCA, CV, SA, EAF, Metacaulim e sem adição
	CPIV			
	CPII-F	Sem ciclo		

Neste ponto do estudo cabe uma discussão sobre a real necessidade de completar esse banco de dados, pois com algumas pesquisas realizadas já teríamos a possibilidade de modelar equações que responderiam com melhor precisão o efeito da corrosão por íons cloretos.

Acredita-se que os estudos que envolvem ciclo de imersão e secagem e relações a/c entre 0,5 e 0,59 deveriam ser realizados, pois desta maneira estaríamos completando um conhecimento sobre o real efeito da corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado, e o estudo destas variáveis em conjunto definem o efeito dos íons cloreto e a faixa de relação a/c sugerida pela NBR 6118/2003 em ambiente urbano. Também acha-se necessário a variável adição de material estar incorporada nestes estudos para verificar a eficiência do uso destes materiais na redução do aparecimento desta patologia.

Também acha-se importante que estudos com relações a/c superiores a 0,6 com ciclo de imersão e secagem são importantes para o avanço das técnicas de recuperação e manutenção das estruturas de concreto armado. Achando desnecessário, nestas pesquisas, estudos com adições pozolânicas, em função de que as estruturas mais antigas não fizeram uso destes materiais.

Além disso as pesquisas sem ciclo de imersão e secagem não são necessárias para completar este quadro nacional, visto que a necessidade é a presença de íons cloretos. Porém seria interessante novos estudos com outros métodos de indução de cloretos, principalmente a incorporação de cloretos na massa do concreto.

9.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

1. Uma meta-análise com uso da técnica de regressão porém com funções não lineares;
2. Estudos com outras técnicas estatísticas através do mesmo banco de dados;
3. Realização de um mesmo estudo, com mesmo objetivo em diversas regiões do Brasil no mesmo período de tempo para fins de comparação dos dados obtidos pela técnicas eletroquímicas;
4. Realizar um protocolo de ensaios eletroquímicos, onde as variáveis a serem definidas fossem a partir de que a metodologia depende do objetivo do estudo porém todas as pesquisas teriam alguns parâmetros sempre iguais para fins de comparação de dados;

Este protocolo sugerido deveria ser realizado após uma ampla discussão entre os líderes dos grupos de pesquisas da área e estabelecidos quais parâmetros seriam definidos como padrão

de comparação.

Sugestões de parâmetros:

1. Faixas de relações água/cimento;
2. Uso de métodos de indução de cloretos com igual quantidade de cloretos;
3. Tempos de leituras serem padronizados;
4. Desenvolver uma rotina para realização das técnicas eletroquímicas com finalidade de evitar possíveis ruídos de concretagem e preparação de ensaio.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. G. **Efeito das Adições Minerais na Resistividade Elétrica de Concretos Convencionais**. Porto Alegre-RS, 1998. 129 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AHMAD, S. Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction – a review. **Cement & Concrete Composites**, Vol. 25, 2003, p. 459-471.

AL-AMOUDI OSB. **Studies on the evaluation of permeability and corrosion resisting characteristics of portland pozzolan concretes**. M.S. Thesis, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran; 1985.

ALMEIDA, A., ELIAN S., NOBRE J. Modificações e alternativas aos testes de Levene e de Brown e Forsythe. **Revista Colombiana de Estadística** 31 (2008) 241–260

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 222. **ACI manual of concrete practice**. Detroit, 1991. V.1: corrosion of metals in concrete.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Committee 22RR-01: Corrosion of Metals In Concrete**, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of ASTM Standards. Standard test for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. **ASTM C876**, Philadelphia, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of ASTM Standards. Standard Method for field measurement of soil resistivity using the Wenner four-electrode method. **ASTM G57**, Philadelphia, 1984.

ANDRADE, C. Types of Models of Service Life of Reinforcement: The Case of the

Resistivity. **Concrete Research Letters**. Vol 1. 2010.

ANDRADE, C. ; GONZALES, J.A. **Tendências actuales em la investigación sobre corrosion de armaduras**. Informes de La Construcción. V. 40, n. 398, p. 7-14, 1988.

ANDRADE, C.; ALONSO, C. **Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site**. Construction and Building Materials, vol. 10. n. 5, p. 315-328, 1996.

ANDRADE, J. J. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Porto Alegre-RS, 1997. 148 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ARANHA, P. M. S. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica**. Porto Alegre-RS, 1994. 120 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica: **NBR 9778**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto: ensaio de Compressão de corpos de prova de concreto – Método de ensaio. **NBR 5739**. Rio de Janeiro, 2007. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.. Projeto e Execução de obras de concreto Armado - Procedimento. **NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2003.

AZEVEDO, C. S. **Contribuição das adições minerais para a resistência à corrosão da armadura do concreto**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

BAKKER, R.F.M. **Initiation Period. Corrosion of Steel in Concrete; State of the Art Report**. Cap. 3, RILEM TC60-CSC, Editor Peter Schiessl, Ed. Chapman & Hall, p. 22-54, 1988.

BARATA, M. S.. **Concreto de alto desempenho no Pará: estudo da viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém e através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim**. Porto Alegre, 1998.

153p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BARRETO LUIZ, A. J. **Meta-Análise: Definição, Aplicações e Sinergia com Dados Espaciais.** *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v.19, n. 3, p.407-428, set./de

BARROS, P. G. S. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito.** Maceió, 2008. 101 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil : Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2008.

BASILIO, F. A. **Durabilidade do concreto em água do mar.** In: DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO, São Paulo, 1972. Anais. São Paulo, s.ed.,. p. 111. 1972.

BASTOS, E. J. O. **Propedêutica para o Estudo da Corosão de Armaduras em Estruturas de Concreto.** 2005. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

BAUER, E. **Avaliação da influência da adição de escória de alto-forno na corrosão das armaduras através de técnicas eletroquímicas.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BEEBY, A.W. **Corrosion of reinforcement and cracks width.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OFFSHORE STRUCTURES, Rio de Janeiro, 1978. Proceedings. London, Pentech Press, 1978. p. 147-59

BICZÓK, I. **Corrosion y proteccion del hormigon.** Trad. Emilio J. Dócon Asensi. Bilbao, Ediciones Urmo, 1972.

BOHNI, H. **Corrosion in reinforced concrete structures.** Cambride = Woodhead, 248 p. 2005.

BOLINA, C. C. **INIBIDORES DE CORROSÃO: Avaliação do desempenho frente a corrosão do aço induzida por carbonatação e cloretos.** 2008. 173 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás.

BRAUN, V. **Influência das condições de moldagem e cura nas características do concreto de cobrimento de diversos concretos.** 2003. 204 f. Dissertação de mestrado – Curso de

Mestrado da Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

BRETANHA, S. S. F. **Variação do grau de saturação do concreto em ambiente marítimo.** Rio Grande, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), FURG – Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

BRITO, P. C. **Avaliação da durabilidade de uma plataforma offshore de concreto: estudo de microclima em ambiente marinho.** 2008.148 p. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2008.

BROWN, M. B. & FORSYTHE, A. B. (1974a), ‘The Small Sample Behavior of Some Statistics which Test the Equality of Several Means’, **Technometrics** 16, 129–132.

CABRAL, A. E. B.; **Avaliação da Eficiência de Sistemas de Reparo no Combate à Iniciação e à Propagação da Corrosão do Aço Induzida por Cloretos.** Porto Alegre – RS, 2000. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CALÇADA, L. M. L. **Estudo da eficácia do ensaio de migração em condições de fluxo não estacionário na previsão da penetração de cloretos em concreto** (Tese de doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. 213 p.

CARMONA FILHO, A. **Metodologia para Recuperação, Proteção e Determinação da Vida Útil Residual de Estruturas de Concreto em Meio Fortemente Agressivo.** 1998. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

CARMONA, A.; MEREGA, A. **Retrospectiva da patologia no Brasil – estudo estatístico.** Colloquia´88, p. 101-123. Madrid, 1988.

CASCUDO, M. O. **Contribuição ao Estudo e Emprego de Técnicas Eletroquímicas no Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto Armado.** 1991. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1991

CASCUDO, O. **Influência das características do aço carbono destinado ao uso como armaduras para concreto armado no comportamento frente à corrosão.** 2000. 310 f. Tese (Doutorado em Engenharia) -Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: PINI, 1997. 237 p.

CASTAGNO JUNIOR, R. **Durabilidade do concreto armado em atmosfera marinha**. Rio Grande, 2002. Dissertação (Mestrado), Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Engenharia Oceânica.

CASTANHEIRA, A. P. A. **Estudo de um sistema de reparo mais eficaz para uma estrutura de concreto armado contaminada por cloretos**. Brasília, 1997. 146p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.

CASTRO MALHEIRO, R.L.M. **Influência do revestimento de argamassa no transporte de cloretos em estruturas de concreto armado inseridas no meio urbano**. João Pessoa, 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – PPGEU /Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

CASTRO, A. A. Revisão sistemática e Meta-análise. Disponível em: www.metodologia.org, acesso em 01 de setembro de 2010.

CEB. **Durability of Concrete Structures. Report of CEB-RILEM International Workshop**. Copenhagen, Mai, 1983; também **CEB Bulletin d'Information**, N2 152, 1984; também Lausanne, Thomas Telford, 1992.

CERVO, T.C. **Influência da finura e do teor de pozolanas na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto**. Santa Maria, 2001, 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria.

CHALMERS, I.; HEDGES L.V.; COOPER, H. **A brief history of research synthesis**. *Eval Health Prof.*25 (1), 12- 37, 2002.

CHANDRA, S.; CEDERWALL, K.; NILSON, I. H. E. **Durability Problems in Swedish Concrete Bridges – Case Studies**. In: P. K. Metha Symposium on Durability of Concrete, 1994, Nice. Proceedings ... Nice: ACI, 1994, p. 223-241.

CONOVER, W. J. **Practical nonparametric statistics**. 3. ed. New York: John Wiley,. 584 p. 1999

COSTA FILHO, T. B. **Avaliação do desempenho de argamassas com adições de cinza de casca de arroz amorfa e cristalina em relação à corrosão de armaduras em ambiente contaminado com íons cloreto.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 1997. 120p..

COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira. **Estatística.** 12. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1992.

COSTA, E. A. L. **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador.** Porto Alegre, 2001. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Civil.

COSTA, P. E. F. **Influência da finura e teor de escória na penetração de cloretos no concreto.** 2001. p. 115. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, RS, 2001.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre-RS, 1988. 196 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DAL RI, M. **Efeitos da adição de cal hidratada em concretos com altos teores de adição mineral na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto.** Santa Maria, 2002, 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria.

DELLINGHAUSEN, L. M. **Retração total e penetração de cloretos em concretos com cimento Portland Branco e Escória de Alto Forno.** 2009. 119 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

Dickersin K, Scherer R, Lefebvre C. Systematic reviews: Identifying relevant studies for systematic reviews **BMJ** 1994;309(6964),1286-91

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.** 2006. 331f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

DUARTE, R. J. C. R. **Influência da ponte de aderência epoxídica e limpeza da armadura no desempenho do reparo localizado em estruturas com problemas de corrosão por íons cloreto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007. 204 p.

DUTRA, A. C. **Proteção catódica: técnicas de combate à corrosão**. Rio de Janeiro/RJ: Interciência LTDA, 1999.

EGGER, M.; SMITH, G..D. Meta-analysis: potentials and promise. **British Medical Journal** 315(7119), 1371-1374, 1997.

FARIAS, R. F. S. **Corrosão das Armaduras do Concreto: Mecanismos e Controle**. São Paulo SP, 1991. Dissertação (Mestrado). Universidade São Paulo.

FEIJÃO, C. H. L.; **Contribuição ao estudo dos sensores de corrosão para estruturas de concreto armado**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2000. 182p.

FERREIRA, R. B. **Influência das adições minerais nas características do concreto de cobrimento e seu efeito na corrosão de Armaduras Induzidas por Cloretos**. Goiânia, 2003. 244 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Avaliação do desempenho de revestimentos para proteção de armadura contra corrosão através de técnicas eletroquímicas – contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado**. São Paulo, 1994. 391 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FONSECA, R. L. M. **Estudo da Influência de Aditivos Inibidores de Corrosão Sobre Algumas Propriedades do Concreto**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

FORTES, L.R. **Corrosão da armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial de eletrodo**. Fortaleza, 1995, 228f. Dissertação(Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Ceará.

FRANCINETE Jr, P. **Estudo da difusão de oxigênio no concreto através de técnicas**

eletroquímicas. São Paulo, 1999, Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. 2005. 211 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

GARCÉS, P.; ANDRADE, C.; SAEZ, A.; ALONSO, C. Corrosion of reionforcing steel in neutral and acid sloutions simulating the electrolytic environments in the micropores of concrete in the propagation period. **Corrosion Science**, v. 47, p. 289-306, 2005.

GARCIA, R. B. **Avaliação da atmosfera marinha em estruturas de concreto na região de Florianópolis – SC**. 2008. 193 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

GASPARIM, J. C. **Concreto projetado elaborado com cimentos especiais: análise segundo parâmetros de durabilidade**. São Paulo, 2007. 110 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

GAVILÁN, G. A. M. **Contribuição ao estudo do comportamento da aderência concreto-armadura resultante da adição de sílica ativa e da corrosão da armadura em presença de cloretos**. Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 2000. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 341 p.

GLASS, G. V. Primary, secondary and meta-analysis of research. **Educational Researcher**, 10,3-8, 1976.

GOMES, N. S. **Influência de ativadores químicos e adições minerais no comportamento de concretos frente a cloretos**. 2003. 182f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2003.

GONZALES, J. A.; FELIÚ, S.; RODRIGUEZ, P.; RAMIREZ, E.; ALONSO, C.; ANDRADE, C. Some questions on the corrosion of steel in concrete – Part I: when, how and how much steel corrodes. **Materials and Structures**. Vol 29 January-February, 1996a, p.40-

46.

GRAEFF, A. G. **Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado**. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2007. 184 p. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GU, P. et al. Corrosion Resistance of Stainless Steel in Chloride Contaminated Concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 26, n. 8, p. 1151-1156, 1996.

GUIMARÃES, A. T. C. **Desempenho do Concreto em Ambiente Marítimo na Região do Extremo Sul do Brasil**. Rio Grande, 1997. 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), FURG – Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

GUIMARÃES, A. T. C. **Grau de saturação: Sua variação com o tipo de concreto e sua influência na difusão de íons cloreto**. São Paulo, 2005. Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de Pós-Doutorado em Engenharia Civil.

GUIMARÃES, A. T. da C. **Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos**. 2000. 241 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GUIMARÃES, E.A. **Avaliação da capacidade protetora da resina de óleo de mamona contra a penetração de agentes agressivos no concreto**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 1997. 150p.

HAJEEH, M. Estimating corrosion: a statistical approach. **Materials & Design**, v. 24, p. 509-518, 2003.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993. Tese (Livre Docente), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil.

HELENE, P. R. L. **Corrosão das armaduras em concreto armado**. In: 4 o SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO-SIMPATCON. Anais. São Paulo, 1981,

p. 1-44.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: IPT, PINI, 1986. 46 p.

HIGGINS J.P.T.; GREEN S. (editors). **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions** Version 5.0.2 . The Cochrane Collaboration, 2009.

HOAR, T.P. **Coord. Report of the Comittee on corrosion and protection**. Londres, HMSO, 1991.

HOFFMANN, A. T. **Influência da adição de sílica ativa, relação água/aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos** (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

HOPPE, T.F. **Resistividade elétrica de concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.147 p. Santa Maria, RS, 2005.

HUERTA, E. O. **Corrosión y degradación de materiales**. Spain/Madrid: SÍNTESIS, 1997. 366 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Índices Financeiros, São Paulo, 1999.

IRWIG, L. A statistician at meta-analysis: discussion. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 105-108, 1995.

ISA, M. M. **Aderência Concreto-Armadura: Influência da Corrosão e da Proteção Catódica**. 1997. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

ISAIA, G.C. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de Pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão de armadura** . São Paulo, 1995. 280 p. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JADAD, A.R.; COOK, D.J.; BROWMAN, G.P. A guide to interpreting discordant systematic reviews. **Can Med Assoc J** 1997; 156 (10): 1411-6.

JUCÁ, T. R. P. **Avaliação de cloretos livres em concretos e argamassas de cimento**

Portland pelo método de asperção de solução de nitrato de prata. 2002. 129p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

KOPSCH, W. Durabilidade de estruturas de concreto armado em ambiente marinho - Estudo de caso. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

KULAKOWSKI, M. P. Argamassa com adição de microssílica para reparos estruturais: estudo da penetração de cloretos. Porto Alegre, 1994. 104p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LARA, P. L. O.; Análise da relação entre propriedades de transporte de água e os mecanismo de corrosão das armaduras. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2003. 154p

LEA, F.M. The chemistry of cement and concrete. Great Britain, Edward Arnould & Co., 1935.

LEVENE, H. Robust Test for Equality of Variances, in I. O. et al., ed., ‘**Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotteling**’, Stanford University Press, California, United States, pp. 278–292, 1960.

LEVY, S. M. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. 2001. p.194 Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2001

LIMA, M. B. Avaliação da capacidade de proteção contra a corrosão da armadura induzida por cloretos de concretos com adições minerais e inibidores de corrosão. 2009. 222 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, 2009.

LIMA, M. G. Influência dos componentes do concreto na corrosão de armaduras. Porto Alegre, 1990. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LIMA, M.G. Inibidores de corrosão: avaliação da eficiência frente à corrosão de

armaduras provocada por cloretos. São Paulo, 1996. 174p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

LIMA, R. C. **Avaliação da Eficiência de Inibidores de Corrosão em Reparo de Estruturas de Concreto.** 2000. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

LINDVALL, A. **Chloride ingress data from field and laboratory exposure – Influence of salinity and temperature.** V. 29, p. 88-93, 2007.

LONG A. E. , HENDERSON G. D. e MONTGOMERY F. R., **Why assess the properties of near-surface concrete Construction and Building Materials** – Volume 15, IssueS 2-3, March – April 2001, Pages 65-79.

MAGRINI FILHO, C.R. **Avaliação de Sistemas de Proteção para Concreto Aparente. Campinas,** 1989. Dissertação (Mestrado). Departamento de Química. Universidade Estadual de Campinas.

MAIA, V. S. **Avaliação da Perda de Capacidade Portante de Vigas de Concreto Armado Danificadas pela Corrosão das Armaduras de Flexão.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2003.

MANDIM, D. **Estatística Descomplicada.** 10. ed. Brasília: Vestcon Editora Ltda., 2003.

MARTINS, A. R. **Efeito da cura térmica e de cimentos com escória granulada de alto-forno na durabilidade do concreto de cobrimento.** 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 2001.

MATHER, B. Concrete durability. **Cement & Concrete Composites**, v. 26, p. 3-4, 2004.

MATOS, O.C. **Contribuição ao Estudo e Emprego de Técnicas Eletroquímicas no Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto Armado.** São Paulo, 1991. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons.** 2008. 218p. Tese (Doutorado) - Escola

Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MEHTA, P. K. Durability of concrete in marine environment – a review. In: **Performance of concrete in marine environment**, ACI SP-65, p. 1-20, 1980.

MEHTA, P. K. Sulfate attack on concrete: a critical review, **Materials Science of concrete**. III, Ed. J. Skalny, American Ceramic Society, pp 105-30, 1993.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. (1993). **Concrete: Structure, Properties and Materials**, Ed. Prentice Hall, New Jersey.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008. 573 p.

MEIRA, G. R. **Agressividade por Cloretos em Zona de Atmosfera Marinha Frente ao Problema da Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MELCHERS, R.E.; JEFFREY, R.J. **Probabilistic models for steel corrosion loss and pitting of marine infrastructure**. Reliability Engineering & System Safety, 2006.

MENDES, M. V. A. S. **Avaliação das propriedades de transporte de massa contendo adições minerais**. 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2009.

MENNUCCI, M. M. **Avaliação da potencialidade de aditivos inibidores de corrosão do aço carbono CA-50 usado como armadura de estruturas de concreto**. Dissertação de Mestrado, IPEN, São Paulo, 2006. 118 p.

MILLARD, S.G.; LAW, D.; BUNGEY, J. H.; CAIRNS, J. Environmental influences of linear polarisation corrosion rate measurement in reinforced concrete. **NDT&E Internacional**, Vol. 34, 2001, p. 409-417.

MISSAU, F. **Penetração de Cloretos em concretos compostos com diferentes teores de cinza de casca de arroz**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC - Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2004.

MONTALVÃO, L.G. **Sistema e metodologia para a avaliação polarográfica da corrosão das armaduras em estruturas de concreto**. Brasília,1992. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília.

MONTEIRO, E. C. B. **Estudo da Capacidade de Proteção de Alguns Tipos de Cimentos Nacionais, em Relação à Corrosão de Armaduras, Sob a Ação Conjunta de CO₂ e Íons Cloretos**, 1996. 138 p., Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil.

MONTEIRO, E. C. B.. **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras**. 2002. 211 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2002.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2ª Ed. Editora: LTC, Rio de Janeiro, 2003.

MOREIRA, B. P. **Estudo da penetração de cloretos na camada de cobrimento do concreto em altos teores de cinza volante**. 2004. 149 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

MOSKVIN, V.; IVANOV, F.; ALEKSEYEV, S.; GUZEYEV, E. **Concrete and reinforced concrete deterioration and protection**. Trad. de V. Kolykhatov. Moscow, V. Moskvin, 1980.

NEA/CSNI/R(2002)21 Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations. **Electrochemical techniques to detect corrosion in concrete structures in nuclear installations** – Technical note. 2002

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo, PINI, 1997. 828 p.

NINCE, A.A.; CLIMACO, J.C.T.S. **Levantamento de dados sobre deterioração de estruturas na região centro-oeste do Brasil**. In: International Congresso n High-Performance Concrete and Quality of concrete structures (1996: Florianópolis). Proceedings... Florianópolis: UFSC, p.414-424, 1996.

NOGUEIRA, R. P. **A corrosão do aço em concreto: influência do pH e do potencial de**

eletrodo. Rio de Janeiro, 1989. 112 p. Dissertação (Mestrado). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

NUNES, J. L. O. **Intensidade de ataques por cloretos ao concreto em relação à distância da água do mar**. Rio Grande, 2006. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), FURG – Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

OLIVEIRA, A. M. **Avaliação do desempenho de concretos com adições minerais quanto à corrosão nas armaduras induzida por cloretos**. 2007. 255 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil, 2007.

OLIVEIRA, L. B. **Contribuição ao estudo de juntas de reparo de estruturas de concreto do ponto de vista de proteção contra corrosão**. 2001. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2001.

OLKIN, I. Statistical and theoretical considerations in meta-analysis. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 133-146, 1995.

OUGLOVA, A., BERTHAUD, Y., FRANÇOIS, M., FOCT, F. Mechanical properties of iron oxide formed by corrosion in reinforced concrete structures. **Corrosion Science**, v. 48, n.12, p.3988-4000. 2006.

PAGE, C. L.; SHORT, N. R.; EL TARRAS, A. Diffusion of chloride ions in hardened cement pastes. **Cement and Concrete Research**, v.11, p.395-406, USA, Pergamon Press, Lt, jan..1981.

PAGE, C. L.; SHORT, N. R.; HOLDEN, W. R. The influence of different cements on chloride-induced corrosion of reinforcing steel. **Cement and Concrete Research**, Vol. 16, 1986, p. 79-86.

PAGE, C.L.; VENNESLAND, A. E. **Pore solution composition and chloride binding capacity of silica-fume cement pastes**. *Matériaux et Constructions*, v.16, n.91, p.19- 25, 1983.

PAULA COUTO, A.B. **Influência das condições de cura nas características do cobrimento de diferentes concretos**. 2003. 167 f. Dissertação de mestrado – Curso de

Mestrado da Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

PEDROZO, E. C. **Estudo da utilização de cinza da casca do arroz residual em concretos estruturais: uma análise da durabilidade aos cloretos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. 143 p. Santa Maria, RS, 2008.

PEREIRA, C. H. A. F. **Avaliação da influência da adição de fibras sintéticas na durabilidade do concreto de cimento Portland.** Goiânia, 2002. 162f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2002.

PEREIRA, L. F. L.C. **Determinação de cloretos em concretos de cimentos Portland: Influência do tipo de cimento** São Paulo, 2001. Dissertação (mestrado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

PEREIRA, M. C. A. **Elementos de meta-análise.** 65 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Estatística, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

PEREIRA, V. G. A. **Avaliação do Coeficiente de Difusão de Cloretos em Concretos: Influência do Tipo de Cimento, da Relação A/C, da Temperatura e do Tempo de Cura.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação.** 2006. 191f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

PONTES, R. B. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife – PE.** 2006, 123 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, 2006.

REGATTIERI, C. E. X. **Contribuição ao estudo da influência da dosagem do concreto na absorção capilar e na penetração de íons cloreto.** 1998. 237 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

REUNION INTERNATIONALE DE LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX. **Corrosion of reinforcement and prestressing tendons: a “state-of-art” report.** Reported

by RILEM Technical Committee 12-CRC. *Matériaux et Constructions*, v.9, n. 51, p. 187-20. 1976.

RIBEIRO, F. H. M. **Desempenho de inibidores de corrosão como método de prevenção e reparo para estruturas de concreto armado**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

RODRIGUES, F. T. **Medição do grau de saturação e a difusão de íons cloreto em concretos executados com cimento de alta resistência inicial**. Rio Grande, 2009. 143 p. Dissertação (Mestrado), Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Engenharia Oceânica.

ROMANO, F.S. **Estudo do ingresso de cloretos em concretos localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul**. 2009. 153f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

ROSA, D. W. **Resistividade elétrica de concretos com diferentes teores de escória de alto forno e ativador químico**. 2005. 149 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

ROSENBERG, A.; GRACE, W. R; HANSON, C. M.; ANDRADE, C. Mechanisms of corrosion of steel in concrete. **Materials Science of Concrete**, 1989. P. 285-313.

SACIOTO, A. P. **Comportamento frente à ação de cloretos de concretos compostos com adições minerais submetidos a diferentes períodos de cura**. 2005. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

SAKR, K. Effect of cement type on the corrosion of reinforcing steel bars exposed to acidic media using electrochemical techniques. **Cement and Concrete Research**, 2004.

SANABRIA, L. T. **Contribuição ao Estudo da Resistência à Corrosão de Armaduras de Aço Inoxidável**. 2000. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

SANTOS, L. **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos**. Brasília, 2006. 161p. Dissertação

(Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2006.

SCHIESSL, P. **Corrosion of steel in concrete**, RILEM Technical Committee 60-CSC, London, Chapman e Hall, 1988.

SCHNEIDER, J. A. **Penetração de cloretos em concretos com escória de alto forno e ativador químico submetidos a diferentes períodos de cura**. 2005. 137f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

SILVA, F. G. **Estudo de Concreto de Alto Desempenho Frente à Ação de Cloretos**. Tese (Doutorado em Ciência em Engenharia dos Materiais), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, P. F. A. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana**. 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.

SILVA, V. B. **Avaliação da eficiência de pastilhas galvânicas na proteção de armaduras em estruturas de concreto sujeitas à ação de cloretos**. 2005. 192p., Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

SIQUEIRA, H. C. **Penetração de cloretos em concretos compostos com cimento Portland Branco e escória de alto forno, ativados quimicamente**. 2008. 141 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

SISTONEN, E. **Service life of hot-dip galvanised reinforcement bars in carbonated and chloride-contaminated concrete**. 2009. 186 p. Dissertação. Universite de Technologie D'Helsinki.

SMOLCZYK, H. G. Quelques observations et nouvelles considérations sur l'action de l'eau de mer sur le béton dans la zone des marées. In: **Colloque rilem: comportement des bétons exposés a l'eau de mer**, Palerme, 1965. p. 45-51.

SOUZA, K. N. **Estudo experimental e probabilístico da vida útil de estruturas de concreto armado situadas em ambiente marítimo: influência do grau de saturação do**

concreto sobre a difusividade de cloretos. 2005. 177 p. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

STEWART LA, CLARKE M.J., Cochrane Working Group on Meta-Analysis Using Individual Patient Data. Practical methodology of meta-analyses (overviews) using updated individual patient data. **Stat Med** 1995;14:2057–79.

STEWART L.A., PARMAR M.K.B. Meta-analysis of the literature or of individual patient data: is there a difference. **Lancet** 1993;341:418–22.

SWAMY, N. **Corrosion of steel in concrete.** The Indian Concrete Journal. April, 2000.

TAVARES, L. M. **Estudo do processo de corrosão por íons cloreto no concreto armado utilizando armaduras comuns e galvanizadas.** Porto Alegre, 2006. 151 p. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

TEIXEIRA, L. M. **Contribuição para o estudo da durabilidade de concretos de cimento e polímeros.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2000.

TESSARI, R. **Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras sob a ação de íons cloreto.** Porto Alegre: PPGE/UFRGS, 2001. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Mestre em Engenharia.

TINOCO, H. F. F. **Avaliação do desempenho de sistemas de reparo e recuperação para estruturas de concreto com corrosão das armaduras.** Goiás, 2001, Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás.

TINÔCO, H. F. F. **Avaliação do desempenho de sistemas de reparo e recuperação para estruturas de concreto com corrosão das armaduras.** Goiânia, 2001. 143f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2001.

TORRES, A. S. **Avaliação da sensibilidade do ensaio CAIM – Corrosão Acelerada Por Imersão Modificada – frente ao processo de corrosão.** Porto Alegre: PPGE/UFRGS, 2006. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Mestre em Engenharia.

TUUTTI, K. Service life of structures with regard to corrosion of embedded steel. In: **ACI Publication (SP-65). International Conference on Performance of Concrete in Marine Environment. Proceedings.** August, 1980.

UCHÔA, S. B. B. **Inibição de corrosão em concreto armado: eficiência e comportamento do sistema Tiouréia/Molibdato de Sódio.** Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

UEDA, T.; TAKEWAKA, K. **Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan.** Structural Engineering International, v. 4, p. 359-366, 2007.

VASCONCELOS, K. L.; **Avaliação comparativa da eficiência de inibidores de corrosão em armaduras de estruturas de concreto armado.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 1997. 120p..

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos.** João Pessoa, 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, 2005.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Porto Alegre – RS, 2003. 150 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio grande do Sul.

VIEIRA, S. **Princípios de Estatística.** 1ª reimpr. da 1ª ed. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2003.

WINCK, M.L. **Efeitos físicos e pozolânicos de adições minerais sobre a penetração de cloretos no concreto.** 2002. 92f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2002.

World Business Council for Sustainable Developing (WBCSD). The Cement Sustainability Initiative. Disponível em:

<http://www.wbcds.org/templates/TemplateWBCSD5/layout.asp?type=p&MenuId=NzY&doOpen=1&ClickMenu=LeftMenu>. Acesso em: 23 de outubro de 2010.

Anexo A – Trabalhos Brasileiros sobre corrosão por íons

cloreto em estruturas de concreto armado

Tabela A.1 – Trabalhos desenvolvidos no país

Autor	Orientador	Ano	Região	Cidade	Tipo	Título
Nogueira, R. P.	Miranda	1989	Sudeste	Rio de Janeiro	Dissertação	A corrosão do aço em concreto: influência do pH e do potencial de eletrodo
Magrini Filho, C.R.	Inês Joeques	1989	Sudeste	Campinas	Dissertação	Avaliação de Sistemas de proteção para concreto aparente
Lima, Maryangela Geimba de	Paulo R. do L. Helene	1990	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Influência dos componentes do concreto na corrosão das armaduras
Farias, Roberto Fernando dos Santos	Yasuko Tezuka	1991	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Corrosão das Armaduras do Concreto: Mecanismos e Controle
Matos, Oswaldo Cascudo	Paulo R. do L. Helene	1991	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Contribuição ao Estudo e Emprego de Técnicas Eletroquímicas no Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto Armado
Montalvão, Leife Gonçalves	José Carmargo da Costa	1992	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Sistema e metodologia para a avaliação polarográfica da corrosão das armaduras em estruturas de concreto.
Helene, Paulo Roberto do Lago	Livre docência	1993	Sudeste	São Paulo	Livre docência	Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado
Silva, Paulo Fernando Araujo da	João Gaspar Djanikian	1993	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana
Figueiredo, Enio P.	Paulo R. do L. Helene	1994	Sudeste	São Paulo	Tese	Avaliação do desempenho de revestimentos para proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas - contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado.

Kulakowski, Marlova Piva	Denise Dal Molin	1994	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Argamassa de Alto Desempenho para Reparos Estruturais - Estudo da Durabilidade através de Mecanismos de Penetração de Cloretos.
Isaia, Geraldo C	Paulo R. do L. Helene	1995	Sudeste	São Paulo	Tese	Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo da durabilidade com vistas a corrosão de armaduras
Fortes, Lyttelon Rebelo	José Carneiro de Andrade	1995	Nordeste	Fortaleza	Dissertação	Corrosão na armadura e sua avaliação pela técnica do potencial de eletrodo
Lima, Maryangela Geimba de	Paulo R. do L. Helene	1996	Sudeste	São Paulo	Tese	Inibidores de Corrosão - Avaliação da Eficiência Frente à Corrosão de Armaduras Provocada por Cloretos
Castanheira, Ana Paula Abi-Faiçal	Antônio Alberto Nepomuceno	1997	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Estudo de UM sistema de reparo MAIS EFICAZ para UMA estrutura de concreto armado contaminada por cloretos
Vasconcelos, Kahlil Lacerda de	Antônio Alberto Nepomuceno	1997	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Avaliação Comparativa da Eficiência de Inibidores de Corrosão em Armaduras de Concreto
Guimarães, Élvio Antonino	Antônio Alberto Nepomuceno	1997	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Avaliação da Resina de Óleo de Mamona Como Proteção Contra Os Agentes Agressivos da Corrosão
Guimarães, André Tavares	Cláudio Renato Rodrigues Dias	1997	Sul	Rio Grande	Dissertação	Desempenho do concreto em ambiente marítimo na região do extremo sul do Brasil
Isa, Mário Morio	Paulo R. do L. Helene	1997	Sudeste	São Paulo	Tese	Aderência Concreto-Armadura: Influência da Corrosão e da Proteção Catódica

Fonseca, Renato Luiz Macedo	João Gaspar Djanikian	1998	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Estudo da Influência de Aditivos Inibidores de Corrosão Sobre Algumas Propriedades do Concreto
Barata, Márcio Santos	Denise Dal Molin	1998	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Concreto de Alto Desempenho no Pará: Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica de Produção de concretos de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim
Abreu, Aguida Gomes	Denise Dal Molin	1998	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Efeito das adições minerais na resistividade elétrica de concretos convencionais
Carmona Filho, Antonio	Paulo R. do L. Helene	1998	Sudeste	São Paulo	Tese	Metodologia para Recuperação, Proteção e Determinação da Vida Útil Residual de Estruturas de Concreto em Meio Fortemente Agressivo.
Regattieri, Carlos Eduardo Xavier	Paulo R. do L. Helene	1999	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Contribuição ao Estudo da Influência da Dosagem do Concreto na Absorção Capilar e Penetração de Íons Cloreto
Francinete Júnior, Paulo	Enio José Pazini Figueiredo	1999	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Estudo da difusão de oxigênio no concreto através de técnicas eletroquímicas
Cascudo, Osvaldo	Paulo R. do L. Helene	2000	Sudeste	São Paulo	Tese	Influência das características do aço carbono destinado ao uso como armaduras para concreto armado no comportamento frente à corrosão
Feijão, Carlos Henrique Linhares	Elton Bauer	2000	Centro- Oeste	Brasília	Dissertação	Contribuição ao estudo dos sensores de corrosão para estruturas de concreto armado

Gavilán, Gustavo Arnaldo Melgarejo	Denise Dal Molin	2000	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Contribuição ao estudo do comportamento da aderência concreto-armadura resultante da adição de sílica ativa e da corrosão da armadura em presença de cloretos.
Lima, Rosele Correia de	Paulo R. do L. Helene	2000	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Avaliação da Eficiência de Inibidores de Corrosão em Reparo de Estruturas de Concreto
Matos, Oswaldo Cascudo	Paulo R. do L. Helene	2000	Sudeste	São Paulo	Tese	Influência das Características do Aço Carbono Destinado ao Uso como Armaduras para Concreto Armado no Comportamento frente à Corrosão
Teixeira, Luciano Martin	Enio José Pazini Figueiredo	2000	Centro- Oeste	Goiânia	Dissertação	Contribuição para o estudo da durabilidade de concretos de cimento e polímero
Sanabria, Leonel Tula	Paulo R. do L. Helene	2000	Sudeste	São Paulo	Tese	Contribuição ao Estudo da Resistência à Corrosão de Armaduras de Aço Inoxidável
Guimarães, André Tavares	Paulo R. do L. Helene	2000	Sudeste	São Paulo	Tese	Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos
Costa, Paulo Edgar Figueira	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2001	Sul	Santa Maria	Dissertação	Influência da finura e do teor de escória na penetração de cloretos no concreto
Costa, Eduardo Antônio Lima	Luiz Carlos Pinto da Silva Filho	2001	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Determinação do Potencial de Agressão de Sais Marinhos sobre as Argamassas de Revestimento na Região Metropolitana de Salvador Através da Taxa de Deposição de Cloretos Usando o Método da Vela Molhada

Hoffmann, Anelise Todeschini	Denise Dal Molin	2001	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Influência da adição de sílica ativa, relação água/aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos
Kopsch, Wilson	Ivo José Padaratz	2001	Sul	Florianópolis	Dissertação	Durabilidade de estruturas de concreto armado em ambiente marinho - Estudo de caso.
Oliveira, Lisandra Braga de	Antônio Alberto Nepomuceno	2001	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Contribuição ao estudo de juntas de reparo de estruturas de concreto do ponto de vista de proteção contra corrosão.
Pereira, Lúcia de Fátima Lacerda da Costa	Maria Alba Cincotto	2001	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Determinação de cloretos em concretos de cimentos portland: influência do tipo de cimento
Cervo, Tatiana Cureau	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2001	Sul	Santa Maria	Dissertação	Influência da finura e da porcentagem de adição de pozolanas na durabilidade do concreto
Pereira, Valéria Gomes Alves	Denise Dal Molin	2001	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Avaliação do coeficiente de difusão de cloretos em concretos: influência do tipo de cimento, relação a/c, da temperatura e do tempo de cura
RIBEIRO, Fábio Henrique de Melo	Enio José Pazini Figueiredo	2001	Centro-Oeste	Goiânia	Dissertação	Desempenho de inibidores de corrosão como método de prevenção e reparo para estruturas de concreto armado
Azevedo, Clarissa Santos	Enio José Pazini Figueiredo	2001	Centro-Oeste	Goiânia	Dissertação	Contribuição das adições minerais para a resistência a corrosão da armaduras de concreto
Martins, Aline Rosa	Gladis Camarini	2001	Sudeste	Campinas	Dissertação	Efeito da cura térmica e de cimentos com escória granulada de alto-forno na durabilidade do concreto de cobrimento

Tinôco, Hênio Fernandes da Fonseca	Enio José Pazini Figueiredo	2001	Centro- Oeste	Goiânia	Dissertação	Avaliação do desempenho de sistemas de reparo e recuperação para estruturas de concreto com corrosão das armaduras
Tessari, Ricardo	Denise Dal Molin	2001	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras sob a ação de íons cloreto.
Levy, Salomon Mony	Paulo R. do L. Helene	2001	Sudeste	São Paulo	Tese	Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.
dal Ri, Marcia	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2002	Sul	Santa Maria	Dissertação	Efeitos da adição de cal hidratada em concreto com altos teores de adição mineral na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto
Pereira, Claudio Henrique de Almeida Feitosa	Enio José Pazini Figueiredo	2002	Centro- Oeste	Goiânia	Dissertação	Avaliação da influência da adição de fibras sintéticas na durabilidade do concreto de cimento portland
Juca, Tatiana Renata Pereira	Enio José Pazini Figueiredo	2002	Centro- Oeste	Goiânia	Dissertação	Avaliação de cloretos livres em concretos e argamassas de cimento Portland pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata
Winck, Maristela de Lima	Geraldo Isaia	2002	Sul	Santa Maria	Dissertação	Efeitos físico e pozolânico de adições minerais sobre a penetração de cloretos no concreto
Monteiro, Eliana Cristina Barreto	Paulo R. do L. Helene	2002	Sudeste	São Paulo	Tese	Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para a reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armadura

Castagno, Róger	André Tavares Guimarães	2002	Sul	Rio Grande	Dissertação	Durabilidade do concreto armado em atmosfera marinha
Lara, Patrícia Lopes de Oliveira	Elton Bauer	2003	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Análise da relação entre propriedades de transporte de água e os mecanismos de corrosão das armaduras
Maia, Victor Silva	Antônio Alberto Nepomuceno	2003	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Avaliação da Perda de Capacidade Portante de Vigas de Concreto Armado Danificadas pela Corrosão das Armaduras de Flexão.
Vieira, Fernanda Macedo Pereira	Antonio Cesar F Vilela	2003	Sul	Porto Alegre	Tese	Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa
Braun, Victor	Oswaldo Cascudo	2003	Centro-Oeste	Goiânia	Dissertação	Influência das condições de moldagem e cura nas características de cobrimento de diferentes concretos
Vieira, Geilma Lima	Denise Dal Molin	2003	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição
Gomes, Newton Soares	Geraldo Isaia	2003	Sul	Santa Maria	Dissertação	Influência de ativadores químicos na penetração de cloretos em concretos de misturas binárias e ternárias
Ferreira, Ricardo Barbosa	Helena Carasek	2003	Centro-Oeste	Goiânia	Dissertação	Influência das adições minerais nas características do concreto de cobrimento e seu efeito na corrosão de armadura induzida por cloretos

Couto, Adriana Borges de Paula	Osvaldo Cascudo	2003	Centro- Oeste	Goiânia	Dissertação	Influência das condições de cura nas características de cobrimento de diferentes concretos
Moreira, Bianca Pereira	Geraldo Isaia	2004	Sul	Santa Maria	Dissertação	Estudo da penetração de cloretos na camada de cobrimento do concretoc om altos teores de cinza volante
Calçada, Luciana Maltez Lengler	Luiz Roberto Prudenci	2004	Sul	Florianópolis	Tese	Estudo da eficácia do ensaio de migração em condição de fluxo não estacionário na previsão de penetração de cloretos em concretos
Missau, Fabiano	Geraldo Isaia	2004	Sul	Santa Maria	Dissertação	Penetração de cloretos de concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz
Meira, Guibson Rocha	Ivo José Padaratz	2004	Sul	Florianópolis	Tese	Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado
Bretanha, S. S. F.	André T. C. Guimarães	2004	Sul	Rio Grande	Dissertação	Varição do Grau de Saturação do Concreto em Ambiente Marítimo
Bastos, Evandro José de Oliveira	Paulo R. do L. Helene	2005	Sudeste	São Paulo	Tese	Propedêutica para o Estudo da Corosão de Armaduras em Estruturas de Concreto
Hoppe, Tiago Fernandes	Geraldo Isaia	2005	Sul	Santa Maria	Dissertação	Resistividade elétrica de concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz
Schneider, Jonas André	Geraldo Isaia	2005	Sul	Santa Maria	Dissertação	Penetração de cloretos em concretos com escória de alto forno e ativador químico submetidos a diferentes períodos de cura
Guimarães, André Tavares	Paulo R. do L. Helene	2005	Sudeste	São Paulo	livre docencia	Grau de saturação: sua variação com o tipo de concreto e sua influência na difusão de íons cloretos

Silva, Valmir Barbosa da	Antônio Alberto Nepomuceno	2005	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Avaliação da eficiência de pastilhas galvânicas na proteção de armaduras em estruturas de concreto sujeitas à ação de cloretos.
Souza, Karem Nunes	André Tavares Guimarães	2005	Sul	Rio Grande	Dissertação	Estudo experimental e probabilístico da vida útil de estruturas de concreto armado situadas em ambiente marítimo: influência do grau de saturação do concreto sobre a difusibilidade de cloretos
Rosa, Dalton Wegner da	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2005	Sul	Santa Maria	Dissertação	Resistividade elétrica de concretos contendo escória de alto forno ativador químico
Saciloto, Adriano Pedroso	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2005	Sul	Santa Maria	Dissertação	Comportamento Frente a Ação de Cloretos de Concretos Compostos com Adições Mineraias Submetidos a Diferentes Períodos de Cura.
Freire, Karla Regina Rattmann	Carlos Mario Garcia	2005	Sul	Curitiba	Dissertação	Estudo do Desempenho de Inibidores de Corrosão da Armadura Metálica do Concreto,
Vieira, Andressa de Araújo Porto	Normando Perazzo Barbosa	2005	Nordeste	João Pessoa	Dissertação	Estudo do Aproveitamento de Resíduos de Cerâmica Vermelha como Substituição Pozolânica em Argamassas e Concretos
Dotto, Joseane Maria Rosarola	Iduvirges Lourdes Muller	2006	Sul	Porto Alegre	Tese	Corrosão de aço induzida por íons cloretos - uma análise crítica das técnicas eletroquímicas aplicadas ao sistema aço-concreto sem e com pozolana
Santos, Lourdimine	Antônio Alberto Nepomuceno	2006	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto.

Ferreira, Fernanda Giannotti da Silva	Jefferson Benedicto Libardi Liborio	2006	Sudeste	São Paulo	Tese	Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos
Pontes, Ronaldo Bezerra	Eliana Cristina Barreto Monteiro	2006	Nordeste	Pernambuco	Dissertação	Disseminação de íons cloretos na orla marítima no bairro de Boa Viagem
Tavares, Lisiane Morfeo	Eleani Maria da Costa	2006	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Estudo do Processo de Corrosão por Íons Cloreto no Concreto Armado Utilizando Armaduras Comuns e Galvanizadas.
Nunes, Jorge Luiz Oleinik	André Tavares Guimarães	2006	Sul	Rio Grande	Dissertação	Intensidade de ataques por cloretos ao concreto em relação à distância da água do mar
Torres, Ariela da Silva	Luiz Carlos Pinto da Silva Filho	2006	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Avaliação da sensibilidade do ensaio CAIM - Corrosão Acelerada por imersão modificada - frente ao processo de corrosão em armaduras de concreto armado
Mennucci, M.M.		2006	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Avaliação da potencialidade de aditivos inibidores de corrosão do aço carbono CA-50 usado como armadura de estruturas de concreto
Graeff, Ângela Gaio	Luiz Carlos Pinto da Silva Filho	2007	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado
Oliveira, Andrielli Morais	Oswaldo Cascudo	2007	Centro- Oeste	Goiânia	Dissertação	Avaliação do desempenho de concretos com adições minerais quanto à corrosão das armaduras induzida por cloretos

Duarte, Raphael Jaques de Castro Ribeiro	Enio José Pazini Figueiredo	2007	Centro-Oeste	Goiânia	Dissertação	Influência da ponte de aderência epoxídica e limpeza da armadura no desempenho do reparo localizado em estruturas com problemas de corrosão por íons cloreto
Gasparim, José Carlos	Antônio Domingues de Figueiredo	2007	Sudeste	São Paulo	Dissertação	Concreto projetado elaborado com cimentos especiais: análise segundo parâmetros de durabilidade.
Uchoa, S.B.B.	Josealdo Tonholo	2007	Nordeste	Maceio	Tese	Inibição de corrosão em concreto armado: eficiência e comportamento do sistema Tiouréia/Molibdato de Sódio
Medeiros, Marcelo Henrique Farias de	Paulo R. do L. Helene	2008	Sudeste	São Paulo	Tese	Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos com Proteção Superficial frente à Ação de Íons Cloretos
Garcia, Raphael Barp	Ivo José Padaratz	2008	Sul	Florianópolis	Dissertação	Caracterização do ambiente marinho na região de Florianópolis - SC para projetos de estruturas em concreto armado
Pedroso, Éder Claro	Geraldo Isaia	2008	Sul	Santa Maria	Dissertação	Estudo da utilização da cinza de casca de arroz residual em concreto estruturais: uma análise da durabilidade aos cloretos
Siqueira, Henrique Carvalho	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2008	Sul	Santa Maria	Dissertação	Penetração de Cloretos em Concretos Compostos com Cimento Portland Branco e Escória de Alto Forno Ativadas Quimicamente
Castro Malheiro, Raphael Lira Meireles	Normando Perazzo Barbosa.	2008	Nordeste	João Pessoa	Dissertação	Influência do revestimento no transporte de cloretos em estruturas de concreto armado inseridas no meio urbano.
Barros, Pedro Gustavo dos Santos	Paulo César Correia Gomes	2008	Nordeste	Maceio	Dissertação	Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito

Brito, Priscila Caterine de	Maryangela Geimba de Lima	2008	Sudeste	São José dos Campos	Dissertação	Avaliação de durabilidade de plataformas offshore em concreto proposta de estudo de micro-clima em ambiente marinho
Rodrigues, Felipe Tréz	André Tavares Guimarães	2009	Sul	Rio Grande	Dissertação	Medição do grau de saturação e sua difusão de íons cloreto em concretos executados com cimento de alta resistência inicial.
Romano, Fátima Sequeira	Denise Dal Molin	2009	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Estudo do ingresso de cloretos em estruturas de concreto no litoral norte do Rio Grande do Sul.
Dellinghausen, Luciano de Medeiros	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2009	Sul	Santa Maria	Dissertação	Retração hidráulica e penetração de cloretos em concretos com cimento portland branco e escória de alto forno
Lima, Marcelo Batista	Oswaldo Cascudo	2009	Centro- Oeste	Goiânia	Dissertação	Avaliação da capacidade de proteção contra a corrosão da armadura induzida por cloretos de concretos com adições minerais e inibidores de corrosão
Mendes, Marcus Vinícius Araújo da Silva	Oswaldo Cascudo	2009	Centro- Oeste	Goiânia	Dissertação	Avaliação das propriedades de transporte de massa contendo adições minerais
Crauss, Camila	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	Anda	Sul	Santa Maria	Dissertação	Desempenho de diferentes tipos de tratamento superficial na penetração de cloretos e permeabilidade ao oxigênio
Santos, Guilherme Trevisan dos	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	Anda	Sul	Santa Maria	Dissertação	Influência de materiais de proteção na penetração de cloretos no concreto.
Oliveira, Manuela Quiroz de	Eliana Cristina Barreto Monteiro	Anda	Nordeste	Pernambuco	Dissertação	Análise Comparativa do Desempenho de Sistemas de Reparo Utilizados em Estruturas de Concreto Armado com Corrosão de Armaduras por Íons Cloreto.

Mota, Ana Carmelita Menezes	Eliana Cristina Barreto Monteiro	Anda	Nordeste	Pernambuco	Dissertação	Avaliação da Presença de Cloretos Livres em Pastas de Concreto, com Adição de Metacaulim e Sílica Ativa, Através do Método Colorimétrico de Aspersão de Nitrato de Prata.
Morelli, Fabiano	Maryangela Geimba de Lima	Anda	Sudeste	São José dos Campos	Tese	Aplicações de Sistemas de Informações Geográficas ao Ambiente Construído: Mapeamento dos Agentes de Degradação dos Materiais e Sistemas de Construção
Sokolovicz, Bóris Casanova	Geraldo Isaia	Anda	Sul	Santa Maria	Dissertação	Estudo da durabilidade de protótipos de concreto com cinza de casca de arroz natural, sem beneficiamento, em cura ambiental: penetração de cloretos
Garcia, Mauricio Luiz Grochoski	Paulo R. do L. Helene	Anda	Sudeste	São Paulo	Tese	Avaliação de Comportamento de Sistemas de Reparo para Estruturas de Concreto com Corrosão de Armaduras
Magalhães, Felipe Costa	André Tavares Guimarães	Anda	Sul	Rio Grande	Dissertação	Varição do grau de saturação em estruturas de concreto com proteção superficial.
Rodrigues, Joel Martins	André Tavares Guimarães	Anda	Sul	Rio Grande	Dissertação	Fatores que influenciam na variação do grau de saturação de concreto executado com cimento de alta de alta resistência inicial.
Arpino, Cristiani Rodrigues	André Tavares Guimarães	Anda	Sul	Rio Grande	Dissertação	Comportamento de perfis de cloretos em tetrápodes localizados nos molhes da Barra do Rio Grande - RS
Carvalho, Danúbia Araújo de	Enio José Pazini Figueiredo	Anda	Centro-Oeste	Goiânia	Dissertação	Prevenção e Reparo de Estruturas de Concreto Empregando Inibidores de Corrosão da Armadura

Neri, Kátya Dias	Eudésio Vilar	Anda	Nordeste	Campina Grande	Dissertação	Contribuição ao estudo do teor crítico de cloretos para despassivação de armaduras em estruturas de concreto armado.
Borba Júnior, José Carlos	João Luiz Calmon Nogueira da Gama	Anda	Sudeste	Vitória	Dissertação	Contribuição ao estudo do aerosol marinho e sua relação com a concentração de cloretos na região metropolitana da grande Vitória
Cestari, Danniell de Jesus	Maryangela Geimba de Lima	Anda	Sudeste	São José dos Campos	Tese	Estudos envolvendo inibidores de corrosão adicionados a massa de concreto.

Além destes trabalhos, foram encontrados os trabalhos apresentados na Tabela A.2, que também avaliaram a corrosão em argamassas e não foram anexados a Meta-análise desta Tese.

Tabela A.2 – Trabalhos de pós graduação no Brasil – em ARGAMASSA

Autor	Orientador	Ano	Região	Cidade	Tipo	Título
Bauer, Elton	Paulo Roberto do Largo Helene	1995	Sudeste	São Paulo	Tese	Avaliação comparativa da influência da adição de escória de alto forno na corrosão das armaduras através de técnicas eletroquímicas
Monteiro, Eliana Cristina Barreto	Antônio Alberto Nepomuceno	1996	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras sob a ação conjunta de CO ₂ e íons cloretos
Cabral, Antonio Eduardo Bezerra	Denise Dal Molin	2000	Sul	Porto Alegre	Dissertação	Avaliação da eficácia de sistemas de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos.
Costa Filho, Tilson Baltazar da	Antônio Alberto Nepomuceno	2005	Centro-Oeste	Brasília	Dissertação	Avaliação do desempenho de argamassas com adições de cinza de casca de arroz amorfa e cristalina em relação à corrosão de armaduras em ambiente contaminado com íons cloreto.

O trabalho da autora Bolina (2008), também, não foi adicionado a análise estatística em função de ser um estudo apenas nas armaduras, sem proteção do concreto. Esta dissertação foi orientada pelo Prof. Dr. Oswaldo Cascudo em Goiânia. Este trabalho foi fornecido em formato digital.

Anexo B – Trabalhos que compõem a Meta-análise desta tese

Tabela B.1 – Trabalhos que compõem a Meta-análise desta Tese

Autor	Orientador	Ano	Região	Tipo	Formato
Lima, Maryangela G.	Paulo Roberto do Largo Helene	1990	Sul	Dissertação	Impresso
Helene, Paulo Roberto do Lago	livre docência	1993	Sudeste	Livre docência	Impresso
Barata, Márcio Santos	Denise Dal Molin	1998	Sul	Dissertação	Digital
Abreu, Aguida Gomes	Denise Dal Molin	1998	Sul	Dissertação	Digital
Teixeira, Luciano Martin	Enio José Pazini Figueiredo	2000	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Guimarães, André Tavares	Paulo Roberto do Largo Helene	2000	Sudeste	Tese	Digital
Cabral, Antonio Eduardo B.	Denise Dal Molin	2000	Sul	Dissertação	Digital
Costa, Paulo Edgar Figueira	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2001	Sul	Dissertação	Digital
Hoffmann, Anelise Todeschini	Denise Dal Molin	2001	Sul	Dissertação	Digital
Pereira, Lúcia de Fátima Lacerda da Costa	Maria Alba Cincotto	2001	Sudeste	Dissertação	Digital
Pereira, Valéria Gomes Alves	Denise Dal Molin	2001	Sul	Dissertação	Digital
Ribeiro, Fábio Henrique de Melo	Enio José Pazini Figueiredo	2001	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Azevedo, Clarissa Santos	Enio José Pazini Figueiredo	2001	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Martins, Aline Rosa	Gladis Camarini	2001	Sudeste	Dissertação	Digital
Tinôco, Hênio Fernandes da Fonseca	Enio José Pazini Figueiredo	2001	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Tessari, Ricardo	Denise Dal Molin	2001	Sul	Dissertação	Digital
Levy, Salomon Mony	Paulo Roberto do Largo Helene	2001	Sudeste	Tese	Digital
dal Ri, Marcia	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2002	Sul	Dissertação	Digital
Pereira, Claudio Henrique de Almeida Feitosa	Enio José Pazini Figueiredo	2002	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Juca, Tatiana Renata Pereira	Enio José Pazini Figueiredo	2002	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Winck, Maristela de Lima	Geraldo Isaia	2002	Sul	Dissertação	Digital
Monteiro, Eliana Cristina Barreto	Paulo Roberto do Largo Helene	2002	Sudeste	Tese	Digital

Vieira, Fernanda Macedo Pereira	Antonio Cesar F Vilela	2003	Sul	Tese	Digital
Braun, Victor	Osvaldo Cascudo	2003	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Vieira, Geilma Lima	Denise Dal Molin	2003	Sul	Dissertação	Digital
Gomes, Newton Soares	Geraldo Isaia	2003	Sul	Dissertação	Digital
Ferreira, Ricardo Barbosa	Helena Carasek	2003	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Couto, Adriana Borges de Paula	Osvaldo Cascudo	2003	Centro-Oeste	Dissertação	Digital
Moreira, Bianca Pereira	Geraldo Isaia	2004	Sul	Dissertação	Digital
Calçada, Luciana Maltez Lengler	Luiz Roberto Prudenci	2004	Sul	Tese	Digital
Missau, Fabiano	Geraldo Isaia	2004	Sul	Dissertação	Digital
Meira, Guibson Rocha	Ivo José Padaratz	2004	Sul	Tese	Impresso
Hoppe, Tiago Fernandes	Geraldo Isaia	2005	Sul	Dissertação	Digital
Schneider, Jonas André	Geraldo Isaia	2005	Sul	Dissertação	Digital
Guimarães, André Tavares	Paulo Roberto do Largo Helene	2005	Sudeste	livre docencia	digital
Silva, Valmir Barbosa da	Antônio Alberto Nepomuceno	2005	Centro-Oeste	Dissertação	digital
Souza, Karem Nunes	André Tavares Guimarães	2005	Sul	Dissertação	digital
Rosa, Dalton Wegner da	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2005	Sul	Dissertação	digital
Saciloto, Adriano Pedroso	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2005	Sul	Dissertação	digital
Freire, Karla Regina Rattmann	Carlos Mario Garcia	2005	Sul	Dissertação	digital
Vieira, Andressa de Araújo Porto	Normando Perazzo Barbosa	2005	Nordeste	Dissertação	digital
Dotto, Joseane Maria Rosarola	Iduvirges Lourdes Muller	2006	Sul	Tese	digital
Santos, Lourdimine	Antônio Alberto Nepomuceno	2006	Centro-Oeste	Dissertação	digital
Ferreira, Fernanda Giannotti da Silva	Jefferson Benedicto Libardi Liborio	2006	Sudeste	Tese	digital
Pontes, Ronaldo Bezerra	Eliana Cristina Barreto Monteiro	2006	Nordeste	Dissertação	digital
Tavares, Lisiane Morfeo	Eleani Maria da Costa	2006	Sul	Dissertação	digital

Nunes, Jorge Luiz Oleinik	André Tavares Guimarães	2006	Sul	Dissertação	digital
Torres, Ariela da Silva	Luiz Carlos Pinto da Silva Filho	2006	Sul	Dissertação	digital
Graeff, Ângela Gaio	Luiz Carlos Pinto da Silva Filho	2007	Sul	Dissertação	digital
Oliveira, Andrielli Morais	Osvaldo Cascudo	2007	Centro-Oeste	Dissertação	digital
Duarte, Raphael Jaques de Castro Ribeiro	Enio José Pazini Figueiredo	2007	Centro-Oeste	Dissertação	digital
Gasparim, José Carlos	Antônio Domingues de Figueiredo	2007	Sudeste	Dissertação	digital
Medeiros, Marcelo Henrique Farias de	Paulo Roberto do Largo Helene	2008	Sudeste	Tese	digital
Garcia, Raphael Barp	Ivo José Padaratz	2008	Sul	Dissertação	digital
Pedroso, Éder Claro	Geraldo Isaia	2008	Sul	Dissertação	digital
Siqueira, Henrique Carvalho	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2008	Sul	Dissertação	digital
Castro Malheiro, Raphael Lira Meireles	Normando Perazzo Barbosa.	2008	Nordeste	Dissertação	digital
Barros, Pedro Gustavo dos Santos	Paulo César Correia Gomes	2008	Nordeste	Dissertação	digital
Brito, Priscila Caterine de	Maryangela Geimba de Lima	2008	Sudeste	Dissertação	digital
Rodrigues, Felipe Tréz	André Tavares Guimarães	2009	Sul	Dissertação	digital
Romano, Fátima Sequeira	Denise Dal Molin	2009	Sul	Dissertação	digital
Dellinghausen, Luciano de Medeiros	Antonio Luiz Guerra Gastaldini	2009	Sul	Dissertação	digital
Mendes, Marcus Vinícius Araújo da Silva	Osvaldo Cascudo	2009	Centro-Oeste	Dissertação	digital

Anexo C - Combinações para quarta tentativa da Meta-análise

Tabela C.1: Combinações para Ecorr

101001 101002 101003 101004 101005 101006 101007 101008 101009 101010 101011 101012 101013 101014
 101015 101016
 101017 101018 101019 101020 101021 101022 101023 101024 101025 101026 101027 101028 101029 101030
 101031 101032
 101033 101034 101035 101101 101102 101103 101104 101105 101106 101107 101108 101109 101110 101111
 101112 101113
 101114 101115 101116 101117 101118 101119 101120 101121 101122 101123 101124 101125 101126 101127
 101128 101129
 101130 101131 101132 101133 101134 101135 102001 102002 102003 102004 102005 102006 102007 102008
 102009 102010
 102011 102012 102013 102014 102015 102016 102017 102018 102019 102020 102021 102022 102023 102024
 102025 102026
 102027 102028 102029 102030 102031 102032 102033 102034 102035 102101 102102 102103 102104 102105
 102106 102107
 102108 102109 102110 102111 102112 102113 102114 102115 102116 102117 102118 102119 102120 102121
 102122 102123
 102124 102125 102126 102127 102128 102129 102130 102131 102132 102133 102134 102135 103001 103002
 103003 103004
 103005 103006 103007 103008 103009 103010 103011 103012 103013 103014 103015 103016 103017 103018
 103019 103020
 103101 103102 103103 103104 103105 103106 103107 103108 103109 103110 103111 103112 103113 103114
 103115 103116
 103117 103118 103119 111003 111004 111005 111006 111007 111008 111009 111010 111011 111012 111013
 111014 111015
 111016 111017 111018 111019 111101 111102 111103 111104 111105 111106 111107 111108 111109 111110
 111111 111112
 111113 111114 111115 111116 111117 111118 111119 111120 111121 111122 111123 111124 112003 112004
 112005 112006
 112007 112008 112009 112010 112011 112012 112013 112014 112015 112016 112017 112018 112019 112103
 112104 112105
 112106 112107 112108 112109 112110 112111 112112 112113 112114 112115 112116 112117 112118 112119
 113001 113002
 113003 113004 113005 113006 113007 113008 113009 113010 113011 113012 113013 113014 113015 113016
 113017 113018
 113019 113101 113102 113103 113104 113105 113106 113107 113108 113109 113110 113111 113112 113113
 113114 113115
 113116 113117 113118 113119 113120 113121 113122 113123 113124 201101 201103 201105 201109 203101
 203103 203105
 203109 211101 211102 211103 211104 211105 211106 211107 211108 211109 211110 211111 211112 211113
 211114 211115
 211116 211117 211118 211119 211120 211121 211122 211123 211124 213101 213102 213103 213104 213105
 213106 213107
 213108 213109 213110 213111 213112 213113 213114 213115 213116 213117 213118 213119 213120 213121
 213122 213123
 213124 301101 301102 301103 301104 301105 301106 301107 301108 302101 302102 302103 302104 302105
 302106 302107
 302108 303101 303102 303103 303104 303105 303106 303107 303108 311101 311102 311103 311104 311105
 311106 311107
 311108 311109 311110 311111 311112 311113 311114 311115 311116 311117 311118 311119 311120 311121
 311122 311123
 311124 313101 313102 313103 313104 313105 313106 313107 313108 313109 313110 313111 313112 313113
 313114 313115
 313116 313117 313118 313119 313120 313121 313122 313123 313124 401001 401006 401012 401018 401020
 401024 401030
 401035 401101 401102 401103 401106 401112 401118 401120 401124 401130 401135 402001 402002 402003
 402020 402035

402101 402120 402135 403001 403002 403003 403020 403035 403101 403120 403135 411101 411102 411103
 411104 411105
 411106 411107 411108 411109 411110 411111 411112 411113 411114 411115 411116 411117 411118 411119
 411120 411121
 411122 411123 411124 413101 413102 413103 413104 413105 413106 413107 413108 413109 413110 413111
 413112 413113
 413114 413115 413116 413117 413118 413119 413120 413121 413122 413123 413124

The ANOVA Procedure

Number of Observations Read	6281
Number of Observations Used	6281

Tabela C.2: Combinações para Icorr

101101 101102 101103 101104 101105 101106 101107 101108 101109 101110 101111 101112 101113 101114
 101115 102001
 102002 102003 102004 102005 102006 102007 102008 102009 102010 102011 102012 102013 102014 102015
 102016 102017
 102018 102019 102101 102102 102103 102104 102105 102106 102107 102108 102109 102110 102111 102112
 102113 102114
 102115 102116 102117 102118 102119 103001 103002 103003 103004 103005 103006 103007 103008 103009
 103010 103011
 103012 103013 103101 103102 103103 103104 103105 103106 103107 103108 103109 103110 103111 103112
 103113 103114
 103115 103116 103117 103118 103119 112101 112102 203001 203002 203003 203004 203005 203006 203007
 203008 203009
 203010 203011 203012 203013 203101 203102 203103 203104 203105 203106 203107 203108 203109 203110
 203112 203113
 301001 301002 301003 301101 301102 301103 302001 302002 302003 302101 302102 302103 303001 303002
 303003 303004
 303005 303006 303007 303008 303009 303010 303011 303012 303013 303101 303102 303103 303105 303106
 303107 303109
 303110 303112 303113

The ANOVA Procedure

Number of Observations Read	2816
Number of Observations Used	2815

The ANOVA Procedure

Number of Observations Read	3551
Number of Observations Used	3550

Tabela C.4: Combinações para Resistência a compressão

1101 1102 1103 1111 1112 1113 1201 1202 1203 1211 1212 1213 1301 1302 1303 1311 1312 1313 2111 2112
 2113 2211 2212
 2213 2311 2312 2313 3101 3102 3103 3111 3112 3113 3201 3202 3203 3211 3212 3213 3301 3302 3303 3311
 3312 3313

The ANOVA Procedure

Number of Observations Read	1356
Number of Observations Used	1356