



**AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO ACELERADA DE CLORETOS EM
CONCRETOS COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE POR
CRISTALIZAÇÃO E DIFERENTES RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO.**

VITÓRIA

2014



FERNANDA MORONI
GUILHERME CUNHA GUIGNONE

**AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO ACELERADA DE CLORETOS EM
CONCRETOS COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE POR
CRISTALIZAÇÃO E DIFERENTES RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Civas, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

Orientador: Leonardo Roncetti.

VITÓRIA
2014

AGRADECIMENTOS

Ao término desta pesquisa agradecemos a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a sua realização.

À nossa família e amigos pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis.

À professora Geilma Vieira, pelo incentivo e conhecimentos teóricos e por estar presente desde o início desta pesquisa, incluindo o processo de concepção, desenvolvimento e conclusão.

Ao professor Leonardo Roncetti por sua orientação e pelos conhecimentos teóricos que nos foram de grande valia.

Agradecemos também aos funcionários do Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção (LEMAC) da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, pelo auxílio na elaboração do projeto experimental, em especial Henrique Horácio Rodrigues e Antônio Mário Loriato, profissionais dedicados e competentes sempre dispostos a colaborar.

Ao colega Thiago Sales, estudante de engenharia elétrica da UFES, pelo apoio na montagem do aparato elétrico para a realização do ensaio de penetração e cloretos. Sem a sua valorosa colaboração, no exato momento em que ocorreu, a execução deste trabalho poderia ser comprometida. Agradecemos sua eficiência, competência e disponibilidade.

À concreteira Nassau pelo empréstimo de seus equipamentos e disponibilidade de sua infraestrutura para execução da moldagem dos corpos de prova.

Ao Instituto IDD por tornar possível a obtenção do grau de especialista em Patologia nas Obras Cíveis e por nos fornecer relevante conhecimento técnico para a execução deste trabalho.

FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO ACELERADA DE CLORETOS EM CONCRETOS COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE POR CRISTALIZAÇÃO E DIFERENTES RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO.

Por

FERNANDA MORONI

GUILHERME CUNHA GUIGNONE

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Vitória (ES) 13 de dezembro de 2014.

Leonardo Roncetti, M.Sc.

Geilma Lima Vieira, Dr^a.

Mayra Moreira de Almeida, M.Sc.

RESUMO

Dentre os principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto os íons cloreto respondem por uma parcela significativa da perda de desempenho dessas estruturas. Isso se deve, em parte, à possibilidade de transporte desses íons para o interior da estrutura, atingindo a armadura, causando corrosão. Na tentativa de minimizar a entrada desses agentes agressivos ao concreto, uma medida preventiva que pode ser aplicada é a inserção de aditivos impermeabilizantes na massa de concreto, que tem o intuito de diminuir a quantidade de poros no concreto e, conseqüentemente, minimizar a entrada dos íons cloreto. O objetivo deste trabalho é investigar a influência do uso de aditivos impermeabilizantes por cristalização do concreto e distintas relações água/cimento frente ao avanço de íons cloreto nas estruturas de concreto. Para a produção dos concretos foi utilizado cimento Portland com escória de alto forno, considerando três relações água/cimento (0,45; 0,55; 0,65), sem e com aditivo impermeabilizante, totalizando seis proporções de materiais. Os corpos de prova foram curados em câmara úmida e ensaiados nas idades de 28 e 91 dias. Após isto foram retiradas duas seções de seus núcleos e realizados ensaios de penetração acelerada de íons cloreto pelo método recomendado pela ASTM C1202. Após o ensaio de penetração de cloretos foram realizados ensaios de indicadores colorimétricos com aspersão de nitrato de prata, com o objetivo de constatar a profundidade da camada contaminada. Paralelamente, determinou-se a resistência à compressão axial destes concretos como parâmetro de controle. Após o agrupamento dos dados e análise efetuada, os resultados mostraram que o uso do aditivo impermeabilizante por cristalização resultou em valores inferiores de penetração de cloretos, configurando-se maior resistência a esses agentes agressivos.

Palavras chave: concreto, íons cloretos, relação água/cimento, cura, durabilidade.

ABSTRACT

Among the main deterioration mechanisms of the concrete structures the chloride ions account for a significant portion of the loss of performance of these structures. This is due, in part, to the possibility of transporting of these ions into the structure, reaching the armature, causing corrosion. In an attempt to minimize the entry of such aggressive agents to the concrete, a preventive measure that can be applied is the inclusion of additives waterproofing in the concrete mass, which aims to decrease the amount of pores in the concrete and thus minimize the entry of chloride ions. The objective of this study is to investigate the influence of the use of waterproofing additives by crystallization of concrete and distinct water/cement ratio forward to the advancement of chloride ions in concrete structures. For the production of concrete was used Portland cement with blast furnace slag, considering three different water/cement ratio (0.45, 0.55, 0.65), with and without waterproofing additive, totaling six proportions of materials. The specimens were cured in a moist chamber and tested at the ages of 28 and 91 days. After this was removed two sections of their cores and made accelerated penetration tests chloride ions by the method recommended by ASTM C1202. After the chlorides penetration test were performed colorimetric indicator testing with silver nitrate spray, with the objective of finding the depth of the contaminated layer. In parallel, it was determined the compressive strength of these concretes as a control parameter. After grouping the data and analysis performed, the results showed that the use of a waterproofing additive for crystallization resulted in lower values chlorides penetration by setting a higher resistance to these aggressive agents.

Keywords: concrete, chloride ions, water cement ratio, curing, durability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Densidade demográfica no Brasil, população por estado....	20
Figura 2. Formas de penetração dos íons cloreto no concreto.....	31
Figura 3. Tipos de corrosão de uma barra de aço imersa em meio concreto.	32
Figura 4. Representação esquemática da corrosão por pite	33
Figura 5. Formação de semipilha em meio de concreto armado	34
Figura 6. Célula de corrosão em meio de concreto armado.....	34
Figura 7. Influência da cura úmida na resistência de um concreto com relação água /cimento igual a 0,50.	37
Figura 8. Relação entre resistência à compressão e relação água/cimento.....	38
Figura 9. Processo de cristalização do concreto: a=concreto não tratado; b=início da cristalização e c=estágio avançado de cristalização.....	45
Figura 10. Esquema de aparato de ensaio de permeabilidade.	48
Figura 11. Esquema e montagem de aparato para a realização do ensaio de migração de cloretos.....	52
Figura 12. Realização do ensaio de migração de cloretos	52
Figura 13. Representação do ensaio de penetração acelerada de cloretos – A-Perspectiva explodida da célula – B-Aparato do ensaio montado. .	54
Figura 14. Ilustração da medida de profundidade de penetração de cloretos.....	57
Figura 15. Representação de ensaio rápido de migração.....	58
Figura 16. Amostras após aspersão de nitrato de prata	58
Figura 17. Representação de distribuição de amostras para ensaios. .	66
Figura 18. Identificação de amostras a serem ensaiadas.....	67
Figura 19. Materiais a serem utilizados para moldagem de corpos de prova.	67
Figura 20. Processo de desumidificação de agregado miúdo.	68
Figura 21. Procedimento de pesagem de material.	68

Figura 22. Moldagem de concreto in-loco.	69
Figura 23. Teste de abatimento de tronco de cone.	69
Figura 24. Conclusão de moldagem de corpos de prova.	70
Figura 25. Corpos de prova submetidos a processo de cura em câmara úmida.	70
Figura 26. Serragem de faces centrais de corpos de prova.	71
Figura 27. Selagem de faces laterais de corpos de prova.	72
Figura 28. Etapa de utilização de bomba dissecadora a vácuo.	73
Figura 29. Detalhe de amostras mergulhadas em água deionizada e deaerada.	73
Figura 30. Vista superior de amostras mergulhadas em água deionizada e deaerada.	74
Figura 31. Fixação de amostras em células.	74
Figura 32. Processo de acabamento da fixação e vedação de amostras.	75
Figura 33. Soluções de cloreto de sódio e hidróxido de sódio preparadas.	75
Figura 34. Preenchimento de meia células com soluções de cloreto de sódio e hidróxido de sódio.	76
Figura 35. Representação de processo completo de ensaio de penetração.	76
Figura 36. Diagrama do circuito utilizado no ensaio experimental, ensaio 1 de 3.	77
Figura 37. Execução de ensaio de penetração acelerada, vista superior.	77
Figura 38. Execução de ensaio de penetração acelerada, vista lateral.	78
Figura 39. Detalhe das amostras ensaiadas.	78
Figura 40. Detalhe lateral das amostras ensaiadas.	79
Figura 41. Momento do rompimento das amostras.	79
Figura 42. Amostras rompidas.	80

Figura 43. Aspersão de nitrato de prata nas amostras.....	80
Figura 44. Visão geral das amostras pós aspersão de nitrato de prata.	81
Figura 45. Detalhe de amostra pós aspersão de nitrato de prata.....	81
Figura 46. Medição em amostra com paquímetro após aspersão de nitrato de prata.	82
Figura 47. Gráfico corrente passante a/c 0,45-28dias.....	84
Figura 48. Gráfico corrente passante a/c 0,45-91dias.....	84
Figura 49. Gráfico corrente passante a/c 0,55-28 dias.....	85
Figura 50. Gráfico corrente passante a/c 0,55-91 dias.....	85
Figura 51. Gráfico corrente passante a/c 0,65-28 dias.....	86
Figura 52. Gráfico corrente passante a/c 0,65-91 dias.....	86
Figura 53. Gráfico corrente passante diferentes relações a/c, sem aditivo-28 dias.	87
Figura 54. Gráfico corrente passante diferentes relações a/c, sem aditivo-91 dias.	88
Figura 55. Gráfico corrente passante diferentes relações a/c, com aditivo-28 dias.	88
Figura 56. Gráfico corrente passante diferentes relações a/c, com aditivo-91 dias.	89
Figura 57. Gráfico corrente passante diferentes resistências-28 dias.	89
Figura 58. Gráfico corrente passante diferentes resistências-91 dias.	90
Figura 59. Gráfico carga passante total conforme metodologia de ensaio ASTM C1202 – 28 dias.....	91
Figura 60. Gráfico carga passante total conforme metodologia de ensaio ASTM C1202 – 91 dias.....	91
Figura 61. Influencia do uso do aditivo aos 28 dias-carga passante...	96
Figura 62. Influencia do uso do aditivo aos 91 dias-carga passante...	97
Figura 63. Influencia do aditivo-tempo de cura de 28 dias – Resistência.	98

Figura 64. Influencia do aditivo-tempo de cura de 91 dias – Resistência.	98
Figura 65. Influencia do tempo de cura no uso do aditivo, 28 dias. .	104
Figura 66. Influencia do tempo de cura no uso do aditivo, 91 dias. .	105
Figura 67. Influencia do fator água/cimento no uso do aditivo-a/c=0,45.	105
Figura 68. Influencia do fator água/cimento no uso do aditivo-a/c=0,55.	106
Figura 69. Influencia do fator água/cimento no uso do aditivo-a/c=0,65.	106
Figura 70. Idade de cura de 28 dias e resistência.....	107
Figura 71. Idade de cura de 91 dias e resistência.....	107
Figura 72. Medição da penetração de íons cloreto após o ensaio e pulverização do AgNO ₃	108
Figura 73.Gráfico de identificação de penetrabilidade de cloretos - 28 dias.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação de pesquisas envolvendo o uso de métodos acelerados de avaliação da penetração de íons cloreto.....	50
Tabela 2. Teores dos componentes de CPIII	61
Tabela 3. Teores dos componentes de CPIII – Exigências físicas e mecânicas.....	62
Tabela 4. Teores dos componentes de CPIII – Exigências químicas, físicas e mecânicas.....	62
Tabela 5. Resistência à compressão axial dos corpos de prova.....	63
Tabela 6. Ensaio de abatimento de tronco de cone.....	64
Tabela 7. Consumo de materiais por metro cúbico de concreto	64
Tabela 8. Traço unitário para a execução dos corpos de prova	64
Tabela 9. Classes de agressividade ambiental	65
Tabela 10. Correspondência entre classe de agressividade e agressividade do concreto.....	66
Tabela 11. Medições de corrente em períodos de cura.....	83
Tabela 12. Redução média de carga passante em face da utilização de aditivo -28 dias.	92
Tabela 13. Redução média de carga passante em face da utilização de aditivo -91 dias.	92
Tabela 14. Variação média de carga passante de 28 para 91 dias.	94
Tabela 15. Tabela de classificação de concretos contemplada na ASTM C1202.	95
Tabela 16. Relação da classificação dos concretos moldados no presente trabalho, conforme ASTM C102.	95
Tabela 17. Ganho médio de resistência à compressão com o uso de aditivo.	99
Tabela 18. Ganho médio de resistência à compressão sem o uso de aditivo.	99
Tabela 19. Influência do aditivo na variação de resistência à compressão.	99

Tabela 20. Análise: relação a/c e carga passante.	100
Tabela 21. Análise: aditivo e carga passante.	100
Tabela 22. Análise: relação a/c e resistência.	101
Tabela 23. Análise: aditivo e resistência.....	101
Tabela 24. Análise: idade de cura e carga passante.	102
Tabela 25. Análise: idade de cura e resistência.	102
Tabela 26. Análise geral: variável de maior influência-28 dias.	103
Tabela 27. Análise geral: variável de maior influência- 91 dias.	103
Tabela 28. Redução da penetração de cloretos em face da utilização de aditivo, por meio de ensaio de aspersão de AgNO_3 -28 dias	110
Tabela 29. Redução da penetração de cloretos em face da utilização de aditivo, por meio de ensaio de aspersão de AgNO_3 -91 dias.	110
Tabela 30. Redução média de carga passante em face da utilização de aditivo -28 dias.	111
Tabela 31. Redução média de carga passante em face da utilização de aditivo -91 dias.	111

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2.	OBJETIVOS.....	17
1.2.1.	Objetivo Geral.....	17
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	17
1.3.	JUSTIFICATIVAS.....	18
1.3.1.	Tecnológicas	18
1.3.2.	Econômicas	19
1.3.3.	Sociais	19
1.3.4.	Ecológicas	21
1.4.	LIMITAÇÕES DE PESQUISA	22
1.5.	HIPÓTESE.....	22
1.6.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
1.7.	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	23
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1.	DURABILIDADE E VIDA ÚTIL	24
2.2.	MECANISMOS DE TRANSPORTE DOS ÍONS CLORETO	26
2.2.1.	Permeabilidade.....	27
2.2.2.	Absorção capilar.....	28
2.2.3.	Difusão de íons.....	28
2.2.4.	Migração de íons	29
2.3.	CORROSÃO DAS ARMADURAS INDUZIDAS POR ÍONS CLORETO.	31

2.4.	FATORES QUE INFLUENCIAM O INGRESSO DE CLORETOS NO CONCRETO	35
2.4.1.	Relação água/cimento	35
2.4.2.	Influencia da cura	36
2.4.3.	Temperatura de cura	38
3.	ADITIVOS UTILIZADOS NOS CONCRETOS	40
3.1.	ADITIVOS EM CONCRETOS	40
3.2.	ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES EM BENEFÍCIO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETOS NO CONCRETO	43
4.	MÉTODOS DE ENSAIO.....	46
4.1.	MÉTODOS DE ENSAIO PARA CONTROLE E CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO	46
4.2.	MÉTODOS ACELERADOS PARA AVALIAR A QUALIDADE DO CONCRETO FRENTE AO INGRESSO DE CLORETOS.....	49
4.2.1.	Ensaio de migração de cloretos	50
4.2.2.	Ensaio de penetração acelerada de cloretos	52
4.2.3.	Ensaio rápido de migração (NT BUILD 492).....	56
5.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	59
5.1.	MATERIAIS.....	60
5.2.	MÉTODOS DE ENSAIO	64
5.2.1.	Moldagens dos corpos de prova	65
5.2.2.	Ensaio de penetração acelerada das amostras de concreto	71
6.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	83
6.1.	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETOS EM CONCRETOS COM AS MESMAS RELAÇÕES A/C, COM E SEM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.	83

6.2.	COMPORTAMENTO DOS CONCRETOS, COM E SEM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, EM DIFERENTES RELAÇÕES A/C FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO.	87
6.3.	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO EM CONCRETOS COM DIFERENTES RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO. ..	89
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	112
7.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
7.2.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	114
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
	APÊNDICE A.....	120
	APÊNDICE B.....	120
	ANEXO.....	125

1.INTRODUÇÃO

Nota-se nos dias atuais uma busca crescente por incorporar premissas na construção civil, tanto no período de execução de projetos como de execução de obras, que considerem parâmetros de durabilidade a fim de minimizar ocorrências de manifestações patológicas. Em decorrência, principalmente, do caráter heterogêneo do material a concepção de edificações em estruturas de concreto deve ser realizada considerando a análise criteriosa da interação do material com o meio ambiente ao longo de seu ciclo de vida.

De acordo com Ribeiro (2014), sabe-se que as estruturas de concreto, mediante exposição com o ambiente, sofrem alterações que podem comprometer a sua estabilidade e funcionalidade.

Neste contexto, é importante mencionar a preferência de utilização que tem sido efetuada em relação a este material no setor construtivo brasileiro. Um dos fatores que norteiam esta preferência é a maior durabilidade dos componentes, já que o aço estaria protegido do ambiente externo e, conseqüentemente, de uma agressividade mais intensa.

Entretanto, com o aperfeiçoamento dos sistemas construtivos e dos métodos de cálculo, ao mesmo tempo em que permitiram maiores produtividades somadas a menores custos, também foi responsável pela esbelteza das estruturas, com redução do cobrimento das armaduras e aumento das tensões de trabalho, o que contribuiu decisivamente para uma menor durabilidade das edificações (RIBEIRO, 2014).

Diante do exposto, torna-se válido mencionar um dos maiores agentes promotores da perda de desempenho das estruturas de concreto: as manifestações patológicas do tipo corrosão de armaduras, responsáveis por diminuir a capacidade de carga das estruturas.

A presença do íon cloreto em estruturas de concreto é umas das principais causas da corrosão de armaduras, pois esse íon age tanto na fase de iniciação, com o rompimento pontual do filme passivador, como na aceleração da

propagação do processo corrosivo. Mesmo em condição de pH extremamente elevado os íons cloretos são capazes de despassivar a armadura (RIBEIRO, 2014).

Soma-se como causa da perda de desempenho das estruturas de concreto o aumento da relação a/c no concreto durante a fase de execução. É comum observar, durante o processo de execução do concreto, a adição de água não prevista, buscando-se obter maior trabalhabilidade.

Conhece-se que quanto mais poroso o concreto, maior a intensidade da corrosão. Somado a isso, conforme Sousa (1998), quanto maior a relação a/c maior a porosidade do concreto. De acordo com Neville (2010) o que determina a penetração e deslocamento dos agentes agressivos no concreto é a estrutura da sua pasta de cimento hidratada, as suas características químicas e físicas, a concentração superficial das substâncias agressivas e as condições ambientais.

Em face da procura em executar concretos mais resistentes à penetração de agentes agressivos, em especial os íons cloretos, que façam por melhorar as características atreladas à durabilidade das construções, é importante ressaltar também a presença dos aditivos impermeabilizantes. Ao serem adicionados ao concreto ainda fresco assumem relevante papel na prevenção do surgimento de manifestações patológicas e são utilizados em larga escala na construção civil.

Neste contexto podem ser destacados os aditivos impermeabilizantes por cristalização que se pontuam como uma frequente solução a fim de minimizar processos patológicos futuros, como a corrosão das armaduras.

Os aditivos impermeabilizantes são incorporados, quer sejam no momento da mistura quer sejam no lançamento do concreto, visando favorecer a execução de um concreto menos poroso, com menor permeabilidade e menos sujeito à ação de agentes de deterioração.

Neste trabalho será verificada a influência da relação água/cimento e do uso de aditivo impermeabilizante por cristalização nos concretos frente ao avanço de íons cloreto, fatores estes que influenciam de forma relevante na diminuição da durabilidade e do ciclo de vida do concreto.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual é a influência do uso de aditivos de impermeabilização por cristalização do concreto e distintas relações água/cimento no avanço de íons cloreto nas estruturas de concreto?

1.2. OBJETIVOS

Serão mencionados os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

1.2.1. **Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho de concretos de cimento Portland com aditivo impermeabilizante por cristalização e diferentes relações água/cimento frente à penetração de íons cloreto.

1.2.2. **Objetivos Específicos**

Com a finalidade de atender ao objetivo geral da pesquisa, são propostos os seguintes objetivos específicos:

Analisar o comportamento do concreto no estado endurecido em relação à resistência à compressão, com o uso do aditivo impermeabilizante.

Avaliar o efeito do aditivo no ensaio de penetração de cloretos para as diferentes relações a/c utilizadas.

Avaliar o efeito do aditivo nos ensaios de penetração de cloretos em diferentes idades.

Verificar, por meio de aspersão de nitrato de prata, a penetração de íons cloreto nas amostras de concreto, pós ensaio de penetração acelerada, com

diferentes relações água/aglomerante, com e sem aditivo impermeabilizante e em distintos prazos de cura úmida.

Comparar os resultados dos ensaios de penetração acelerada de íons cloreto com os resultados do ensaio colorimétrico por aspersão de nitrato de prata.

1.3. JUSTIFICATIVAS

1.3.1. Tecnológicas

Caracterizado como um dos principais agentes responsáveis pela corrosão das armaduras a difusão iônica por cloretos pode ser minimizada pela utilização de menores relações água/aglomerante. Conforme Helene (1986) a adoção de uma alta relação (a/ag) somada à ausência de cura impede a formação de uma camada superficial compacta. Dessa forma, todos os fenômenos de penetrabilidade à água, à gases, à absorção d'água, à retenção de fuligem, à difusão de elementos agressivos, entre outros, serão intensificados e comprometerão a proteção da armadura e a durabilidade da estrutura.

Assim, pretende-se com este trabalho verificar a influência de especificações inadequadas de traço, contemplando elevadas relações a/c, bem como o acréscimo não previsto de água no período de execução elevando a porosidade do concreto. Soma-se isto a utilização dos aditivos impermeabilizantes como agentes inibidores ao avanço de íons cloreto na estrutura interna do concreto e o surgimento de manifestações patológicas como corrosão em armaduras.

Conforme Neville (1997) para o concreto atender às solicitações ao longo de sua vida útil, deve haver qualidade e, para isso, a penetrabilidade merece uma atenção especial, pois todas as consequências desfavoráveis decorrem do transporte de fluídos através do concreto.

1.3.2. Econômicas

Efetuar medidas, ainda na fase de projeto e execução (mantendo o processo de acompanhamento e fiscalização), a fim de minimizar o surgimento de manifestações patológicas nos concretos são atitudes mais viáveis economicamente em relação à recuperação das estruturas após a ocorrência das manifestações patológicas.

Os processos corrosivos nas estruturas afetam a capacidade estrutural das edificações exigindo trabalhos de recuperação das armaduras e reforços estruturais, muitas vezes o empreendimento é condenado por contemplar estágios avançados de deterioração.

Conforme Helene (1997), no ponto de vista econômico todas as medidas visando durabilidade, tomadas em nível de projeto e de dosagem do concreto são muitas vezes mais convenientes, mais seguras e mais baratas que aquelas efetuadas posteriormente.

1.3.3. Sociais

Avaliar premissas para preservação das estruturas de concreto e durabilidade ao ataque por cloretos, minimizando processos patológicos futuros, pontua-se como ato benéfico para a sociedade, na medida em que a maior parte das habitações no país é em concreto armado. Além disto, diversos municípios são localizados em proximidade com o mar, onde a névoa marinha é intensamente presente, importante responsável pelo ingresso de íons cloreto nas construções.

Na figura 1 observa-se que a densidade demográfica no Brasil acentua-se na proximidade com a zona litorânea, sendo assim, de forma análoga, tem-se a predominância de edificações nestes polos.

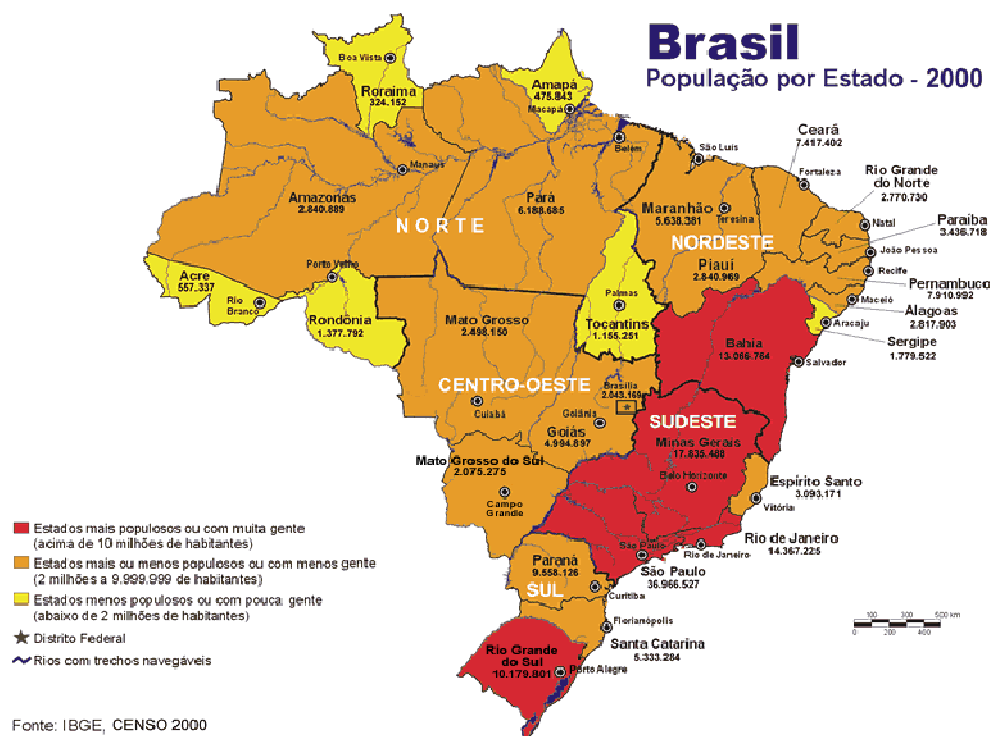


Figura 1. Densidade demográfica no Brasil, população por estado (IBGE, 2014).

O estudo aprofundado do tema poderá conduzir a soluções adequadas que proporcionarão maior segurança e conforto aos usuários. A degradação das estruturas, por meio de processos corrosivos das armaduras do concreto afeta a segurança dos moradores em suas questões de salubridade, segurança (estrutural) e fatores psicológicos dos indivíduos.

De acordo com Agopyan (2011):

A vida útil das construções tem um inequívoco significado social. Os clientes da construção – sejam pessoas físicas, empresas ou órgãos estatais – não têm condições técnicas de estimar a vida útil do bem mais caro que adquirem. Para soluções construtivas tradicionais existe certa expectativa validada pela experiência passada. No entanto, frequentemente, pequenas e invisíveis alterações na constituição de materiais ou em detalhes de projeto podem limitar drasticamente a vida útil do todo ou das partes. Já quando se trata de soluções inovadoras a incerteza na vida útil é elevada, o que incentiva os clientes a fugir dos riscos, impedindo a introdução de inovações, que, eventualmente, podem trazer enormes benefícios econômicos e ambientais. É inegável que vidas úteis menores que as esperadas trazem significativos prejuízos aos usuários, tanto na forma de custos elevados e inesperados de manutenção, como na forma de desvalorização do imóvel ou até de sua perda, muitas vezes, destruindo a poupança de toda uma vida.

Outra questão relevante de ser mencionada, pertinente ao avanço de soluções que visem o aumento da durabilidade das construções, é a diminuição de custos em reparos e manutenções em obras públicas favorecendo maiores condições de investimentos em demandas sociais.

1.3.4. Ecológicas

O avanço em tecnologias que resultem em menores ocorrências de reparo e manutenção implica em redução do impacto ambiental. Assim, haverá menor utilização de recursos naturais em razão de menores exigências de manutenção e recuperação.

Proporcionar características duráveis às edificações é favorecer que o tempo de serviço previsto seja atingido e que sejam minimizados retrabalhos construtivos e demolições, necessitando novas construções e comprometendo questões ambientais com a poluição atmosférica e descarte de materiais.

Conforme Agopyan (2011) a decomposição do calcário em fornos a altas temperaturas é uma fonte importante de CO para a construção civil. Cada tonelada de calcário libera 440kg de CO₂ e gera apenas 560kg de material. Materiais vitais para a construção, como cimento, o aço e a cal hidratada dependem desse processo de calcinação.

Segundo o inventário nacional, em 2005 a indústria cimenteira nacional foi responsável por cerca de 1,4% das emissões totais de CO₂. Se foram excetuadas as emissões de CO₂ associadas à mudança do uso do solo e das florestas a parcela da indústria cimenteira atinge cerca de 6,1% das emissões totais.

Ainda de acordo com Agopyan (2011):

Quando um produto, seja por degradação física ou por obsolescência funcional ou estética, chega ao fim de sua vida útil, transforma-se em resíduo, e quase na totalidade dos casos, precisa ser repostado, renovando os impactos ambientais associados a sua produção e a seu transporte. Um aumento da vida útil implica uma redução de velocidade do fluxo de materiais. Em consequência, a demanda por matérias primas e a geração de resíduos e todos os impactos associados ao processamento e ao transporte são reduzidos.

1.4. LIMITAÇÕES DE PESQUISA

Por limitações de tempo e recursos para a realização da pesquisa não foi possível abordar neste trabalho maior número de variáveis, como: utilização de outros tipos de cimentos e adições além de outras idades de cura.

Não foi possível também efetuar outros ensaios que visem avaliar a penetração de cloretos, podendo lograr maior quantidade de dados comparativos. Outros ensaios que promovam a melhor caracterização do concreto, também não foram realizados em função das limitações supracitadas.

É importante também mencionar que há escassez de bibliografia no que se refere aos ensaios acelerados de penetração de cloretos. A maior quantidade de fontes de pesquisas obtidas foram trabalhos acadêmicos e artigos, nacionais e internacionais.

1.5. HIPÓTESE

O avanço do ataque por cloretos em estruturas de concreto pode ser minimizado pelo uso de aditivos impermeabilizantes e adoção de baixas relações água/aglomerante nos concretos.

1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente será realizada revisão bibliográfica, junto às normas aplicáveis, artigos científicos, dissertações, teses, monografias e livros editados sobre o assunto.

Após, será realizado projeto experimental com intuito de alcançar os objetivos propostos neste trabalho.

Finalmente a pesquisa fará uma análise dos resultados obtidos.

1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 1 apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre durabilidade e vida útil, agentes determinantes da durabilidade em estruturas do concreto, como transporte de íons cloreto e corrosão de armaduras induzidas por íons cloreto além ainda de explanar sobre fatores que influenciam o ingresso de íons cloreto no concreto.

O Capítulo 3 trata sobre a utilização de aditivos em concretos, abordando sua utilização em âmbito geral e em uso específico em benefício da resistência à penetração de íons cloreto em concreto, por meio de aditivos impermeabilizantes.

O Capítulo 4 aborda métodos de ensaios em concretos a fim de caracterizar e efetuar controle das amostras além de proporcionar subsídios, técnicos e práticos, para viabilizar o experimento de avaliação de penetração de cloretos. Aborda ainda os ensaios acelerados para avaliar a qualidade do concreto frente o ingresso de íons cloreto.

O Capítulo 5 contempla o procedimento experimental, contemplando os materiais utilizados e métodos de ensaio utilizados.

O Capítulo 6 apresenta a análise dos resultados deste estudo com base na metodologia ASTM C1202 e NT BUILD 492, apresentando os efeitos do aditivo impermeabilizante por cristalização do concreto e diversas relações a/c na penetração de cloretos.

O Capítulo 7 apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em decorrência da magnitude de utilização do material concreto no mundo, questões atreladas a sua durabilidade devem ser intensamente consideradas, neste contexto diversos autores têm-se voltado ao estudo e pesquisa por aspectos no âmbito da durabilidade das estruturas de concreto.

Considerando o concreto um material poroso em essência e que muito de seus aspectos duráveis estão relacionados à possibilidade de redução da permeabilidade do material ao ingresso de agentes agressivos (dentre os principais, os íons cloretos) torna-se relevante também melhor conhecer os mecanismos de transporte destes agentes.

Visando nortear este trabalho, são apresentados neste capítulo conceitos de durabilidade e vida útil, mecanismos de transporte de íons cloreto, corrosão de armaduras induzidas por íons cloreto e fatores que influenciam o ingresso de cloretos no concreto.

2.1. DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

Conforme Neville (2010) a durabilidade do concreto é uma de suas propriedades mais importantes, pois é essencial que ele seja capaz de suportar as condições para as quais foi projetado durante a vida da estrutura.

Sendo assim, torna-se importante definir o termo durabilidade, no contexto das estruturas de concreto. Para efeito, resgata-se o exposto na NBR 6118 (ABNT, 2014) que define durabilidade como a capacidade da estrutura em resistir às influências previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Ainda conforme a supracitada norma, as estruturas de concreto armado devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, sua estabilidade e sua aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil, estabelecida pelo contratante.

Segundo Ribeiro (2014) o concreto é considerado durável quando desempenha as funções que lhe foram atribuídas, mantendo a resistência e a utilidade esperada, durante o período previsto.

Mehta e Monteiro (1994) definem durabilidade do concreto de cimento Portland como a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente.

Conforme NBR 15575-1 (ABNT, 2013) a durabilidade do edifício e de seus sistemas é uma exigência do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel. A norma explana que a durabilidade de um produto extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional.

De acordo com Sousa (1998), a combinação dos agentes ambientais (temperatura, umidade, chuva, vento, salinidade e agressividade química ou biológica) transportados para a massa de concreto, assim como a resposta dessa massa a tal ação, constituem os principais elementos do processo de caracterização da durabilidade, sendo a água (ou umidade) o elemento principal de toda a questão, considerados adequados os mecanismos de resistência.

O requisito da durabilidade deve ser considerado de forma análoga à dos demais requisitos (resistência estrutural, resistência de incêndios, etc.) que juntos, vão convergir para definir o projeto ótimo da estrutura, ou seja, a solução de projeto que poderá garantir, ao menor custo, a satisfação de todos os requisitos (BERTOLINI, 2010).

Ainda, conforme Bertolini (2010):

Pode-se definir a vida útil de uma estrutura como período durante o qual a estrutura é capaz de garantir não apenas sua estabilidade, mas todas as funções para as quais foi projetada. O conceito de durabilidade é estreitamente associado à definição de vida útil de projeto (ou expectativa): uma estrutura só pode ser considerada durável se sua vida útil for pelo menos igual à sua vida útil requerida na fase de projeto, o requisito de durabilidade de uma estrutura é portanto necessário.

Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) o período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário pré-estabelecidas é denominado de vida útil.

A associação de durabilidade e vida útil é inevitável. Conhecidas ou estimadas as características de deterioração do concreto, entende-se como durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, e definindo, então a vida útil da mesma. (SOUSA, 1998),

Segundo Mehta e Monteiro (1994) “de uma maneira geral, o futuro do concreto não vai ser determinado por tecnologias sofisticadas, aplicáveis a casos específicos, mas pelos esforços de todos em resolver os problemas dos que lidam com o dia-a-dia dos concretos convencionais. O objetivo principal das construções de hoje deve mudar da resistência para a durabilidade”.

Ainda conforme Mehta e Monteiro (1994) e Sousa (1998) para o concreto convencional a questão da resistência não é o principal ponto da preocupação, já que poderá ser obtida de forma trivial, mas sim que os maiores esforços devem ser dirigidos à obtenção, por meios simples, de concretos duráveis, ou seja, de concretos com baixos índices de porosidade e permeabilidade.

2.2. MECANISMOS DE TRANSPORTE DOS ÍONS CLORETO

A durabilidade do concreto em muito depende da facilidade com o qual os fluidos, tanto líquidos como gases, podem penetrar no concreto e deslocar-se no seu interior. Esta característica, conforme Neville (2007) é geralmente, mencionada como permeabilidade do concreto. Este deslocamento depende, basicamente, da estrutura da pasta de cimento hidratado. Face ao exposto, Mehta e Monteiro (1994) salientam que a durabilidade mantém uma relação direta com a estrutura de poros e com as microfissuras da pasta do cimento.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) a água é considerada o principal agente de degradação de materiais, pois é capaz de penetrar em poros extremamente finos, possui elevada temperatura de evaporação e dissolve mais substâncias do que qualquer outro líquido, incluindo íons agressivos que podem causar a decomposição química de materiais sólidos. Os mecanismos de transporte mais importantes são a permeabilidade, a difusão, a absorção capilar e a migração, podendo ainda existir a combinação entre eles.

2.2.1. Permeabilidade

A permeabilidade é definida como o fluxo de um fluido devido a um gradiente de pressão, sendo caracterizada pela facilidade com que um fluido atravessa um sólido poroso sob uma diferença de pressão. (RIBEIRO, 2014 e MEHTA e MONTEIRO, 1994)

Segundo Neville (2010), a permeabilidade é a facilidade com a qual líquidos ou gases podem se movimentar através do concreto. Esta propriedade é de interesse para a estanqueidade das estruturas destinadas à contenção de líquidos e para o ataque químico.

Ainda de acordo com Neville (2010):

A permeabilidade da pasta de cimento hidratada como um todo é maior devido à presença de poros capilares maiores. Como a porosidade capilar é governada pela relação água/cimento e pelo grau de hidratação, a permeabilidade da pasta de cimento é também, principalmente, dependente desses parâmetros. Para um determinado grau de hidratação, a permeabilidade é menor para pastas de relações água/cimento menores, especialmente abaixo da relação água/cimento próxima a 0,6, na qual os poros se tornam segmentados ou descontínuos. Para uma determinada relação água/cimento, a permeabilidade diminui conforme continua hidratação do cimento e o preenchimento de parte do espaço da água original, sendo a redução da permeabilidade mais rápida quanto menor for a relação água/cimento.

Cascudo (1997) considera que a estrutura porosa da pasta de cimento endurecida é o que influencia decisivamente no transporte de substâncias dentro do concreto, já a distribuição do tamanho dos poros interfere na velocidade do transporte.

Conforme Helene (1986) a permeabilidade da pasta de cimento depende da relação água/cimento e do grau de hidratação do mesmo. A permeabilidade da pasta com 1 dia de idade pode ser dez mil vezes superior à permeabilidade da mesma pasta com 7 dias e cerca de um milhão de vezes maior do que 28 dias. Com 28 dias um cimento Portland comum pode estar ainda com apenas cerca de 70% de fração hidratada, contendo muita água livre e passível de ser transportada por uma forte pressão externa.

Segundo Sousa (1998) de maneira resumida a deterioração do concreto pela atuação dos agentes agressivos será tão menor quanto menores forem seus índices de permeabilidade e porosidade. Assim, duas condições principais devem ser satisfeitas: reduzido fator água/cimento e maior tempo possível de impedimento de evaporação da água de hidratação da pasta (cura).

2.2.2. Absorção capilar

Pode-se definir absorção capilar como o fluxo de um fluido devido a um gradiente de umidade. Outra definição consiste que é o transporte de líquidos devidos à tensão superficial atuante nos poros capilares do concreto.

A absorção de água no concreto é um dos fatores mais difíceis de serem controlados. Em princípio, quanto menor o diâmetro dos capilares, maiores as pressões capilares e conseqüentemente, maior e mais rápida a absorção (SOUSA, 1998).

Conforme Helene (1986), reduções na relação água/cimento parecem contribuir para reduzir a absorção capilar (altura da coluna). Em contrapartida, concretos porosos absorvem pouca água por capilaridade, mas acarretam outros problemas insuperáveis de permeabilidade e carbonatação acentuada.

2.2.3. Difusão de íons

Processo no qual ocorre o transporte de substâncias de um meio para o outro devido a uma diferença de potencial químico, muitas vezes de

concentração. Caracteriza-se por ser um processo espontâneo de transporte de massa por efeito de gradientes de concentração, proporcionado por dois diferentes meios em contato íntimo através dos quais as substâncias se difundem para igualar as concentrações.

O supracitado fenômeno ocorre tanto para substâncias presentes em meio líquido como para aquelas em meio gasoso. Os dois principais agentes agressivos que comprometem as armaduras do concreto, os íons cloreto e o dióxido de carbono (CO_2), têm a sua penetração controlada por esse fenômeno (RIBEIRO,2014).

Neville (1997) define difusão como sendo o deslocamento de um fluido através do concreto, devido a uma diferença de concentração e não de pressão, a difusão é um processo que equilibra as diferentes concentrações.

A difusão de íons cloreto ocorre quando a concentração do lado de fora do concreto é maior do que a do lado de dentro. Havendo umidade suficiente para este movimento, os íons cloreto deslocam-se de regiões de alta concentração (elevada energia) para regiões de baixa concentração (baixa energia).

Pode-se concluir que, conforme Cascudo (1997), a permeabilidade à água e a absorção d'água de um concreto são características que refletem a sua qualidade. Um concreto será de mais baixa qualidade quando ele apresentar maiores índices de permeabilidade e absorção, embora haja o caso de se ter um aumento da absorção capilar, pela diminuição do diâmetro dos capilares, quando se reduz excessivamente a relação água/cimento.

2.2.4. Migração de íons

A migração iônica é o processo de transporte que ocorre quando existe um potencial elétrico que possibilita o deslocamento dos íons presentes para que se neutralize o efeito da diferença de potencial (RIBEIRO,2014).

A migração é o fluxo de íons, através dos poros do material, em campo elétrico, devido a uma diferença de voltagem. Em estruturas reais, esse procedimento ocorre nos ensaios de extração de cloretos de estruturas

contaminadas por aplicação de potencial e nas que são submetidas à realcalinização. Esse procedimento é um mecanismo eletroquímico de reparação de estruturas de concreto e é muito utilizado para ensaios acelerados a fim de determinar a penetrabilidade do concreto ao íon cloreto.

A migração é bem caracterizada no ensaio da ASTM C1202 que se configura como um dos mais utilizados para avaliar a resistência à penetração de cloretos em concretos. Este procedimento consiste em aplicar uma diferença de potencial de 60V a qual induz os íons cloreto a atravessar a uma fatia de concreto. Neste método há um predomínio do mecanismo de migração iônica, pois a elevada tensão permite desprezar as forças de difusão e com o concreto saturado não existe absorção.

Conforme Cascudo (1997), sendo os cloretos íons com carga elétrica negativa é de se esperar que as ações de campos elétricos promovam uma migração iônica. No concreto a migração pode se dar pelo próprio campo gerado pela corrente elétrica do processo eletroquímico.

Em suma pode-se afirmar que, na grande maioria dos casos, os mecanismos de transporte dos cloretos presentes no concreto são a absorção capilar e a difusão iônica. A absorção se dá numa camada superficial do concreto, geralmente onde ocorre a molhagem e secagem do cobrimento pela ação das intemperes, mas para o interior do concreto onde a presença do eletrólito é mais constante, tem se basicamente a difusão (CASCUDO, 1997).

A figura 2 demonstra, em síntese, os mecanismos de transporte de íons cloreto nas estruturas de concreto.

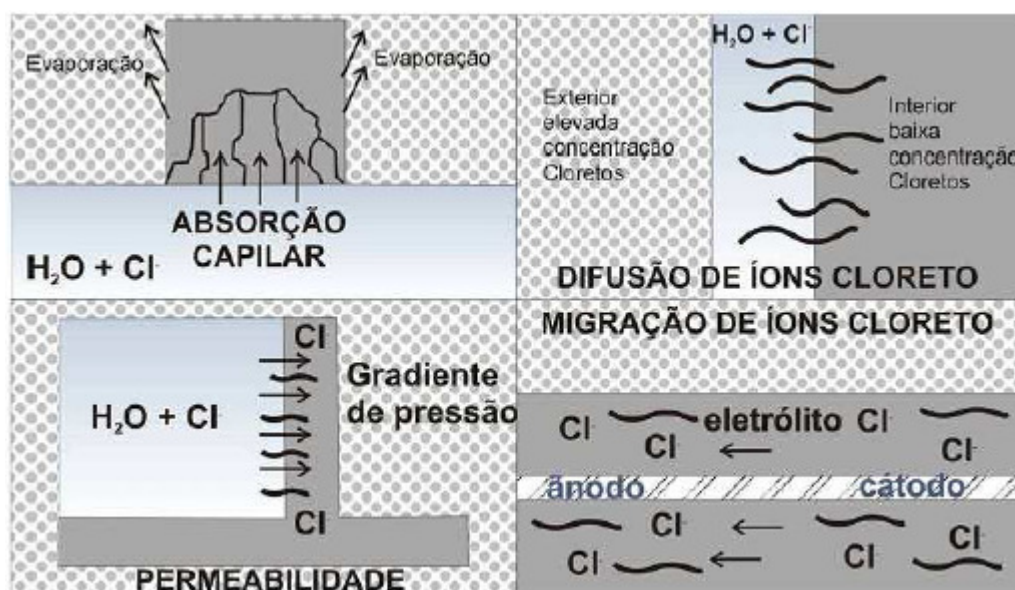


Figura 2. Formas de penetração dos íons cloreto no concreto (HELENE, 1993).

2.3. CORROSÃO DAS ARMADURAS INDUZIDAS POR ÍONS CLORETO

De maneira geral, a corrosão pode ser definida como um processo de deterioração do material devido à ação química e eletroquímica do meio ambiente, resultando na perda de massa do material (RIBEIRO, 2014 e SOUSA, 1998).

De acordo com Sousa (1998) no caso das barras de aço imersas no meio concreto, a deterioração é caracterizada pela destruição da película passivante existente ao redor de toda a superfície exterior das barras. Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto.

Conforme Sousa (1998) os mecanismos de geração de corrosão, por destruição da camada óxida de revestimento protetor das barras são:

- a) Corrosão por tensão fraturante: é o caso dos aços que são submetidos a grandes esforços mecânicos (protensão) e que, em presença de meio agressivo, podem sofrer fratura frágil, resultando na perda de condição para a sua utilização;

b) Corrosão pela presença de hidrogênio atômico, que fragiliza e fratura os aços;

c) Corrosão por pite, que pode revelar-se segundo duas formas: localizada, caracterizada pela ação de íons agressivos (cloretos, em especial), sempre que haja umidade e presença de oxigênio; generalizada, função da redução do PH do concreto para valores inferiores a 9, pela ação do CO_2 existente no ar atmosférico - transportado através dos poros e fissuras do concreto sobre o cimento hidratado. É a chamada carbonatação.

Os três tipos de corrosão são representados na figura 3.

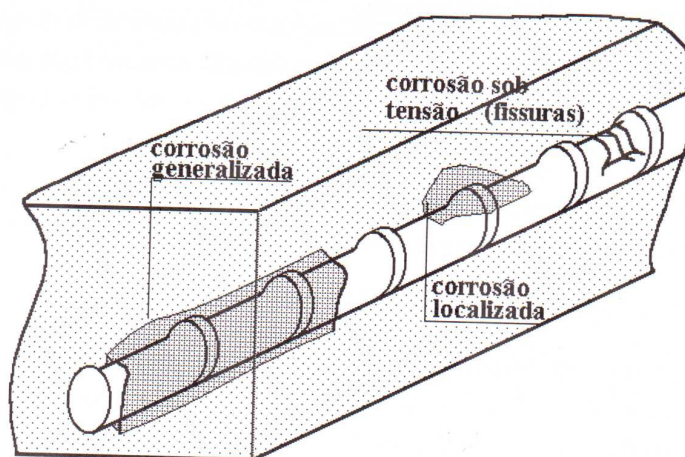


Figura 3. Tipos de corrosão de uma barra de aço imersa em meio concreto (SOUSA,1998).

O processo corrosivo é oriundo da necessidade do material em atingir o seu estado de menor energia, que é o seu estado estável.

Segundo Ribeiro (2014):

A maioria dos metais é encontrada na natureza na forma de compostos, como óxidos e hidróxidos, já que nessa forma eles apresentam um estado mínimo de energia. Quando esses metais são processados, passam a adquirir o estado metálico, porém ao entrarem em contato com o meio ambiente, passam a reagir espontaneamente, se transformando em composto, que apresenta um menor estado de energia. O ferro, por exemplo, que é o principal componente da armadura de aço utilizada na estrutura de concreto, reage com o meio ambiente, se transformando principalmente em $\text{Fe}^{2+}\text{O}^{3-}$ hidratado, conhecido como ferrugem, que apresenta um estado de energia menor e, portanto, mais estável que o do ferro metálico.

Uma das principais causas da corrosão das armaduras é o íon cloreto, sua corrosão ocorre de forma localizada, rompendo pontualmente o filme de passividade. Esta corrosão é portanto do tipo puntiforme ou por pite (figura 4).

Estas crateras são o ânodo da pilha de corrosão, progredindo em profundidade podendo gerar ruptura pontual das barras (ANDRADE, 1992).

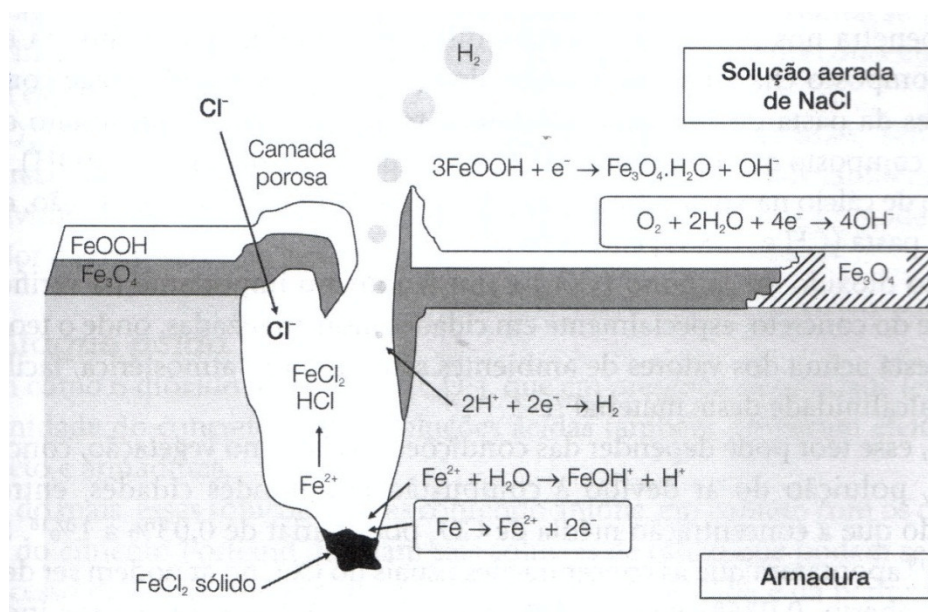


Figura 4. Representação esquemática da corrosão por pite (RIBEIRO, 2014).

O efeito do cloreto de sódio na corrosão decorre do fato deste sal ser um eletrólito forte, ocasionando, portanto, aumento da condutividade, que é fundamental no mecanismo eletroquímico de corrosão.

O processo de corrosão do aço é eletroquímico (dá-se pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito-solução aquosa existente no concreto em contato com um condutor metálico, a própria barra de aço). A presença de átomos de ferro à superfície aquosa, transformando-se em cátions ferro (Fe^{++}), com o consequente abandono da barra de aço à carga negativa, instalam a diferença de potencial (SOUSA, 1998).

Ainda de acordo com Sousa (1998), desta maneira cria-se um efeito pilha onde a corrosão instala-se pela geração de uma corrente elétrica dirigida do anodo para o catodo, através da água, e do catodo para o anodo, através da diferença de potencial (figuras 5 e 6).

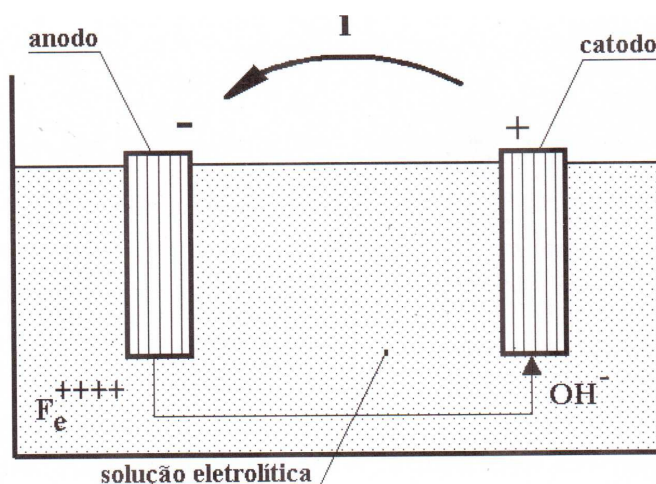


Figura 5. Formação de semipilha em meio de concreto armado (SOUSA, 2014).

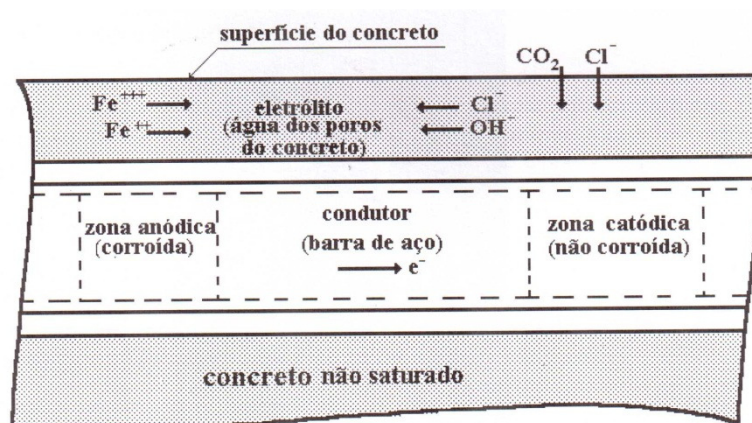


Figura 6. Célula de corrosão em meio de concreto armado (SOUSA, 2014).

Segundo Ribeiro (2014) pesquisas indicam que a quantidade de íons cloreto necessária para despassivar uma armadura está relacionada com a concentração de íons hidróxidos presentes nos poros. Fatores, como a inexistência de oxigênio dentro dos poros, a elevada resistividade ou a própria qualidade do concreto podem alterar o valor crítico entre as massas de cloretos e de cimento.

Por exemplo, uma pequena variação no pH do concreto pode conduzir a uma enorme variação do número de íons hidróxidos disponíveis dentro dos poros e, conseqüentemente, alterar a relação OH^-/Cl^- . Da mesma forma, concretos com elevada resistividade ou secos não terão água suficiente nos poros

para transportar os íons cloretos até a armadura. Por isso mesmo em presença de concentrações muito elevadas de cloretos dentro do concreto, o processo corrosivo tenderá a não ocorrer no caso de o concreto estar seco.

De acordo com Andrade (1992):

O teor de umidade é o fator que mais influi na velocidade de corrosão. Se os poros estão saturados de umidade, ainda que a resistividade seja a menor possível e, portanto, a pilha de corrosão terá seu desenvolvimento muito facilitado, o oxigênio terá primeiro que se dissolver na água para poder alcançar a armadura. Nestas condições diz-se que o processo está controlado pelo acesso de oxigênio, e as velocidades de corrosão não serão as mais elevadas se não moderadas e inclusive muito baixas, como é o caso das estruturas situadas a certa profundidade. Quando os poros contêm pouquíssima umidade, a resistividade é muito elevada e o processo de corrosão fica muito dificultado. Neste caso a velocidade de corrosão será baixa, ainda que o concreto se mostre carbonatado e contaminado de cloretos.

Ainda conforme Andrade (1992) os cloretos podem estar no concreto, seja porque foram adicionados em seus componentes ou porque penetrem desde o exterior através da rede de poros.

2.4. FATORES QUE INFLUENCIAM O INGRESSO DE CLORETOS NO CONCRETO

2.4.1. **Relação água/cimento**

A porosidade capilar em estruturas de concreto é governada pela relação água/cimento e pelo grau de hidratação, a permeabilidade da pasta é também dependente desses parâmetros. A permeabilidade é a facilidade com a qual os líquidos e gases podem se movimentar através do concreto, essa propriedade é de interesse para a estanqueidade das estruturas destinadas à contenção de líquidos e para o ataque químico (NEVILLE, 2010).

Entretanto, é importante ressaltar que é possível que dois corpos porosos tenham porosidades semelhantes, mas permeabilidades distintas. De fato, somente a existência de uma grande abertura conectando os poros capilares irá resultar em uma grande capilaridade enquanto a porosidade irá continuar praticamente a mesma.

Do ponto de vista da durabilidade, é importante a obtenção de uma baixa permeabilidade o mais rápido possível. Consequentemente, uma mistura com baixa relação água/cimento é vantajosa por alcançar o estágio de segmentação dos poros após curto período de cura úmida.

Conforme Ribeiro (2014):

A porosidade e permeabilidade também apresentam uma parcela relevante na facilidade de penetração dos cloretos. Alguns estudos demonstram que a diminuição na distribuição do volume dos poros na matriz cimentícia, devido à incorporação de agregados mais finos ou adições minerais, pode levar à redução significativa da penetração desses íons. Isso ocorre, pois a diminuição dos diâmetros dos poros tende a dificultar a difusão (concretos com menores coeficientes de difusão aparente) e, consequentemente, provocar um incremento da resistência ao ataque dos sais à base de cloreto.

2.4.2. **Influencia da cura**

Objetivando-se lograr um concreto de boa qualidade, o lançamento deve ser seguido pela cura em um ambiente adequado durante os primeiros estágios de endurecimento. Entende-se como cura os procedimentos utilizados para promover a hidratação do cimento e, com isso, o desenvolvimento de sua resistência. Os procedimentos de cura consistem em controle da temperatura e do movimento de água de dentro para fora do concreto e vice-versa, que afetam não somente a resistência, mas também a durabilidade (NEVILLE, 2010)

Ainda conforme Neville (2010), a necessidade de cura decorre do fato de que a hidratação do cimento somente pode ocorrer em capilares preenchidos com água, sendo esta a razão da prevenção da perda de água pelos poros. Soma-se a isto, a água perdida internamente pela autodessecação deve ser substituída pela água exterior, ou seja, deve ocorrer o ingresso de água no concreto.

É importante destacar a influencia da cura na resistência do concreto. Conforme Neville (2010) pode-se notar a influencia de diferentes períodos de cura em um concreto com a relação água/cimento 0,50. Observa-se que concretos com 28 dias de cura atingem resistência superior a datas anteriores e que esta resistência se mantém até os 90 dias, data esta que se inicia um processo gradativo de diminuição da resistência. Em contrapartida, no caso do concreto

continuamente molhado, ocorre um ganho crescente de resistência, conforme pode ser visualizado na figura 7.

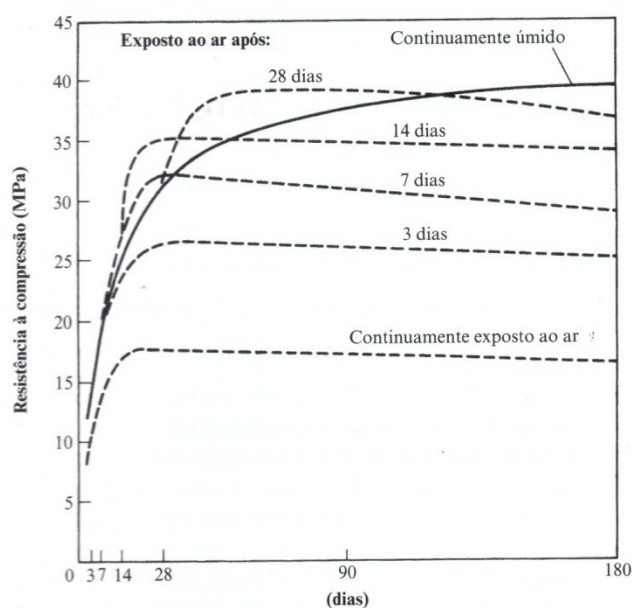


Figura 7. Influência da cura úmida na resistência de um concreto com relação água /cimento igual a 0,50 (NEVILLE, 2010).

Conforme método britânico de dosagem, observa-se a correlação entre resistência à compressão e relação água/cimento, nota-se a relação inversa entre estas duas propriedades, quanto menor a relação água cimento maior sua resistência, figura 8. Neste contexto, ao se executar um concreto com maior tempo de cura, elevando sua resistência e baixando sua relação água cimento, tem-se um concreto menos poroso, menos sujeito a agentes agressivos e mais durável.

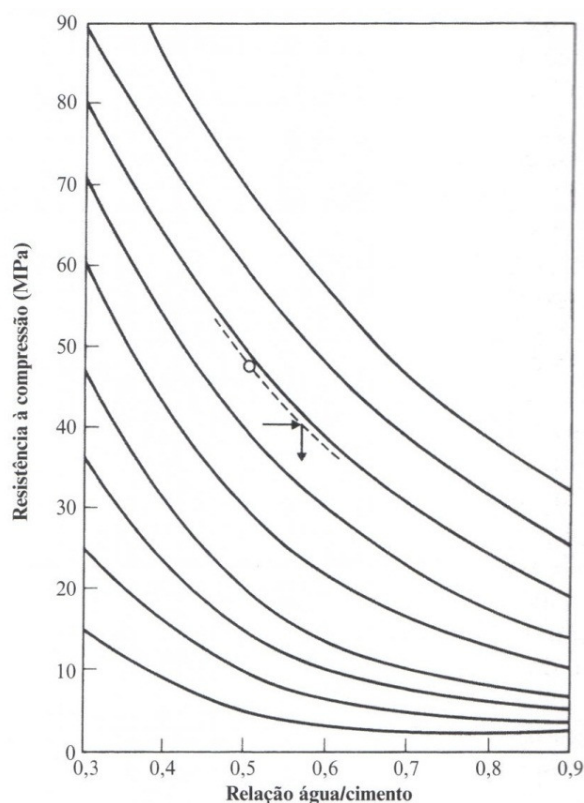


Figura 8. Relação entre resistência à compressão e relação água/cimento (NEVILLE, 2010).

2.4.3. Temperatura de cura

Normalmente, quanto maior a temperatura do concreto no lançamento, maior o desenvolvimento da resistência inicial, mas menor a resistência em longo prazo. Deste fato decorre a importância da redução da temperatura do concreto fresco nas concretagem em climas quentes. A mencionada ocorrência explica-se pelo fato de que a rápida hidratação inicial causa uma distribuição não uniforme do gel de cimento com uma estrutura física mais pobre, provavelmente mais porosa que a estrutura desenvolvida em temperaturas normais (NEVILLE, 2010).

Segundo Neville (2010), mediante uma temperatura inicial alta, não há tempo disponível suficiente para que os produtos de hidratação se afastem dos grãos de cimento e para uma precipitação uniforme nos espaços intersticiais. Como resultado, a concentração de produtos hidratados se localiza nas proximidades dos grãos de cimento em hidratação, um processo que retarda a hidratação subsequente e, com isso, o desenvolvimento da resistência em longo prazo.

Conforme as ocorrências mencionadas, resistência inferior à prevista e possibilidade de uma estrutura do concreto mais porosa satisfazem as condições necessárias para a produção de um concreto mais exposto frente à ação dos íons cloreto.

3.ADITIVOS UTILIZADOS NOS CONCRETOS

3.1. ADITIVOS EM CONCRETOS

Conforme Neville (2010), muitas vezes em vez da utilização de um cimento especial, é possível alterar algumas das propriedades dos cimentos de uso mais comum pela incorporação de aditivos para concreto. Existe um grande número de produtos registrados disponíveis. Seus efeitos desejados são descritos pelos fabricantes, mas alguns outros efeitos podem não ser conhecidos, de modo que um enfoque cauteloso, incluindo ensaios de desempenho, torna-se relevante. Os aditivos químicos são, essencialmente, os redutores de água (plastificantes), retardadores de pega, aceleradores e impermeabilizantes.

Os aditivos aceleradores são aqueles que aceleram o endurecimento ou o desenvolvimento da resistência inicial do concreto. Um exemplo de aditivo acelerador de pega é o carbonato de sódio, que é utilizado para promover a pega imediata no concreto projetado. Isso afeta negativamente a resistência, mas torna possível a realização de reparos urgentes. Outros exemplos de aditivos aceleradores de pega são cloretos de alumínio, carbonato de potássio, fluoreto de sódio, aluminato de sódio e sais férricos (NEVILLE, 2010).

É importante mencionar que a utilização de aditivos aceleradores a base de cloreto de cálcio, apesar de efeitos benéficos como aumento da resistência inicial à compressão, resistência à erosão e à abrasão, seu uso reduz a resistência do cimento ao ataque por sulfatos e o risco da reação álcalis agregado é aumentado em caso de agregados reativos, além ainda de aumentar a retração e a fluência.

Vale frisar que de acordo com Neville (2010) a possibilidade de corrosão da armadura pelo cloreto de cálcio tem sido objeto de controvérsia. Quando utilizado nas proporções corretas, verificou-se que, em alguns casos, o cloreto de cálcio causou corrosão, enquanto em outros a corrosão não ocorreu. A explicação provavelmente está associada à distribuição não uniforme dos íons cloretos com a migração destes íons em concretos permeáveis, acompanhada pelo ingresso de umidade e oxigênio, especialmente em condições quentes.

Os retardadores de pega são aditivos que retardam a pega do concreto e são úteis em concretagens em climas quentes, onde o tempo normal de pega é diminuído pela temperatura, e na prevenção da formação de juntas frias entre camadas sucessivas. De forma geral, com o uso do retardador também ocorre um atraso no endurecimento, uma propriedade útil para obtenção de acabamentos superficiais arquitetônicos com agregados expostos.

Os aditivos redutores de água (plastificantes) são utilizados para: obter uma resistência mais elevada pela redução da relação água/cimento para a mesma trabalhabilidade de uma mistura sem aditivo; para obter a mesma trabalhabilidade pela redução do teor de cimento, bem como para reduzir o calor de hidratação em concreto massa e para aumentar a trabalhabilidade de modo a facilitar o lançamento em locais inacessíveis.

De acordo com Neville (2010):

Os principais componentes ativos dos aditivos redutores de água são agentes tensoativos que se concentram na interface entre duas fases imiscíveis e que alteram as forças físico-químicas nessa interface. Os agentes tensoativos são absorvidos pelas partículas de cimento, dando a elas cargas negativas, que causam repulsão entre as partículas, resultando na estabilização de sua dispersão. Bolhas de ar também são repelidas e não podem aderir às partículas de cimento. Além disso, a carga negativa causa o desenvolvimento de invólucro de moléculas de água orientadas em volta de cada partícula, separando-as. Em função disto ocorre uma grande mobilidade de partículas e a água, livre da ação restritiva do sistema floculado, torna-se disponível para lubrificar a mistura e aumentar a trabalhabilidade.

Ainda conforme Neville (2010), a redução da quantidade de água de amassamento, pelo uso dos aditivos, varia entre 5 e 15%. Uma parte, em muitos casos é devido ao ar incorporado introduzido pelo aditivo. Os aditivos redutores de água nem sempre melhoram a coesão do concreto. Aditivos a base de ácido lignossulfônico normalmente melhoram a coesão por promoverem a incorporação de ar, entretanto algumas vezes é necessário o uso de um agente desincorporador de ar para evitar o excesso de ar.

A capacidade dispersante dos aditivos redutores de água resulta em uma maior área superficial de cimento exposta à hidratação, ocasionando um aumento da resistência nas idades iniciais quando comparado com uma mistura

sem aditivo e com mesma relação água/cimento. A resistência em longo prazo também pode ser aumentada devido a uma distribuição mais uniforme do cimento por todo o concreto.

A fim de promover a trabalhabilidade necessária para a moldagem dos corpos de prova, principalmente aqueles com menores relações água cimento e com uso de aditivo impermeabilizante, adotou-se nas misturas deste trabalho de pesquisa aditivo plastificante mid-range de pega normal, MC-TecniFlow 530 da MC Bauchemie na dosagem de 0,3%.

Segundo o fabricante, o MC-TechniFlow trata-se de uma nova geração de plastificante para a produção de concreto que une as características de robustez dos aditivos clássicos com as melhores propriedades de dispersão dos plastificantes de tecnologia de última geração.

Concretos produzidos com este aditivo possuem uma pasta de cimento mais densa e homogênea, bem como uma redução da permeabilidade. Por intermédio da possibilidade de redução do volume de água da mistura, mantendo-se a mesma consistência e consumo de cimento, obtêm-se uma mistura com um fator água/cimento menor e, portanto, com maiores resistências e menores efeitos capilares.

Caso o volume de água não seja reduzido, obtém-se uma melhora da trabalhabilidade do concreto, o que reduzirá a necessidade de adensamento. Deve ser adicionado no início do processo de mistura ou também junto com a água da mistura.

O aditivo plastificante MC- TechFlow 530 é indicado para uso em concreto usinado ou dosado na obra, concreto bombeável e concreto protendido e suas propriedades principais são:

- a) Pode ser utilizado como plastificante ou superplastificante dependendo da dosagem;
- b) Reduz a tensão superficial da água da mistura;
- c) Boa dispersão das partículas de cimento;
- d) Melhora a trabalhabilidade;
- e) Ganho de tempo devido à facilidade da aplicação do concreto;

- f) Melhora o adensamento junto à armadura;
- g) Não provoca retardo no tempo de pega.

Conforme Neville (2010) os aditivos impermeabilizantes podem atuar de diversas maneiras, mas seu efeito é principalmente, tornar o concreto hidrófobo, ou seja, a água é repelida devido ao aumento do ângulo de contato entre as paredes capilares e ela. Os aditivos impermeabilizantes devem ser diferenciados de hidrorrepelentes (ou hidrofufantes), baseados em resinas de silicone, que são aplicados sobre a superfície do concreto. As membranas impermeabilizantes são revestimentos à base de emulsões asfálticas que produzem uma película resistente com propriedades elásticas.

Para o presente trabalho foi utilizado aditivo impermeabilizante que age pelo efeito cristalizante na microestrutura do concreto e que será melhor detalhado no capítulo seguinte.

3.2. ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES EM BENEFÍCIO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETOS NO CONCRETO

O concreto absorve água devido à tensão capilar dos poros da pasta de cimento hidratada “puxar” a água por sucção capilar; o objetivo dos aditivos impermeabilizantes é evitar essa penetração. Seu desempenho é muito dependente da pressão da água; se é baixa, como o caso de chuva (sem ação do vento) ou ascensão capilar ou se existe pressão hidrostática, como no caso de estruturas de contenção de água (NEVILLE, 2010).

Neste contexto, o presente trabalho objetiva analisar o desempenho de concretos com diferentes relações água/cimento e utilizando-se de aditivo impermeabilizante, e para este foi adotado o aditivo para impermeabilização e proteção do concreto por cristalização Xypex Admix C-500 da MC Bauchemie.

A opção pela adoção deste produto decorre do fato de ser um produto composto de diversos químicos ativos que apresentam como função principal

bloquear os poros e capilares preenchendo o concreto e tornando-o menos permeável à penetração de água ou de líquidos de qualquer direção. Assim, proporciona-se maior controle de permeabilidade e prevenção à penetração de químicos agressivos.

O produto é em base cimentícia (consiste em uma mistura de cimento Portland, sílica e diversas substâncias químicas ativas), embalado na forma de pó, quando adicionado ao concreto as substâncias ativas reagem com a umidade do concreto fresco e com os subprodutos da reação de hidratação do cimento, causando uma reação catalítica. Esta reação gera uma formação cristalina insolúvel nos poros e capilaridades do concreto tornando-o selado contra a penetração de água ou substâncias agressivas.

O produto aproveita-se dos subprodutos do cimento que não conseguiram se hidratar. Os químicos ativos de aproveitam da porosidade e das características químicas do concreto reagindo com os subprodutos do cimento e umidade para produzir uma estrutura cristalina, não solúvel, que se converte em parte integrante da matriz do concreto. Os poros e capilares são bloqueados e as microfissuras são preenchidas tornando o concreto impermeável contra a penetração de água ou contra outros líquidos em qualquer direção.

Conforme o fabricante, Xypex Admix apresenta comportamento e desempenho superior a outros produtos da sua área, estando presente e ativo em toda matriz o concreto desde o momento de sua pega. Promovendo assim, maior controle de permeabilidade e evitando a penetração de água em qualquer direção, inclusive sob pressões externas, melhorando a durabilidade. Ao prevenir penetração de químicos agressivos Xypex Admix ajuda a controlar os ataques de sulfato, carbonatos, reação álcalis agregado e corrosão.

Por ser acrescentado ao concreto no momento de sua dosagem não está sujeito a restrições climáticas.

Observa-se na figura 9 o mecanismo de ação, em momentos iniciais e em estágio avançado, do impermeabilizante na microestrutura do concreto.

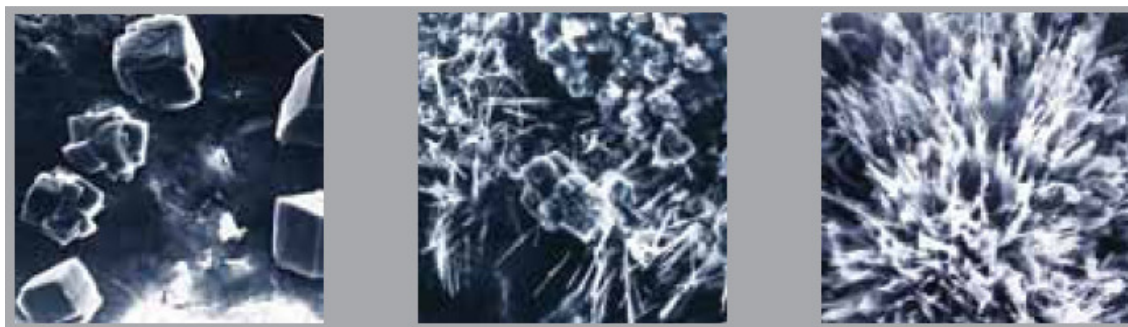


Figura 9. Processo de cristalização do concreto: a=concreto não tratado; b=início da cristalização e c=estágio avançado de cristalização (MC-BAUCHEMIE, 2014).

Sendo assim, busca-se avaliar o comportamento do aditivo de impermeabilização do concreto por cristalização frente à penetração de íons cloreto em concretos com distintas porosidades, avaliando, principalmente, os resultados para a relação água/cimento 0,65, utilizada neste trabalho como referência de concreto com porosidade acentuada.

A partir dos métodos de ensaios utilizados e dos resultados apresentados será analisado o comportamento dos concretos produzidos sob efeito desses aditivos.

O aditivo impermeabilizante Xypex Admix C-500 caracteriza por ser um produto utilizado mundialmente, podendo citar como exemplos de uso a Rodovia Pensilvania Turnpike, Pensilvania, EUA (mais de 750.000kg de aditivo utilizado nas barreiras de concreto para protegê-las de ataques de cloretos), Canal do Panamá, Panamá (concreto projetado com aditivo impermeabilizante nas superfícies das eclusas para aumentar a durabilidade) e Estádio Olímpico-Homebush Bay, Austrália (utilizado em 25.000 metros cúbicos de concreto para impermeabilizar e proteger paredes, vigas, pisos, reservatórios dentre outros).

No Brasil podem ser citadas utilizações recentes do aditivo como na laje de subpressão do Museu da Imagem e do Som (M.I.S), em Copacabana, na recuperação do estádio do Pacaembú, em São Paulo e também na cobertura fluída do Museu de Arte do Rio (M.A.R), no centro do Rio de Janeiro.

4. MÉTODOS DE ENSAIO

Neste capítulo serão realizadas referências a métodos de ensaio relevantes a serem desenvolvidos, quer sejam para caracterização e controle do concreto a ser objeto de avaliação, quer sejam para analisar a resistência a penetração de agentes agressivos em tempo viável para incorporação em trabalho de pesquisa, por meio de procedimentos denominados acelerados.

Torna-se relevante mencionar à variabilidade das propriedades do concreto que somente podem ser determinadas por meio de ensaios obtidos sob condições em termos de repetitividade e reprodutibilidade (NEVILLE,2010).

Define-se repetitividade como a precisão de resultados de ensaios independentes, realizados em um determinado período de tempo nas mesmas condições, ou seja, no mesmo laboratório, os mesmos métodos, corpos de prova idênticos, mesmo operador e utilizando o mesmo equipamento. Reprodutibilidade é a precisão de resultados obtidos com os mesmos métodos, corpos de prova idênticos em laboratórios diferentes, com operadores e equipamentos diferentes. (BS ISO 5725-1).

4.1. MÉTODOS DE ENSAIO PARA CONTROLE E CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

Para caracterização e controle do concreto no contexto da avaliação do potencial de penetrabilidade de íons cloreto torna-se importante realizar ensaios para melhor identificação das amostras, proporcionar melhores efeitos de reprodutibilidade e obter melhor eficiência na análise dos resultados alcançados.

Neste contexto, torna-se recomendável efetuar, por exemplo, o ensaio de resistência à compressão, pois se conhece a estreita relação que há entre resistência do concreto e relação a/c, que influencia de maneira direta na porosidade do material, aumento da permeabilidade, transporte de agentes no concretos e redução da durabilidade.

A NBR 5739 (ABNT, 2007) – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, apresenta os procedimentos para a realização deste método.

Outro ensaio relevante é o ensaio de abatimento de tronco de cone por meio da NBR NM 67 (ABNT, 1998), esta Norma especifica um método para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, em laboratório e obra. Por meio desta avaliação pode-se reconhecer o maior teor de umidade do concreto fresco e caracterizar com os concretos de distintas relações a/c, como as que serão realizadas neste trabalho de pesquisa.

Sabe-se que a função principal da água no concreto é hidratar o cimento, entretanto dependendo da quantidade de água empregada, condições de cura, ambientais e outras, a água evaporável deixará os poros vazios ou não saturados. Sendo assim, considera-se o concreto como material poroso em sua essência e a interconexão entre poros no concreto torna-o permeável à água e agentes agressivos.

A fim de avaliar a permeabilidade de concretos endurecidos considera-se relevante efetuar o método de ensaio orientado pela NBR 10786 (ABNT, 2013) - Determinação do coeficiente de permeabilidade à água. Coeficiente que expressa a velocidade de percolação de água no concreto, definido a partir da Lei de Darcy, aplicável a fluxos de fluido viscoso, em meio poroso, em regime laminar e permanente com a vazão de água numa direção, submetida a um gradiente de pressão, que atravessa uma seção do concreto.

O aparato é composto de unidades, sendo que cada unidade ensaia um corpo de prova. Um aparelho deve ter pelo menos três unidades, disponíveis para execução dos ensaios. Estas unidades são dotadas de um reservatório de água, com volume adequado para a porosidade do concreto em análise. O reservatório é equipado com um controlador de vazão que fornece a quantidade de água que saiu e percolou pelo corpo de prova. Na extremidade superior do reservatório é conectado a uma tubulação, que aplica pressão no sistema.

A fonte de pressão pode ser a ar comprimido ou nitrogênio gasoso e deve ser capaz de fornecer gradientes de pressão de até 3,5 MPa para cada unidade. A pressão é controlada por um manômetro que é colocado próximo ao reservatório de água onde fica também a conexão com a fonte de água externa. Na extremidade inferior do reservatório de água, fica a tubulação que vai até o bujão metálico que acondiciona o corpo de prova. Os bujões são dotados de paredes resistentes a pressões de até 4,0 MPa e possuem tampa parafusada para evitar qualquer vazamento.

Os corpos de prova para uso neste ensaio têm dimensões de 150mm de altura. Eles são obtidos serrando-se a região central de cilindros com dimensões de 150 x 300 mm. Na acomodação do corpo de prova no bujão, é colocado material selante para preencher o espaço entre o corpo de prova e a parede do bujão, fazendo com que a água só passe pelo concreto.

A vazão é determinada repetidas vezes nos demais dias. O ensaio de permeabilidade completo gasta em torno de 500 horas. Este tipo de aparelho é bastante eficaz na determinação do coeficiente de permeabilidade.

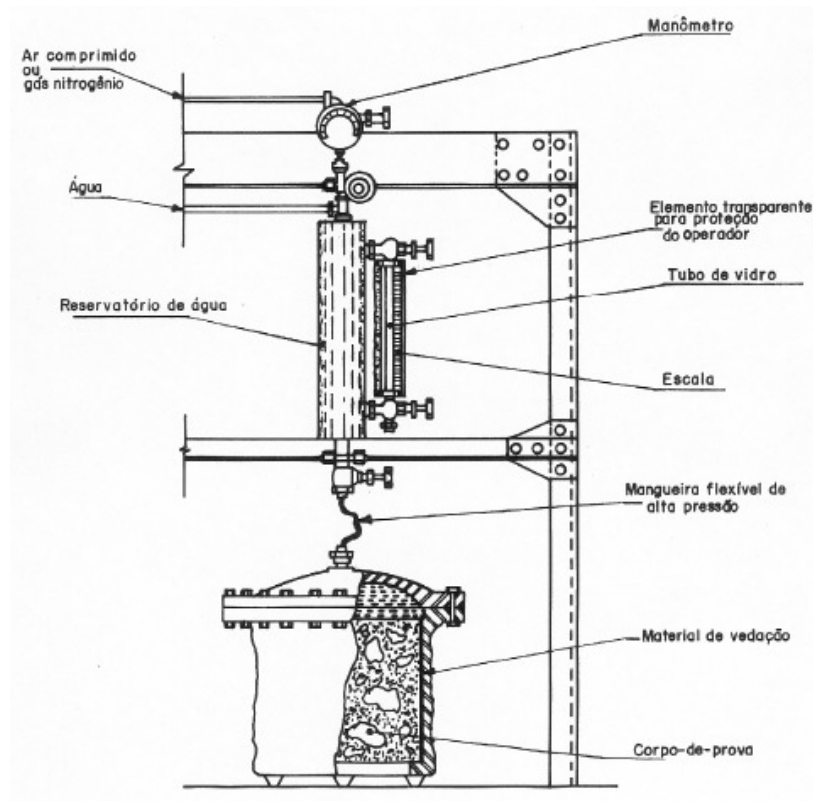


Figura 10. Esquema de aparato de ensaio de permeabilidade (NBR 10786, 2013).

4.2. MÉTODOS ACELERADOS PARA AVALIAR A QUALIDADE DO CONCRETO FRENTE AO INGRESSO DE CLORETOS

Devido à necessidade de caracterização da resistência à penetração de cloretos em concretos têm sido desenvolvidos diferentes métodos acelerados. Como ainda não existe um método de referência, são possíveis que diferentes autores apresentem, para uma mesma mistura de concreto, valores distintos de coeficiente de difusão; por esse motivo, os valores devem ser sempre reportados ao método de ensaio. Os métodos mais utilizados para ensaios de penetração de íons cloreto, conforme Gonçalves (1997), são:

- a) Métodos de difusão: que se baseiam na difusão pura dos cloretos no concreto, com ou sem aceleração da velocidade de difusão, aumentando a concentração em cloretos da solução de exposição;
- b) Métodos de migração: onde a velocidade de penetração de cloretos no concreto é acelerada por imposição de uma corrente elétrica.

Nos métodos de difusão apenas se procura aumentar a velocidade de difusão, mas o mecanismo de transporte é o mesmo de quando ocorre em condições naturais. Nos métodos de migração o mecanismo de transporte deixa de ser difusão e passa a ser resultante da condução induzida pelo campo elétrico (GONÇALVES, 1997).

Como no Brasil ainda não existe normatização que padronize métodos acelerados de íons cloreto, em decorrência disto têm-se adotado métodos prescritos em normas internacionais e em bibliografias diversas.

Baseando-se em trabalhos que utilizam métodos acelerados para avaliar a penetração de íons cloretos no concreto, foi realizada a escolha do método para esta pesquisa. A tabela 1 demonstra uma relação dos trabalhos realizados na área.

Tabela 1. Relação de pesquisas envolvendo o uso de métodos acelerados de avaliação da penetração de íons cloreto.

Título da pesquisa	Classificação	Autor (s)	Ano	Norma utilizada
Penetração de cloretos em concretos compostos com cimento Portland branco e escória de alto forno ativada quimicamente	Dissertação Mestrado	SIQUEIRA	2008	ASTM C1202
Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto	Dissertação Mestrado	TROIAN	2010	ASTM C1202
Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates	Artigo	EVANGELISTA e BRITO	2010	NT Build 492
The Effect of Time Dependent Chloride Diffusion Coefficient on the Chloride Ingress in Concrete	Conferência	CHENG, KARMIADJU e HUANG	2011	AASHTO T259
Water absorption, permeability, and resistance to chloride-ion penetration of lightweight aggregate concrete	Artigo	LIU, CHIA e ZHANG	2011	AASHTO T259 ASTM C1202, NT Build 492
Investigation on the corrosion resistance of bagasse-rice husk-wood ash blended cement concrete by impressed voltage	Artigo	HORSAKULTHAI, PHIUVANNA e KAENBUD	2011	AASHTO T259
Compressive strength and resistance to chloride ion penetration and carbonation of recycled aggregate concrete with varying amount of fly ash and fine recycled aggregate	Artigo	SIM e PARK	2011	ASTM C1202
Influence of the applied voltage on the Rapid Chloride Migration (RCM) test	Artigo	SPIESZ e BROUWERS	2012	NT Build 492
RCM: A new model accounting for the non-linear chloride binding isotherm and the non-equilibrium conditions between the free- and bound-chloride concentrations	Artigo	SPIESZ, BALLARI e BROUWERS	2012	NT Build 492
Long-term mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete prepared with the incorporation of fly ash	Artigo	KOU e POON	2013	ASTM C1202
Durability and mechanical properties of high strength concrete incorporating ultrafine Ground Granulated Blast-furnace Slag	Artigo	TENG, LIM e DIVSHOLI	2013	NT Build 492

Fonte: Fedumententi (2013)

A seguir serão apresentados os métodos: Ensaio de Migração de Cloretos, Penetração de cloretos (ASTM C 1202) e NT BUILD 492.

4.2.1. Ensaio de migração de cloretos

A penetração de cloretos através do concreto é um processo lento mesmo para um concreto com elevada porosidade. Sendo assim, para se realizar ensaios laboratoriais é comum usar ensaios acelerados, onde esta aceleração é feita através de uma corrente elétrica na amostra de concreto, pois o campo

elétrico gerado aumenta a velocidade de transporte dos íons cloreto na massa de concreto.

Conforme Ribeiro (2010), o ensaio de migração de cloretos é uma importante técnica para avaliar a capacidade do concreto em proteger a armadura dos agentes agressivos. Isso porque, devido à forma como o teste é realizado, estão envolvidos os quatro mecanismos principais de transporte desses agentes agressivos, isto é, a permeabilidade, a absorção capilar, a difusão e a migração iônica. Em decorrência de este experimento ser realizado de forma acelerada e com fluxo “forçado” por uma corrente elétrica, a absorção capilar tem menor relevância em comparação ao fenômeno natural.

O ensaio de migração tem como princípio a aplicação de uma diferença de potencial entre duas células: uma contendo uma solução de cloreto, célula catódica, e outra sem cloretos, célula anódica, entre as quais é colocada a amostra de concreto a ser analisada.

O potencial elétrico externo aplicado força a passagem dos íons cloreto através da amostra de concreto da primeira para a segunda célula. Neste método, o transporte dos íons cloretos através do corpo de prova é induzido pela corrente elétrica gerada devido à diferença de potencial de 12 Volts, aplicada por uma fonte de corrente contínua por meio de eletrodos contidos em cada célula.

A célula positiva, célula anódica, é preenchida com água destilada para evitar a corrosão induzida pela deposição do cloro. A solução utilizada na célula negativa, células catódica, é composta por cloreto de sódio (NaCl) em uma concentração de 1M.

Os corpos de prova devem ser colocados na interface das duas células, fazendo com que a troca iônica entre as células ocorra somente através da área exposta da superfície do corpo de prova.

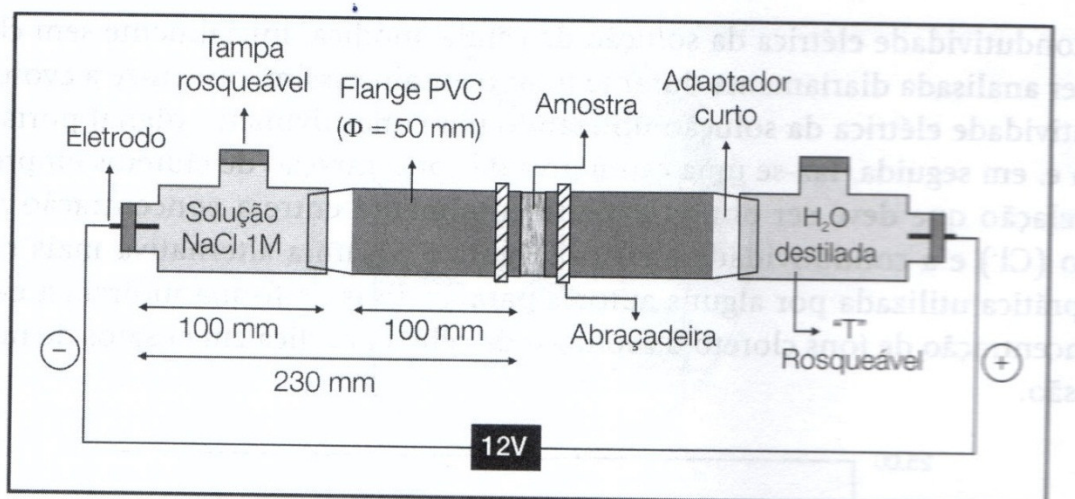


Figura 11. Esquema e montagem de aparato para a realização do ensaio de migração de cloretos (RIBEIRO, 2014).

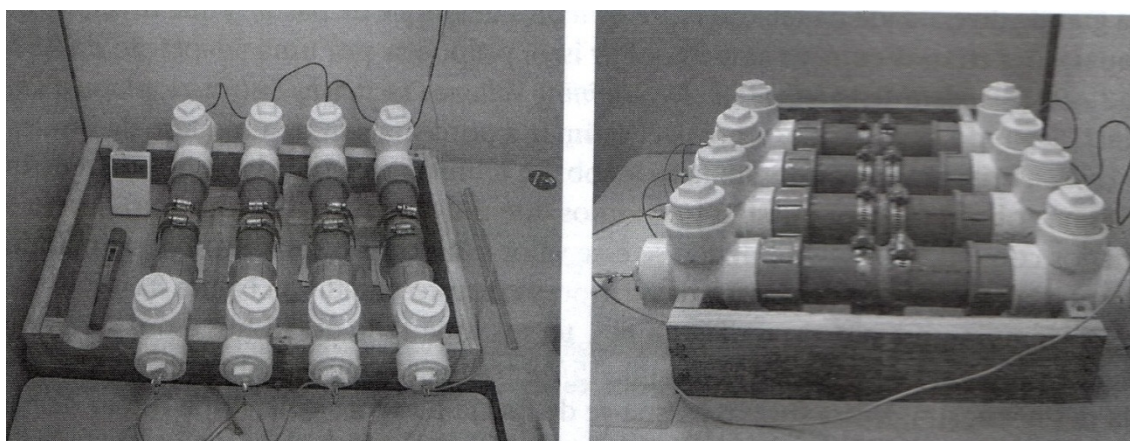


Figura 12. Realização do ensaio de migração de cloretos (RIBEIRO, 2014).

4.2.2. Ensaio de penetração acelerada de cloretos

O ensaio é descrito pela Norma americana ASTM C-1202:12 (Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration), uma adaptação da AASHTO T277, e tem por objetivo medir a carga passante em uma amostra de concreto de diâmetro de 10,0 x 5,1cm submetida a uma tensão de 60 +- 0,1V, durante um período de 6 horas.

Este ensaio não permite a determinação do coeficiente de difusão de cloretos, mas é um caminho possível para comparações qualitativas. Contudo muitos estudos, para se determinar o coeficiente de difusão de cloretos, a partir

de ensaios de migração, têm sido desenvolvidos gerando a possibilidade de executar comparações quantitativas.

As faces do cilindro são expostas uma à solução de cloreto de sódio (3% em água deionizada) e a outra à solução de hidróxido de sódio (0,3N em água deionizada), nas quais são submersos eletrodos de cobre conectados em uma fonte de corrente contínua, permitindo a diferença de potencial do concreto.

Anteriormente ao ensaio propriamente dito, a norma preconiza a utilização do processo de saturação a vácuo das amostras antes dos ensaios de penetração. Esse procedimento tem sido adotado para garantir que o ingresso de cloretos na amostra se dê predominantemente por difusão.

O processo envolve selar as faces laterais das amostras (com resina epóxi, verniz poliuretânico ou outro produto capaz de cumprir a função seladora) seguido por condicionamento das amostras em vácuo, por meio de bomba dissecadora, em um período de vácuo por 3 horas e em seguida vácuo submerso por 1 hora. Após isto, deverá ser desligada a bomba e as amostras permanecidas neste processo por em torno de 18h.

A ideia é que nas primeiras três horas o vácuo seja aplicado apenas nas amostras, sem água, de maneira a retirar a água e outros agentes que possam estar presentes na rede de poros das amostras e então após estas 3 horas, deve-se colocar água dentro do dissecador (mantendo-se o vácuo nas amostra, de maneira a forçar a água a entrar nos poros que neste momento estão completamente vazios)

Após isto as amostras são retiradas do dissecador, e secas com pano absorvente, para posteriormente serem acopladas as meia-células, fixadas com cola a base de silicone.

Em síntese, tem se duas etapas principais: o método de condicionamento e o teste de penetração de íons cloreto. O procedimento relacionado ao condicionamento será melhor identificado abaixo:

- a) Ferver um litro de água da torneira em um recipiente que possa ser fechado. Após a fervura, remover a tampa para que a água esfrie até alcançar a temperatura ambiente;

- b) Deixar a amostra (já cortada) seca durante pelo menos uma hora;
- c) Selar a lateral do corpo de prova;
- d) Com as duas faces da amostra expostas (superior e inferior), colocar o corpo de prova em um dessecador com bomba de vácuo. Manter o vácuo durante 3 horas com uma pressão de 50mm Hg (6650 Pa);
- e) Com o vácuo ainda ligado, abrir a torneira e drenar a água (fervida e resfriada) até que esta cubra as amostras;
- f) Desligar a bomba e deixar o espécime submerso na água por 18+-2 horas;
- g) Após o condicionamento a amostra deve ser removida da água, retirando seu excesso de água. Manter o espécime com uma umidade relativa de 95% e iniciar o procedimento de ensaio fixando a amostra nas células onde será aplicada tensão de 60 volts, conforme representado na imagem 13.

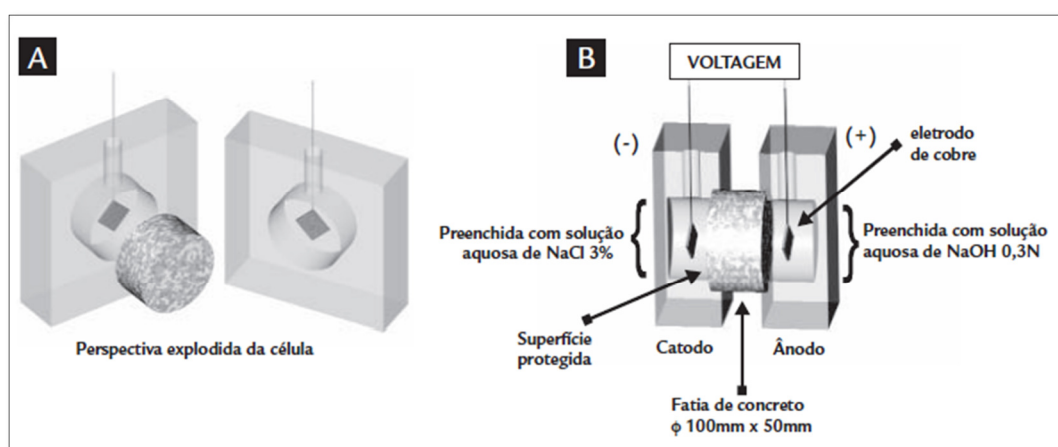


Figura 13. Representação do ensaio de penetração acelerada de cloretos – A-Perspectiva explodida da célula – B-Aparato do ensaio montado (MEDEIROS, 2013).

Deverá ser aplicada uma diferença de potencial de 60V e realizadas leituras da corrente passante em intervalos de 30 em 30 minutos durante um período de 6 horas. Com a finalização do ensaio é calculada a carga total passante, verificando a classificação do concreto, quanto ao risco de penetração dos íons cloreto, de acordo com a Norma ASTM C-1202/12, e fórmula a seguir:

Equação 1. Equação para determinação da carga total passante, conforme ASTM C1202/12

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360})$$

Onde:

Q = Carga total passante (Coulombs)

I_0 = Corrente medida após a aplicação da tensão (t em minutos)
(âmpères)

I_t = Corrente medida nos tempos “t” quando a tensão é aplicada (t em minutos) (âmpères)

Após o cálculo da carga total passante o resultado deverá ser relacionado na tabela de classificação de concretos quanto ao risco de penetração aos íons cloretos de acordo com a carga passante (ASTM C1202/12).

Apesar de muito difundido o método ASTM C1202 apresenta como principal crítica o fato de a diferença de potencial adotada ser muito grande (60V). Andrade (1993) critica o método da ASTM C1202 sob os seguintes aspectos:

- a) O método de ensaio não reproduz as condições reais que o concreto teria em experiências em campo;
- b) Não há nenhuma condição onde o concreto é exposto a um potencial de 60 Volts;
- c) O método não mede a maior ou menor resistência à penetração de íons cloreto, mas sim sua resistividade elétrica.

Logo, conforme Andrade (1993), a norma não pode dizer informações concretas sobre a permeabilidade de cloretos em concretos. O registro da passagem de corrente total em uma célula é em função da quantidade e tipo de íons, não do fluxo ou mobilidade de cloretos. A carga medida corresponde ao movimento de todos os íons presentes na solução dos poros não apenas íons cloretos.

A alta tensão provoca um aumento de temperatura e os resultados dão somente a informação qualitativa, não valores dos coeficientes de difusão obtidos. Na utilização de campos elétricos, além dos íons cloreto, todos os íons

que se encontram na solução dos poros da amostra ensaiada (principalmente OH^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e SO_4^{2-}) são induzidos a movimentar-se sob a ação do campo elétrico.

Segundo Streicher e Alexander (1995) o método não acelera o mecanismo de difusão dos íons cloreto, mas induz ao mecanismo único de migração iônica e considera-se que o aumento da velocidade de penetração é da ordem de 100 vezes, o que permite negligenciar a difusão.

Apesar de todas as críticas sobre a ASTM C1202, no momento este método é amplamente aceito pela indústria do concreto, porém novos procedimentos podem ser desenvolvidos para que a medida de penetrabilidade de íons cloreto possa ser mais precisa (FEDUMENTI, 2013).

Conforme Neville (1997), o ensaio pode ser útil para a comparação e escolha do concreto mais adequado. Segundo Isaia (1995), o ensaio apresenta a vantagem de ser aplicado em quase todos os tipos de concretos, principalmente quando se deseja comparar resultados em relação a outro de referência.

De acordo com Bryan (2009), especificações baseadas no ensaio da ASTM C1202 são muito comuns na indústria da construção nos Estados Unidos. O autor ainda cita que o Departamento de Transporte da Virginia está conduzindo um programa para usar a ASTM C1202 como especificação de desempenho, e a Autoridade Portuária de Nova York e Nova Jersey usa a ASTM C1202 em suas especificações de desempenho de concretos.

4.2.3. Ensaio rápido de migração (NT BUILD 492)

O Nordtest Method – Concrete, Mortar and Cement-based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments – NT Build 492 tem como objetivo determinar o coeficiente de migração de cloretos em materiais a base de cimento, argamassas e concretos, a partir de experimento no estado de migração não estacionário. O coeficiente de migração de cloretos determinado pelo método é uma medida da resistência do

material testado em relação à penetração de cloretos (NT BUILD 492 – NORDTEST METHOD, 1999).

O ensaio utiliza corpos de prova de 100mm de diâmetro e 50mm de espessura submetidos à tensão de 60v durante 18 horas. Após este tempo, o corpo de prova é rompido ao meio e a penetração de cloretos é determinada pela aspersão de solução de nitrato de prata. A profundidade de penetração pode ser utilizada para determinar um coeficiente de difusão de cloretos ou ela mesma pode ser um parâmetro de medida. Na figura seguinte apresenta-se o procedimento usual utilizado para medir a profundidade de penetração, representado pela região mais clara, figura 14.

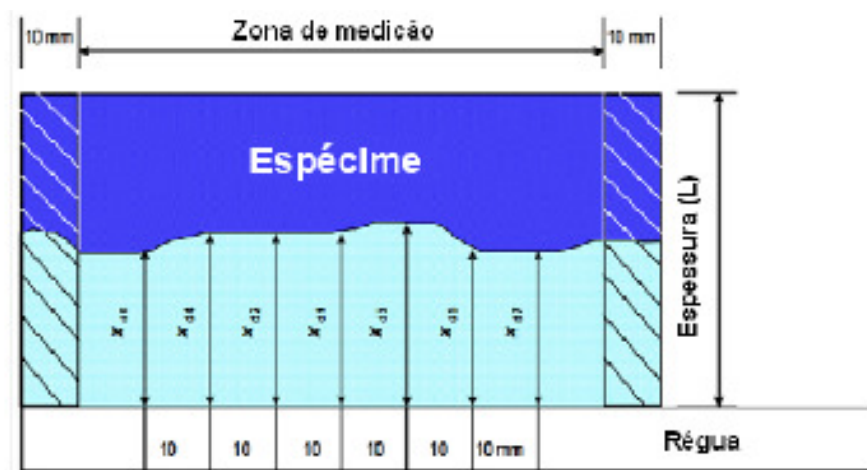


Figura 14. Ilustração da medida de profundidade de penetração de cloretos (FUGEMENTI, 2013).

O condicionamento das amostras é similar ao método ASTM C102, a única diferença é que ao invés de utilizar água fervida para submergir as amostras a NT Build 492 especifica o uso de água destilada (ou deionizada) saturada em cal. O restante do procedimento é igual ao método ASTM C1202.

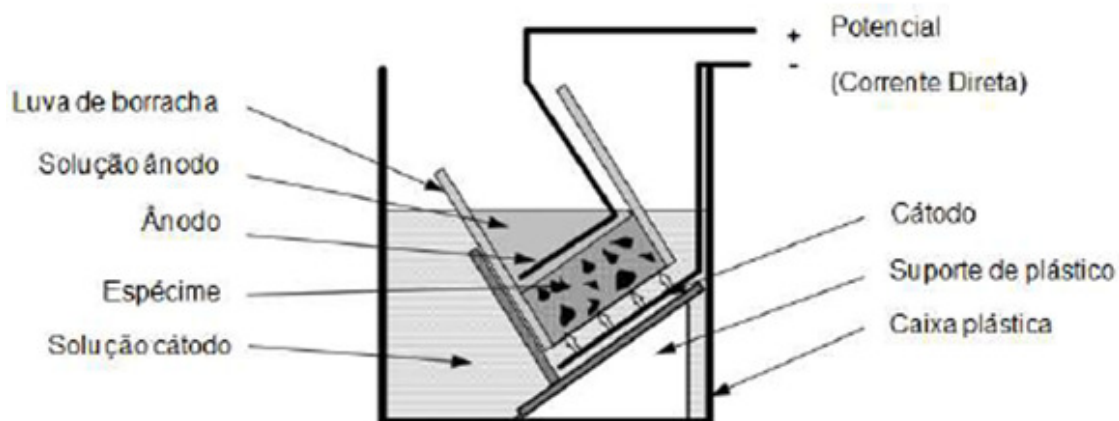


Figura 15. Representação de ensaio rápido de migração (FUGEMENTI, 2013).



Figura 16. Amostras após aspersão de nitrato de prata (Pelcon Materials Testing ApS).

Apesar do método NT Build 492 não especificar classificação quanto à maior ou menor resistência à penetração de íons cloreto este é amplamente utilizado no mundo para determinar o coeficiente de difusão de cloretos. As vantagens mais importantes dos testes acelerados de migração de cloretos, como a NT Build 492, são a simplicidade do seu procedimento e a curta duração do teste.

5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O desenvolvimento das etapas dos ensaios ocorreu durante o ano de 2014, e tiveram início a partir do mês de maio, contemplando também levantamento e análise de material bibliográfico, perdurando até o mês de outubro.

É importante mencionar que foi necessário efetuar um planejamento criterioso, focado nas atividades a serem realizadas, para a elaboração do projeto experimental, pois os procedimentos deveriam ser realizados de maneira fiel ao seu prazo de atendimento, conforme ASTM 1202, norma para o ensaio de penetração acelerada de íons cloreto.

A realização do projeto, de acordo com o proposto nesta pesquisa, engloba a realização de moldagens de corpos de prova com diferentes prazos de cura úmida, 28 e 91 dias, sendo assim o primeiro ensaio de penetração de cloretos deverá ser análogo ao prazo de 28 dias enquanto que o de 91 dias deverá ser realizado necessariamente nesta data.

Conforme Metha (1994) e Neville (2010), identifica-se a partir de 90 dias, uma menor variação de resistência em concretos submetidos à cura úmida, configurando-se assim esta idade de um bom parâmetro de referência.

Observa-se também nas bibliografias relacionadas ao tema a utilizado de períodos de cura de 7-14-28-56 e 91, assim considera-se 91 também para efeito de comparação com outras bibliografias.

Outra justificativa, conforme Neville 2014, concretos executados com diferentes tipos de cimento, e com misturas similares, atingem em 90 dias resistências à compressão equivalentes.

As moldagens dos corpos de provas foram realizadas em 06 de junho de 2014 e foi atendido ao prazo de cura de 28 dias para a realização do primeiro ensaio de penetração de íons cloreto. O segundo ensaio, período de cura de 91 dias, foi realizado em 05 de setembro de 2014.

Os ensaios de laboratório foram conduzidos de forma a investigar como diferentes relações água cimento e a utilização de aditivo

impermeabilizante por cristalização influenciam na carga passante e a penetração de íons cloreto dos concretos analisados. A fim de atingir os objetivos, foram realizados os seguintes ensaios:

- a) Teste rápido de penetração de cloretos (ASTM C1202/12)
- b) Ensaio de penetração de cloretos livres por aspersão de nitrato de prata (variação à metodologia proposta pela NT BUILD 492)

As variáveis utilizadas na pesquisa foram:

Variáveis independentes: aquelas que alteram as propriedades do material cimentante e influenciam a relação sólido/espaço da pasta e seu grau de compacidade. São elas:

- a) Relação água/cimento (a/c) (0,45; 0,55; 0,65).
- b) Períodos de cura úmida: 28 e 91 dias.
- c) Utilização de aditivo impermeabilizante.

Variáveis dependentes: aquelas que são influenciadas pelas variáveis independentes. São elas:

- a) (Q) Carga passante através do ensaio de penetração de cloretos.
- b) Penetração de cloretos por avaliação de nitrato de prata.

A pesquisa foi realizada na cidade de Vitória, ES, com os experimentos executados no Laboratório de Ensaio em Materiais de Construção (LEMAC), localizado no Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

5.1. MATERIAIS

O cimento utilizado foi o Cimento Portland com Escória Granulada de Alto Forno, resistente a sulfatos – CP III 40 RS. As escórias granuladas de alto forno apresentam propriedades hidráulicas latentes, isto é, da forma como são obtidas endurecem quando misturadas com água. A adição de escória modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade, a difusão iônica e a porosidade capilar, aumentando a estabilidade e durabilidade do concreto. Tais fatores repercutem diretamente no comportamento do concreto, melhorando seu

desempenho frente à ação de sulfatos e da reação álcali-agregado. Outras propriedades são também alteradas, incluindo a diminuição do calor de hidratação, aumento da resistência à compressão em idades avançadas, a melhor trabalhabilidade dentre outros. (ABCP-BT-106, 2002)

Concretos com escória têm comportamento diferenciado em relação a concretos com somente cimento Portland. Primeiramente, porque a formação de C-S-H secundário, apesar de menor densidade comparada ao C-S-H primário (produzido pelo cimento), é bastante eficiente no preenchimento dos grandes capilares em misturas contendo adições minerais e esse efeito é conhecido como refinamento dos poros. A microestrutura torna-se relativamente mais densa, tortuosa e descontínua (portanto, menos permeável à penetração de íons agressivos) comparada com concretos com somente cimento Portland em idade similar (WEE ET AL,2000).

Tabela 2. Teores dos componentes de CPIII

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)		
		Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material carbonático
CP III	25	65-25	35-70	0-5
	32			
	40			

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Tabela 3. Teores dos componentes de CPIII – Exigências físicas e mecânicas

Características e propriedades		Unidade	Limites		
			CP III-25	CP III-32	CP III-40
Finura		%	8,0	8,0	8,0
Tempo de início de pega		h	1	1	1
Expasibilidade a quente		mm	5	5	5
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	8,0	10,0	12,0
	7 dias de idade	MPa	15,0	20,0	23,0
	28 dias de idade	MPa	25,0	32,0	40,0

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Tabela 4. Teores dos componentes de CPIII – Exigências químicas, físicas e mecânicas.

Características e propriedades	Unidade	Limites		
		CP III-25	CP III-32	CP III-40
Expansibilidade a frio	mm	5	5	5
Tempo de fim de pega	h	12	12	12
Resistência à compressão aos 91 dias de idade	MPa	32	40	48
Teor de escória	%	35	35	35
		70	70	70
Teor de enxofre sob a forma de sulfeto	%	1,0	1,0	1,0

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Em função de suas características, o cimento Portland com escórias (CP III) tem sido o cimento com maior utilização no estado do Espírito Santo. Dentre a principal característica que norteia sua escolha é a maior resistência a ataques químicos, pois há no estado um numero grande de obras em proximidade

com o mar, fato que favorece a exposição com a névoa salina, grande responsável pelo ingresso de íons cloreto em estruturas de concreto.

O agregado miúdo utilizado foi a areia quartzosa encontrada na região de Vitória, previamente lavada e seca em estufa entre 105°C e 110°C. O agregado graúdo foi a pedra britada originária de rocha diabásica do município de Vitória, previamente lavada e seca. A água utilizada na moldagem dos corpos de prova foi proveniente da concessionária - CESAN. Foi utilizada água deionizada para as soluções de cloreto de sódio e hidróxido de sódio e água deionizada para a solução de nitrato de prata. Essas soluções foram utilizadas nos ensaios de penetração de íons cloreto.

Com o objetivo de favorecer a adequada trabalhabilidade entre as diversas misturas investigadas, foi utilizado o aditivo químico plastificante de pega normal, MC-TechniFlow 530 da MC-Bauchemie Brasil, cuja dosagem recomendada pelo fabricante é de 0,2% a 2% sobre o peso do cimento.

Foram realizados, como parâmetro de controle, ensaios de compressão aos 28 dias nos concretos com cimento Portland de alto forno, nas relações 0,45; 0,55 e 0,65, com e sem aditivo impermeabilizante. Foram encontradas poucas variações na resistência no que se refere à inclusão do aditivo impermeabilizante, como pode ser observado na tabela 5:

Tabela 5. Resistência à compressão axial dos corpos de prova

Resistência à compressão axial (NBR 5739)	
Idade de 28 dias	(MPa)
CPIII-0,45 sem impermeabilizante	45,2
CPIII-0,45 com impermeabilizante	45,8
CPIII-0,55 sem impermeabilizante	42,7
CPIII-0,55 com impermeabilizante	37,6
CPIII-0,65 sem impermeabilizante	29,9
CPIII-0,65 com impermeabilizante	29,9

No concreto em estado plástico, foi realizado ensaio de abatimento de tronco de cone e pôde ser observado que o uso de aditivo impermeabilizante reduziu o abatimento em cerca de 10%, tabela 6.

Tabela 6. Ensaio de abatimento de tronco de cone

Ensaio de abatimento de tronco de cone (NBR 7223) - Idade de 28 dias	(mm)
CPIII-0,45 sem impermeabilizante	240
CPIII-0,45 com impermeabilizante	200
CPIII-0,55 sem impermeabilizante	220
CPIII-0,55 com impermeabilizante	200
CPIII-0,65 sem impermeabilizante	60
CPIII-0,65 com impermeabilizante	50

Tabela 7. Consumo de materiais por metro cúbico de concreto

Mistura	a/agl	Materiais (kg/m³ de concreto)						
		Cimento	Areia	Brita 0	Brita 1	Água	Aditivo 1*	Aditivo 2**
CPIII-40 RS	0,45	398	748	390	728	179	1,19	7,96
	0,55	325	813	390	728	179	0,98	6,5
	0,65	275	857	390	728	179	0,83	5,5

* aditivo químico plastificante de pega normal, MC-TechniFlow 530 da MC-Bauchemie Brasil.

** aditivo para impermeabilização e proteção do concreto, Xypex Admix C-500 NF da MC-Bauchemie

Tabela 8. Traço unitário para a execução dos corpos de prova

Relação a/ag	Traço unitário para o corpos de prova
0,45	1 : 1,88 : 2,8
0,55	1 : 2,50 : 3,44
0,65	1: 3,12 : 4,07

5.2. MÉTODOS DE ENSAIO

A partir dos resultados deste trabalho pretende-se avaliar o comportamento das amostras de concreto analisadas de forma que as medidas adotadas, a fim de alcançar maior resistência ao avanço de íons cloreto, sejam ratificadas, tais como a redução da relação água/cimento e a utilização de aditivo impermeabilizante.

Inicialmente torna-se válido contextualizar o projeto experimental. Os ensaios de penetração acelerada de cloretos, com base na metodologia expressa na Norma ASTM C1202/12, foram desenvolvidos em etapas que precisaram ser rigorosamente planejadas e serão descritas a seguir de maneira específica:

5.2.1. Moldagens dos corpos de prova

Os corpos de prova de concreto foram moldados na concreteira Nassau, baseando-se nas tipologias de traços e necessidades volumétricas planejadas para o projeto de pesquisa.

O projeto objetiva analisar corpos de provas compondo três relações a/c distintas: 0,45, 0,55 e 0,65. Estas relações foram escolhidas em virtude da maior relação a/c permitida pela NBR 6118 (ABNT,2014) em ambiente marinho que é de a/c 0,55 (relevante potencial de íons cloreto), tabela 9, definindo-se um fator a/c mais baixo, a/c 0,45, e outro mais elevado, de a/c 0,65. O traço 0,65 foi escolhido a fim de verificar os resultados a partir de concreto com porosidade acentuada.

Tabela 9. Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 6118/2014

Tabela 10. Correspondência entre classe de agressividade e agressividade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,40$
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	$\leq 0,20$	$\leq 0,25$	$\leq 0,30$	$\leq 0,40$
	CP	$\leq 0,25$	$\leq 0,30$	$\leq 0,35$	$\leq 0,40$

Fonte: NBR 6118/2014

A partir das relações água-cimento mencionadas foram também contemplados o uso de aditivos impermeabilizantes. Assim, foram divididos para a realização do ensaio oito corpos de prova para cada traço sem aditivo e oito com aditivos. De cada oito, quatro foram moldados para prazo de cura de 28 dias e outros quatro para 91 dias. Dos quatro citados, foram realizados ensaios de compressão em dois para controle tecnológico e os outros dois foram retirados dois núcleos centrais para a realização dos ensaios de penetração acelerada. Destes quatro núcleos foram utilizados 3 núcleos.

Na figura 17 é apresentada a divisão para o traço tipo 01 com relação a/c 0,45 e sem impermeabilizante. Este exemplo serve de modelo para as outras misturas, pois o procedimento foi o mesmo.

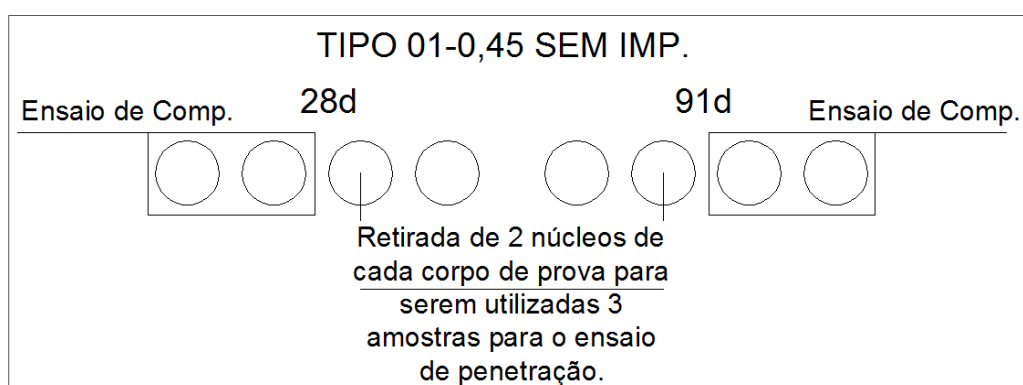


Figura 17. Representação de distribuição de amostras para ensaios.

A distribuição dos tipos de amostras a serem utilizadas no ensaio de penetração acelerada segue conforme figura 18:

TIPOS DE AMOSTRAS	
Tipo 01 - 0,45 sem imp.	Tipo 02 - 0,45 com imp.
3 para ensaio de penetração e 2 compressão	3 para ensaio de penetração e 2 compressão
Tipo 03 - 0,55 sem imp.	Tipo 04 - 0,55 com imp.
3 para ensaio de penetração e 2 compressão	3 para ensaio de penetração e 2 compressão
Tipo 05 - 0,65 sem imp.	Tipo 06 - 0,65 com imp.
3 para ensaio de penetração e 2 compressão	3 para ensaio de penetração e 2 compressão

Figura 18. Identificação de amostras a serem ensaiadas.

Baseando-se no mencionado planejamento, os corpos de prova foram moldados, realizando-se de maneira concomitante o controle tecnológico por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone. As imagens seguintes ilustram as etapas de moldagem dos concretos realizadas em maio de 2014 na concreteira Nassau.



Figura 19. Materiais a serem utilizados para moldagem de corpos de prova.



Figura 20. Processo de desumidificação de agregado miúdo.



Figura 21. Procedimento de pesagem de material.



Figura 22. Moldagem de concreto in-loco.



Figura 23. Teste de abatimento de tronco de cone.



Figura 24. Conclusão de moldagem de corpos de prova.



Figura 25. Corpos de prova submetidos a processo de cura em câmara úmida.

5.2.2. Ensaio de penetração acelerada das amostras de concreto

O planejamento para realização do ensaio de penetração acelerada de cloretos, especificado pela ASTM C1202/12, foi concebido de maneira a otimizar o tempo, já que cada ensaio envolve duração de 6 horas devendo ser monitorada a corrente passante a cada 30 minutos. Assim, trabalhou-se com 6 corpos de provas sendo ensaiados de maneira simultânea e dispostos em paralelo de maneira que fossem submetidos à mesma tensão de 60+-1V. As amostras, conforme mencionado anteriormente, foram retiradas das partes centrais de corpos de provas cilíndricos de 10cm de diâmetro e 20cm de altura. Os procedimentos dos ensaios estão descritos abaixo:

- a) Três dias antes da data de realização do ensaio, os corpos de prova cilíndricos foram retirados do ambiente de cura no qual de encontravam e serrados em quatro partes perpendiculares ao eixo, sendo descartadas as extremidades e utilizadas as faces centrais, figura 26;



Figura 26. Serragem de faces centrais de corpos de prova.

- b) Dois dias antes da realização do ensaio, as amostras tiveram suas superfícies laterais impermeabilizadas com resina epóxi. Como medida de melhor selar as faces laterais, se propôs neste trabalho o acréscimo de fita isolante juntamente com a resina epóxi (figura 27).

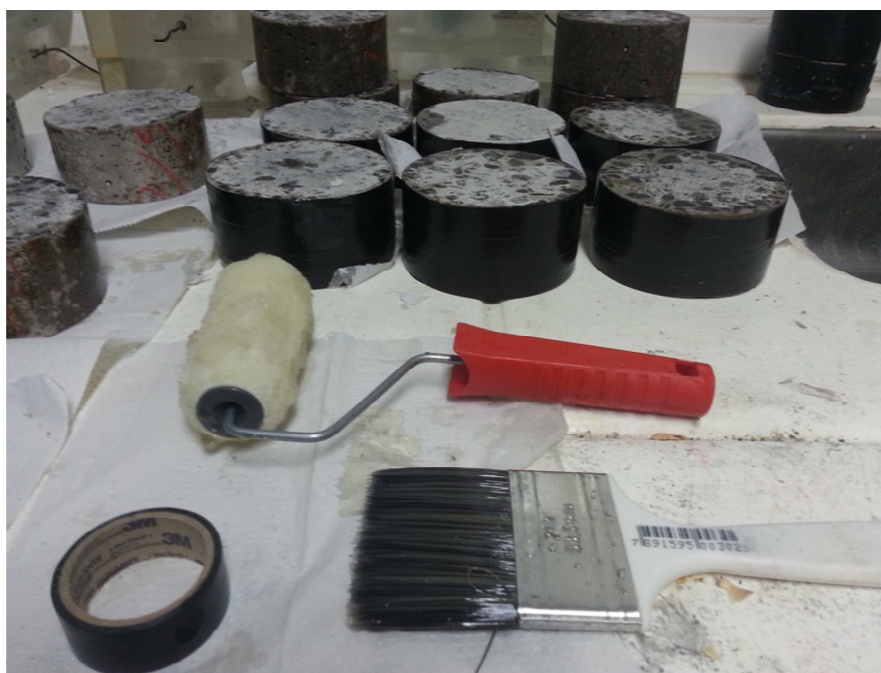


Figura 27. Selagem de faces laterais de corpos de prova.

- c) Um dia antes do ensaio as amostras foram submetidas ao vácuo por quatro horas, sendo que após decorrido três horas de vácuo, as mesmas foram submersas em água deionizada e deaerada permanecendo nesta condição por 18 horas.



Figura 28. Etapa de utilização de bomba dissecadora a vácuo.



Figura 29. Detalhe de amostras mergulhadas em água deionizada e deaerada.

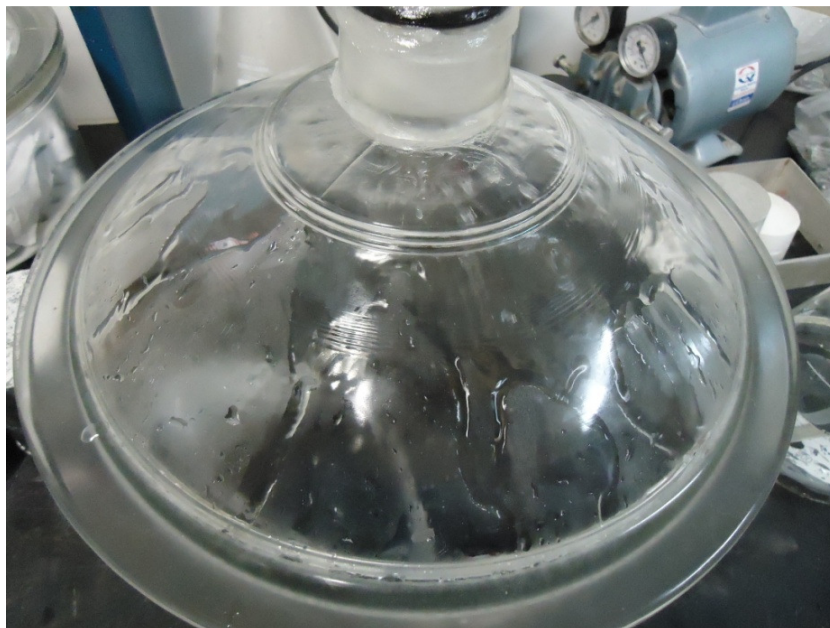


Figura 30. Vista superior de amostras mergulhadas em água deionizada e deaerada.

- d) No dia do ensaio as amostras foram retiradas do dessecador e secas com pano absorvente, para posteriormente serem acopladas às meia células, sendo fixadas às mesmas com silicone, para serem submetidas a uma diferença de potencial.



Figura 31. Fixação de amostras em células.



Figura 32. Processo de acabamento da fixação e vedação de amostras.



Figura 33. Soluções de cloreto de sódio e hidróxido de sódio preparadas.

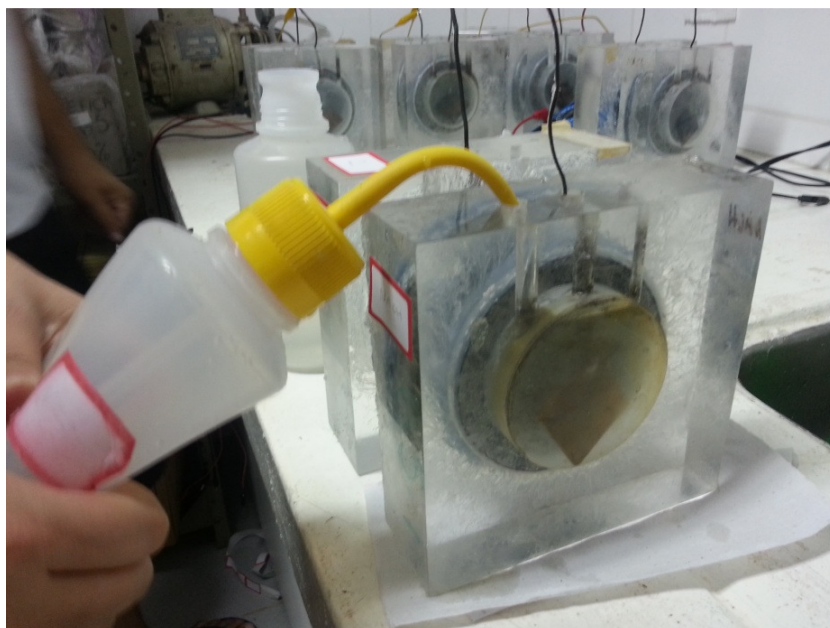


Figura 34. Preenchimento de meia células com soluções de cloreto de sódio e hidróxido de sódio.

- e) Após isto foi montado o aparato elétrico para viabilizar o ensaio, foi necessário utilizar uma fonte de alimentação de 60v e 6 multímetros para a medição da corrente passante de 30 em 30 minutos o esquema proposto é demonstrado nas imagens seguintes:

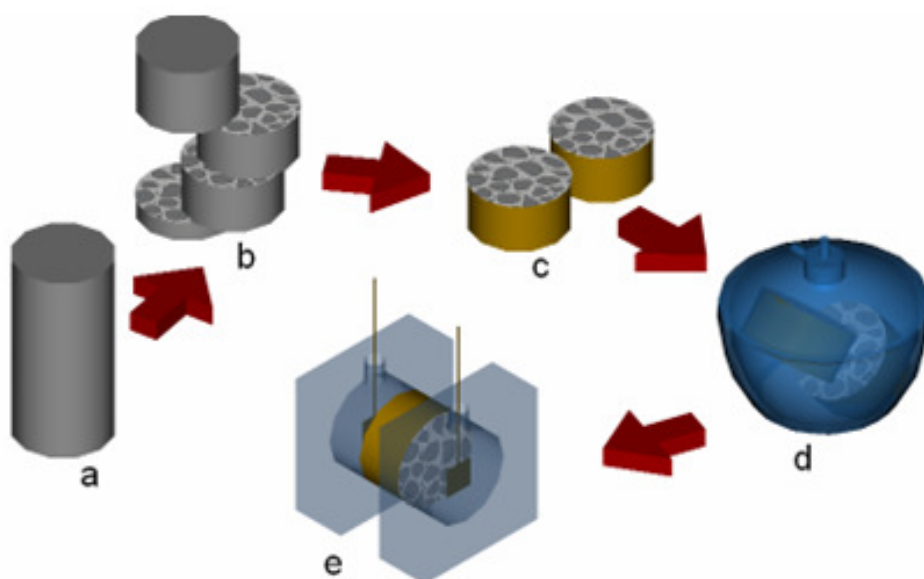


Figura 35. Representação de processo completo de ensaio de penetração (SCHNEIDER, 2005)..

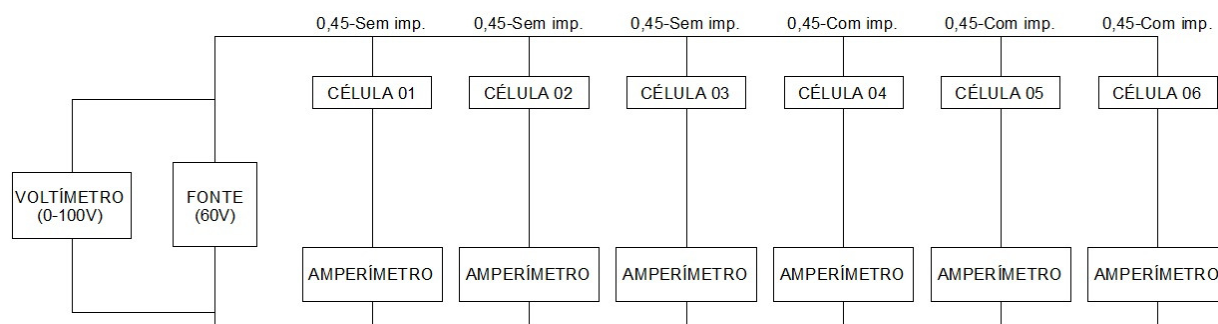


Figura 36. Diagrama do circuito utilizado no ensaio experimental, ensaio 1 de 3.

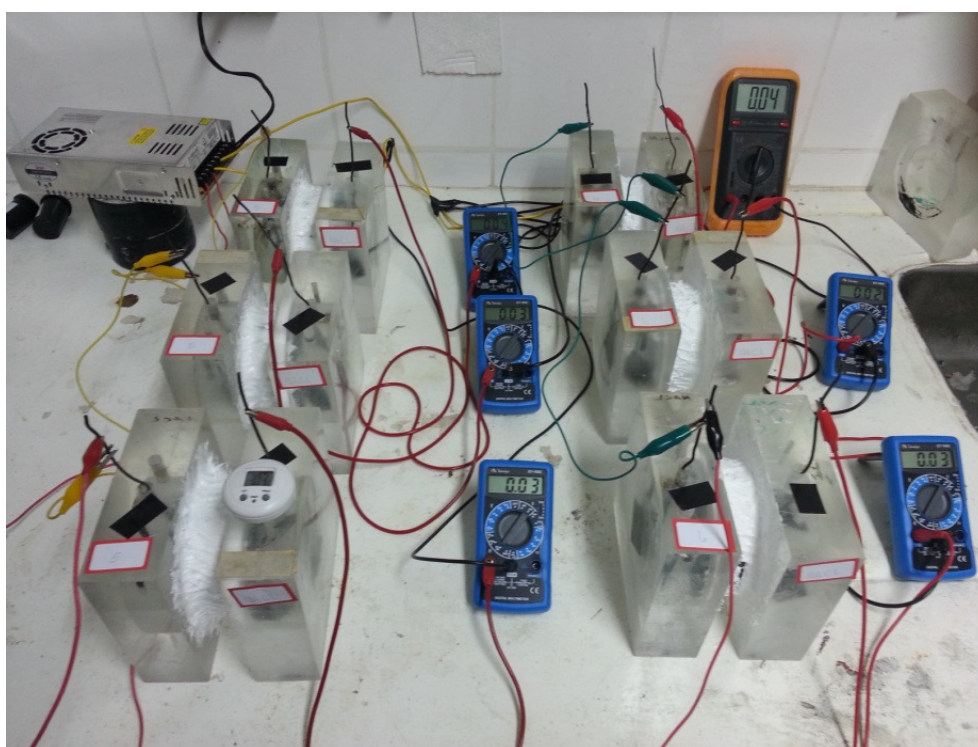


Figura 37. Execução de ensaio de penetração acelerada, vista superior.



Figura 38. Execução de ensaio de penetração acelerada, vista lateral.

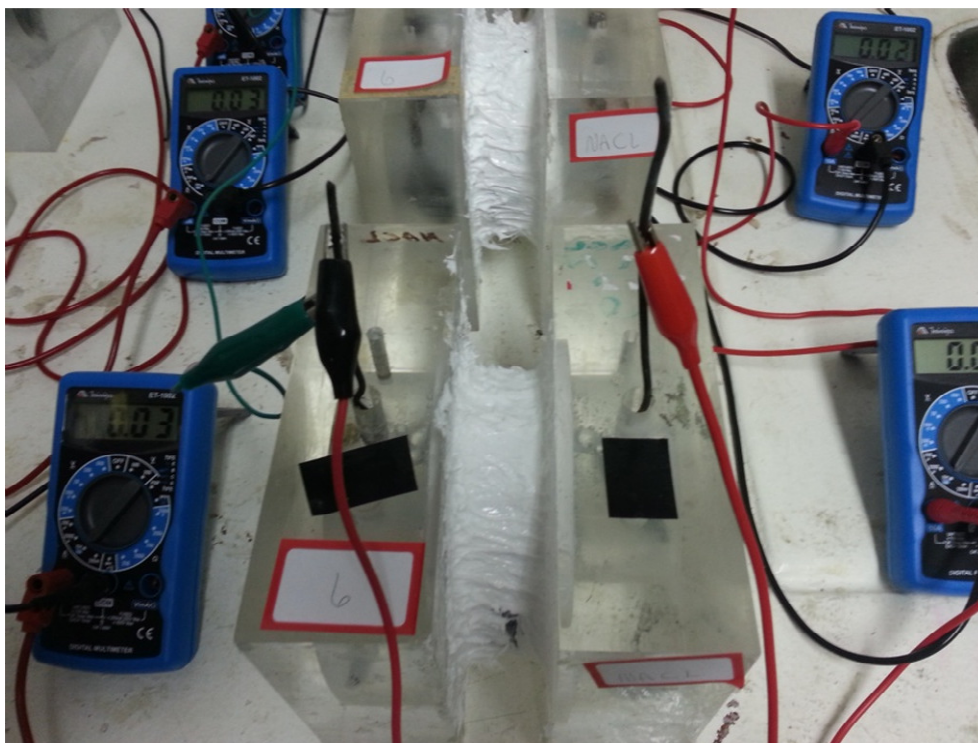


Figura 39. Detalhe das amostras ensaiadas.

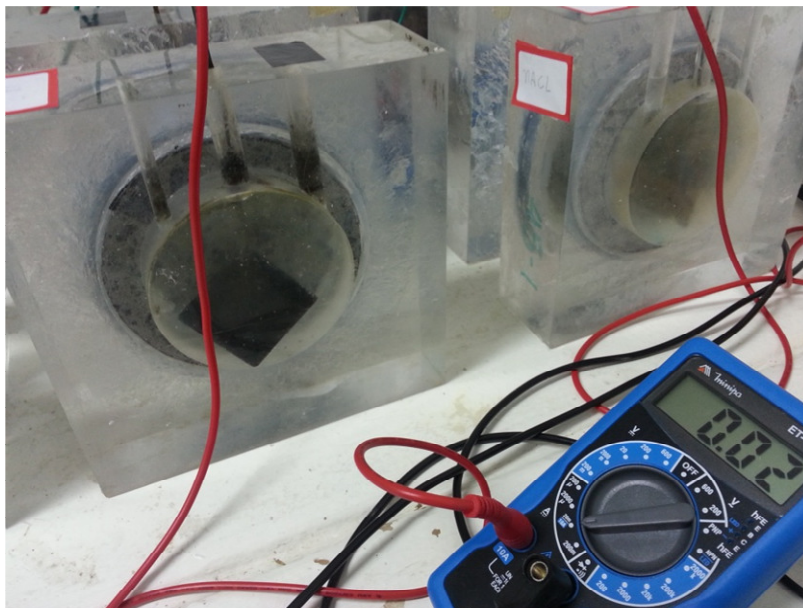


Figura 40. Detalhe lateral das amostras ensaiadas.

Após a realização dos ensaios foi realizada aspersão de nitrato de prata a fim de verificar a penetração de cloretos nas amostras ensaiadas. Para efeito, tornou-se necessário o rompimento central das amostras, utilizando o aparato para o ensaio de resistência à compressão, figuras 41 e 42.



Figura 41. Momento do rompimento das amostras.



Figura 42. Amostras rompidas

Após o rompimento o rompimento das amostras foi realizado o procedimento de aspersão de nitrato de prata, figuras 43 e 44.

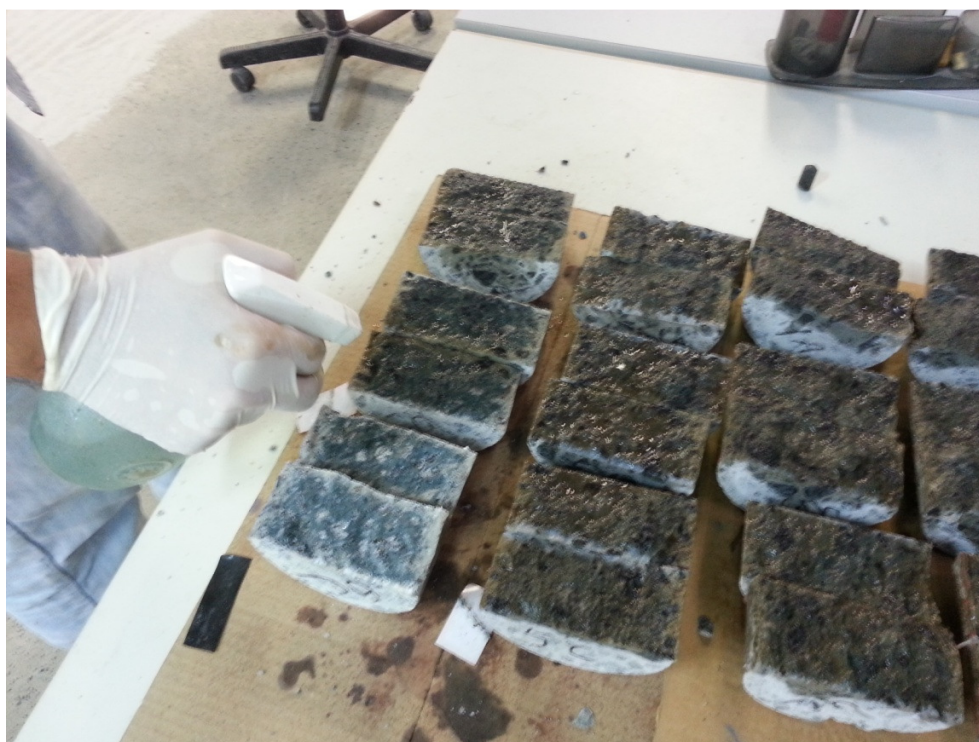


Figura 43. Aspersão de nitrato de prata nas amostras.



Figura 44. Visão geral das amostras pós aspersão de nitrato de prata.

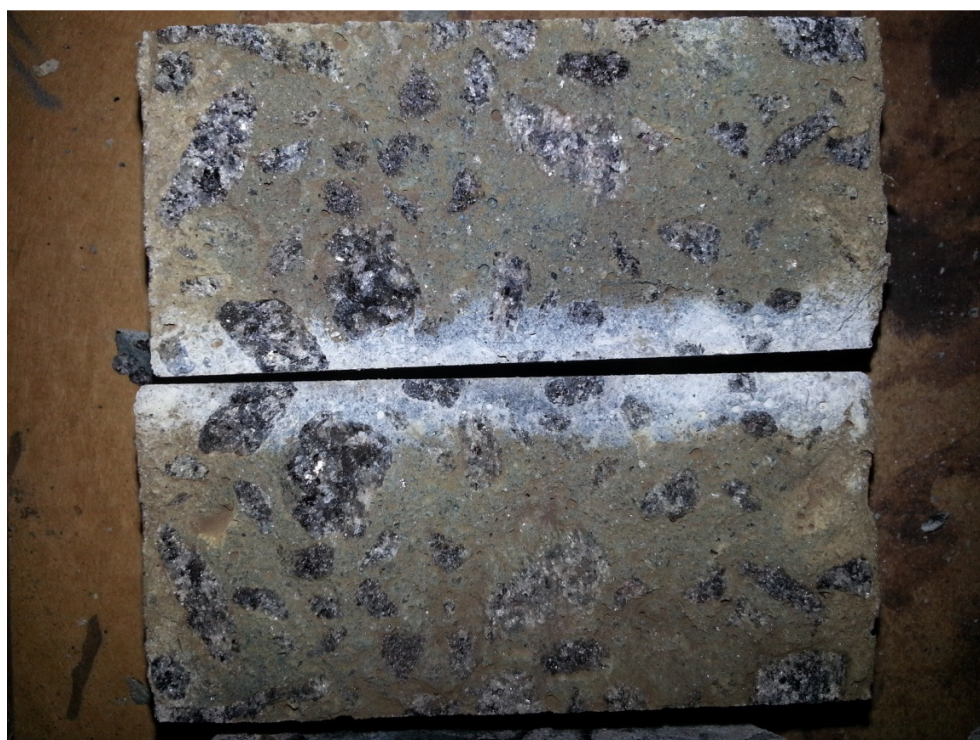


Figura 45. Detalhe de amostra pós aspersão de nitrato de prata.



Figura 46. Medição em amostra com paquímetro após aspersão de nitrato de prata.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a realização dos ensaios pertinentes às amostras com período de cura de 28 e 91 dias, puderam ser identificados os resultados a fim de atender aos objetivos deste trabalho.

Os primeiros resultados são oriundos dos ensaios de penetração acelerada e foram obtidos a partir da utilização de três amostras com misturas iguais onde foi utilizado o seguinte critério: maior numero de ocorrências e em caso de três valores distintos adotar-se-á o valor mediano, conforme demonstrado na tabela 11, para concreto de relação a/c 0,45 sem aditivo impermeabilizante e tempo de cura de 28 dias (para as outras misturas onde foi utilizado o mesmo critério):

Tabela 11. Medições de corrente em períodos de cura

Horário local	Verificação de corrente	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	T1-Adotado
11:50:00	0	0,01	0,01	0,01	0,01
12:20:00	30m	0,02	0,01	0,02	0,02
12:50:00	1h	0,02	0,02	0,02	0,02
13:20:00	1h30	0,02	0,02	0,02	0,02
13:50:00	2h	0,02	0,02	0,02	0,02
14:20:00	2h30	0,02	0,02	0,02	0,02
14:50:00	3h	0,02	0,02	0,02	0,02
15:20:00	3h30	0,02	0,02	0,02	0,02
15:50:00	4h	0,03	0,02	0,02	0,02
16:20:00	4h30	0,03	0,02	0,02	0,02
16:50:00	5h	0,03	0,02	0,03	0,03
17:20:00	5h30	0,03	0,02	0,03	0,03
17:50:00	6h	0,03	0,02	0,03	0,03

A partir dos valores adotados relacionam-se os resultados aos objetivos do trabalho, conforme serão apresentados a seguir:

6.1. RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETOS EM CONCRETOS COM AS MESMAS RELAÇÕES A/C, COM E SEM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.

Verifica-se para relações a/c 0,45 com impermeabilização, 28 dias, menores ocorrências de penetração de corrente na primeira hora, mantendo-se a equivalência até 4:30hs, onde as amostras sem a utilização de impermeabilizante atingem patamares mais elevados (figura 47).

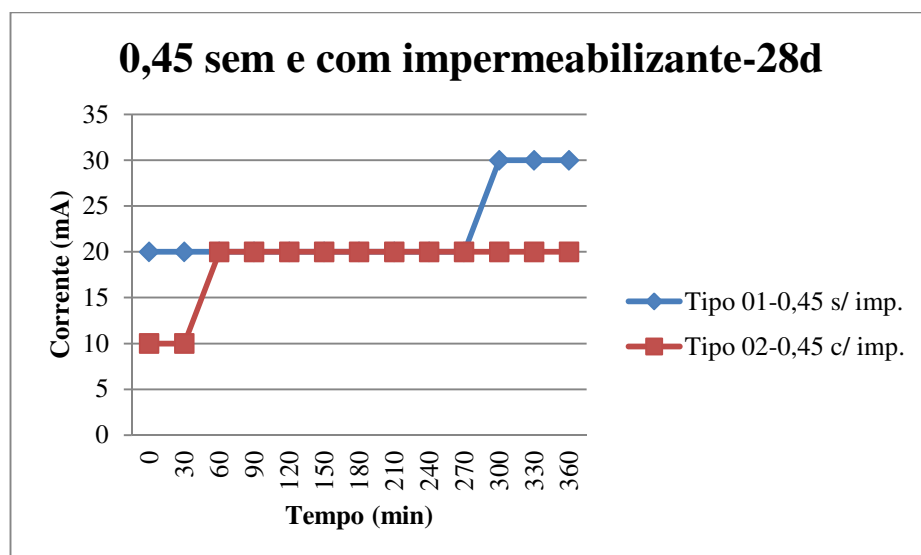


Figura 47. Gráfico corrente passante a/c 0,45-28dias.

Observa-se que com prazo de 91 dias ocorrem maiores valores de correntes passantes que em 28 dias, em ambas as situações, com e sem aditivo impermeabilizante (figura 48).

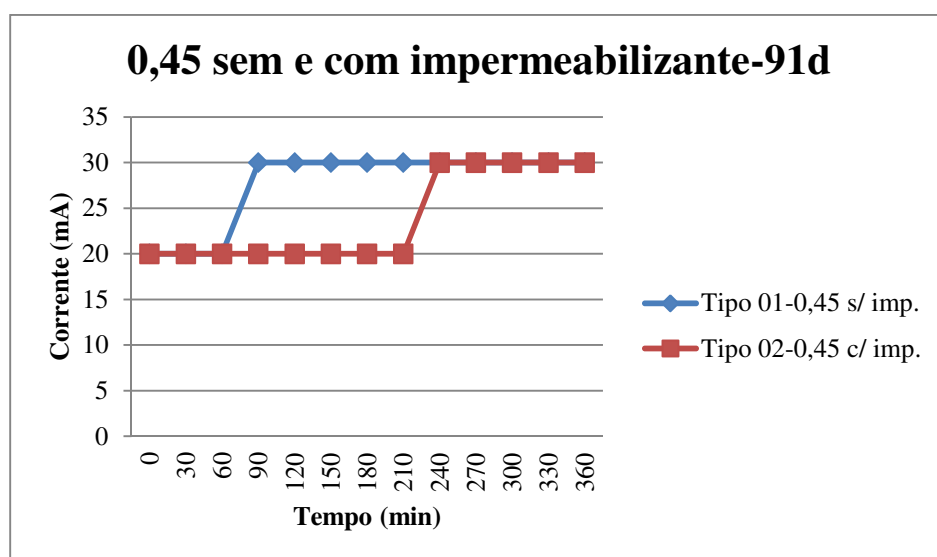


Figura 48. Gráfico corrente passante a/c 0,45-91dias.

Com relação a a/c 0,55, 28 dias, observa-se uma predominância de corrente até 3hs de medição, depois os valores se regularizam (figura 50).

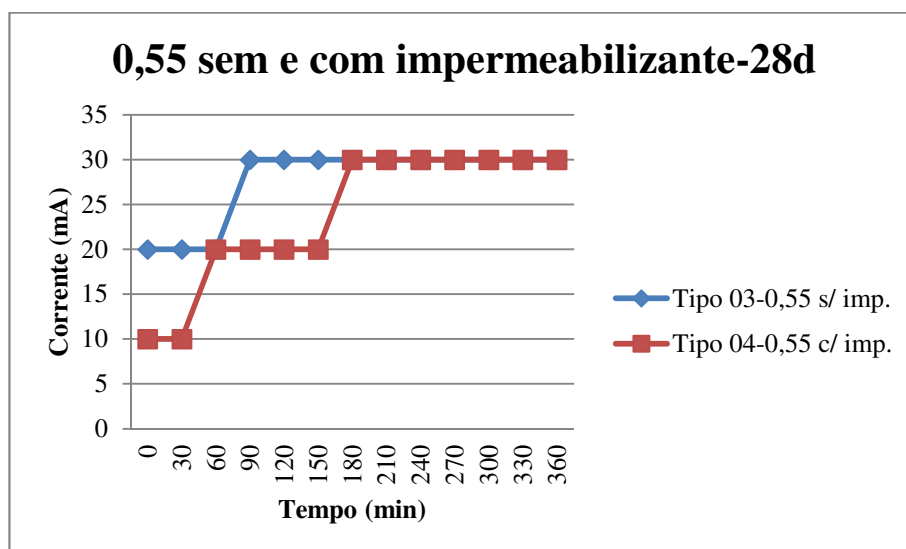


Figura 49. Gráfico corrente passante a/c 0,55-28 dias.

Nota-se novamente, para prazo de cura de 91 dias maiores registros de correntes passantes.

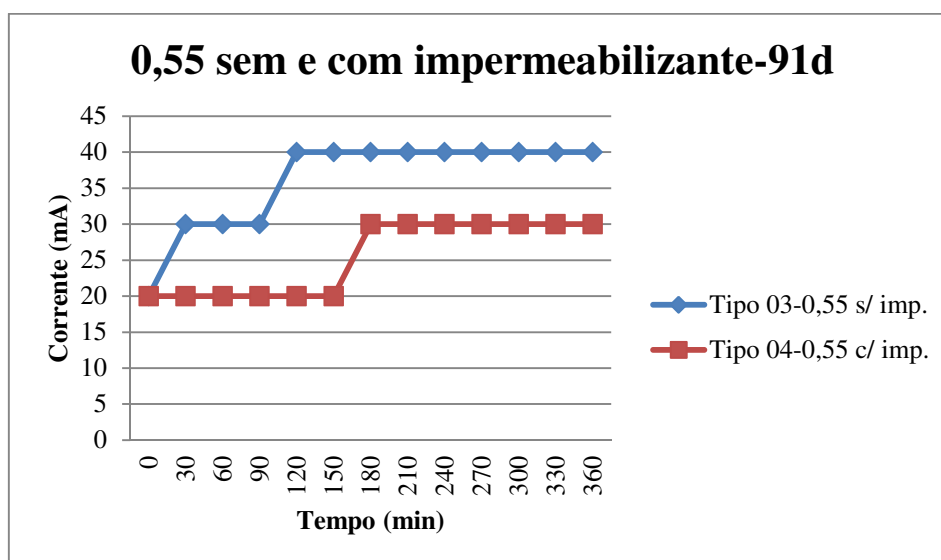


Figura 50. Gráfico corrente passante a/c 0,55-91 dias.

Com relação ao comportamento das amostras de concreto com a relação a/c 0,65, 28 dias com impermeabilizante, ocorre menor penetração nos 30

minutos iniciais e a partir das 2:30h até 4 horas, depois deste momento os valores são os mesmos.

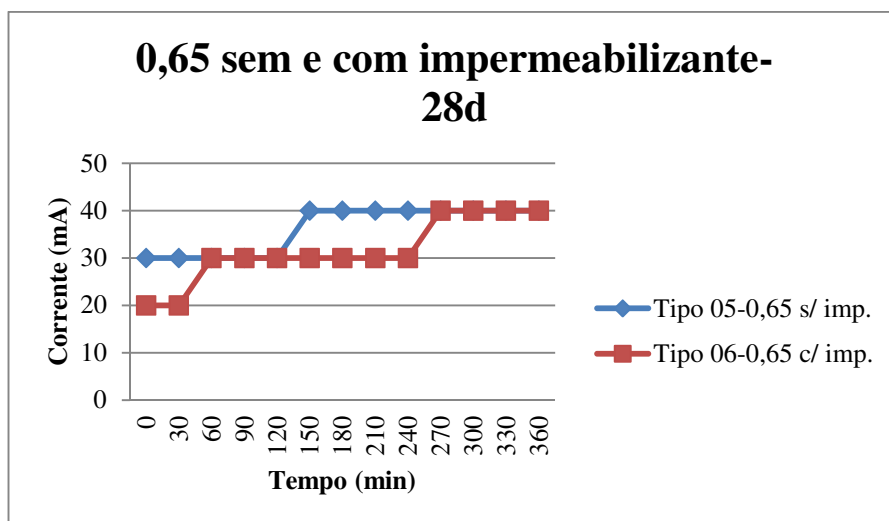


Figura 51. Gráfico corrente passante a/c 0,65-28 dias.

Da mesma forma para 91 dias observou-se maior corrente passante e pôde ser verificado ainda que não houve similaridade quase que em momento algum dos valores entre ambos, como nota-se na tabela abaixo:

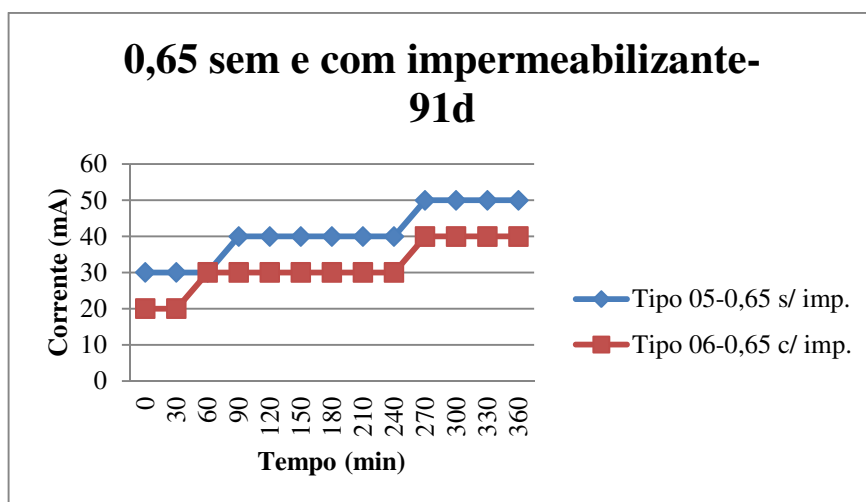


Figura 52. Gráfico corrente passante a/c 0,65-91 dias.

6.2. COMPORTAMENTO DOS CONCRETOS, COM E SEM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, EM DIFERENTES RELAÇÕES A/C FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO.

Consegue-se observar, por meio da figura 54, maiores valores de correntes passantes nas amostras de concreto com a maior relação água/ cimento, 0,65. É importante destacar a diferença entre esta mistura e a amostra de menor relação a/c, 0,45. Estas ocorrências ocorrem tanto nas amostras com aditivo impermeabilizante quanto as sem o aditivo.

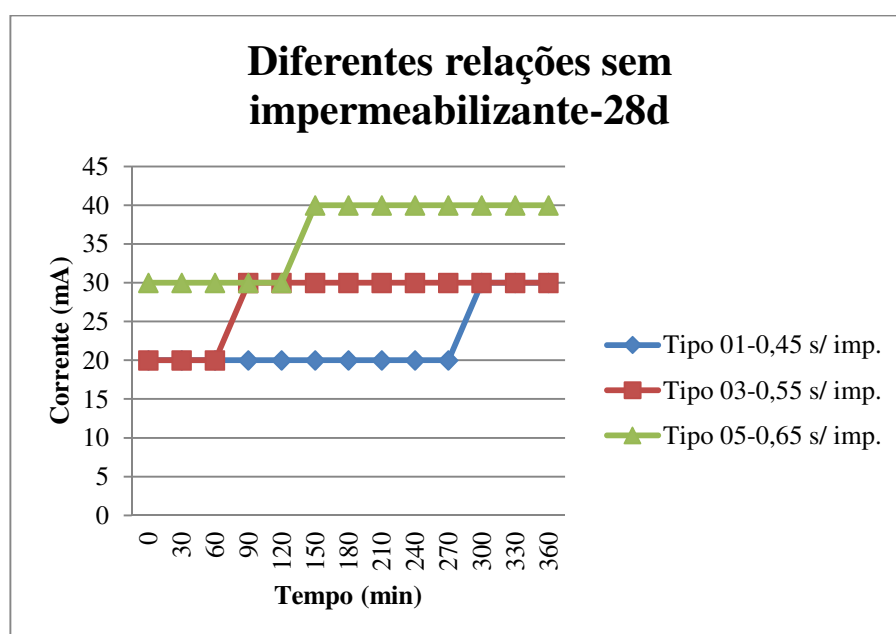


Figura 53. Gráfico corrente passante diferentes relações a/c, sem aditivo-28 dias.

Em 91 dias nota-se similaridade de corrente entre as relações 0,45 e 0,55 e predominância na relação 0,65.

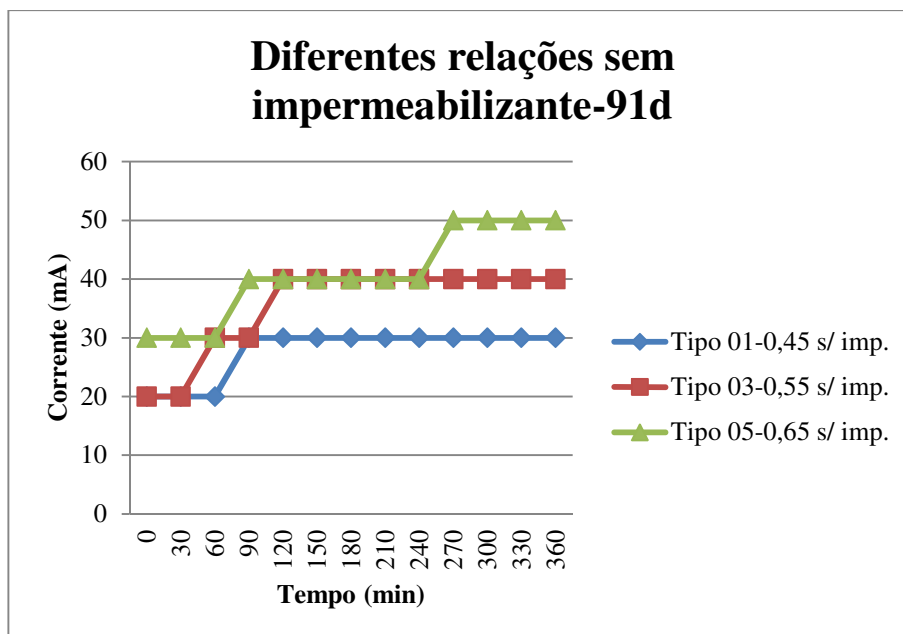


Figura 54. Gráfico corrente passante diferentes relações a/c, sem aditivo-91 dias.

Verifica-se que com impermeabilizante e 28 dias o início de corrente passante de maneira retardada aos valores encontrados para 91 dias, registrando para este último valores totais maiores.

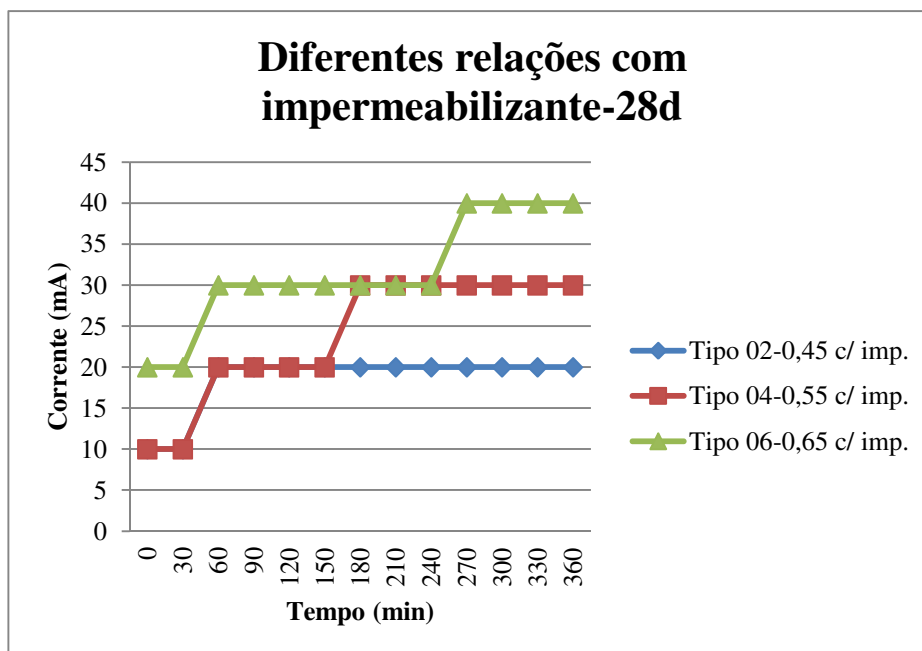


Figura 55. Gráfico corrente passante diferentes relações a/c, com aditivo-28 dias.

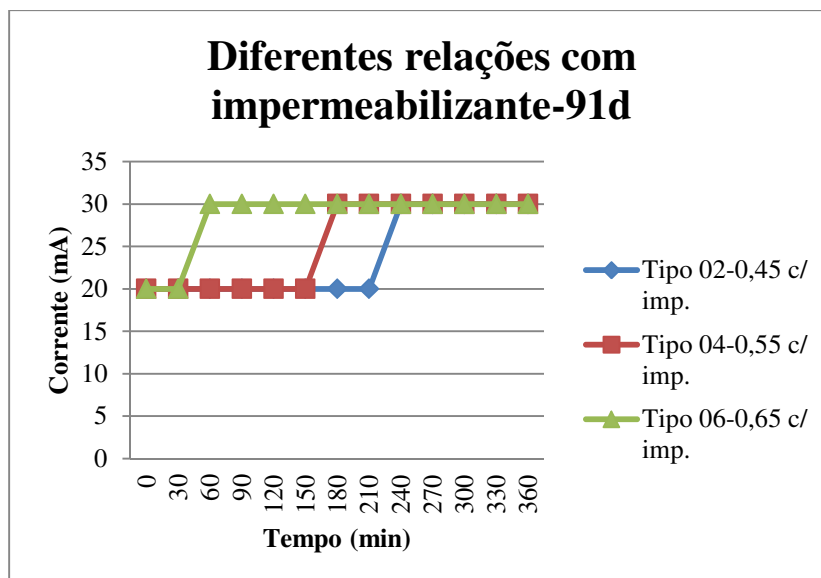


Figura 56. Gráfico corrente passante diferentes relações a/c, com aditivo-91 dias.

6.3. RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETOS EM CONCRETOS COM DIFERENTES RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO.

Identifica-se, por meio do exposto, a relação entre menores resistências dos concretos com o maior potencial de corrente passante.

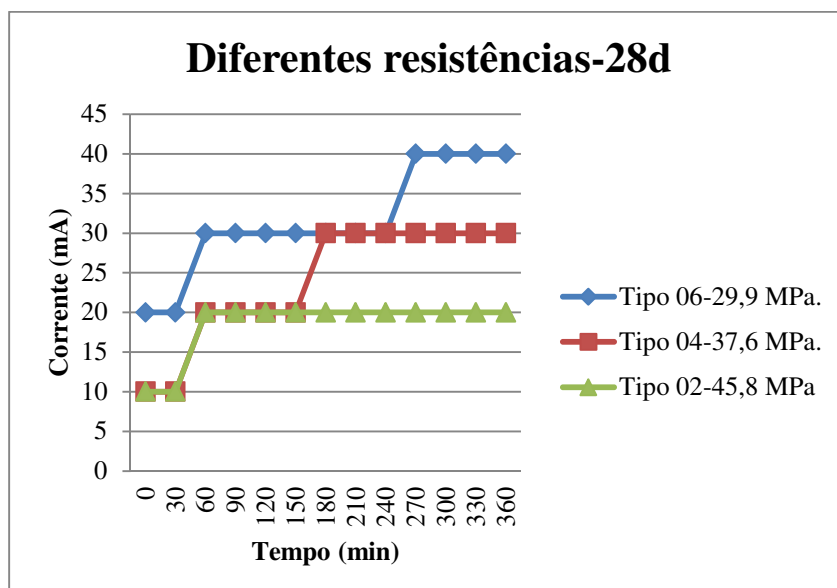


Figura 57. Gráfico corrente passante diferentes resistências-28 dias.

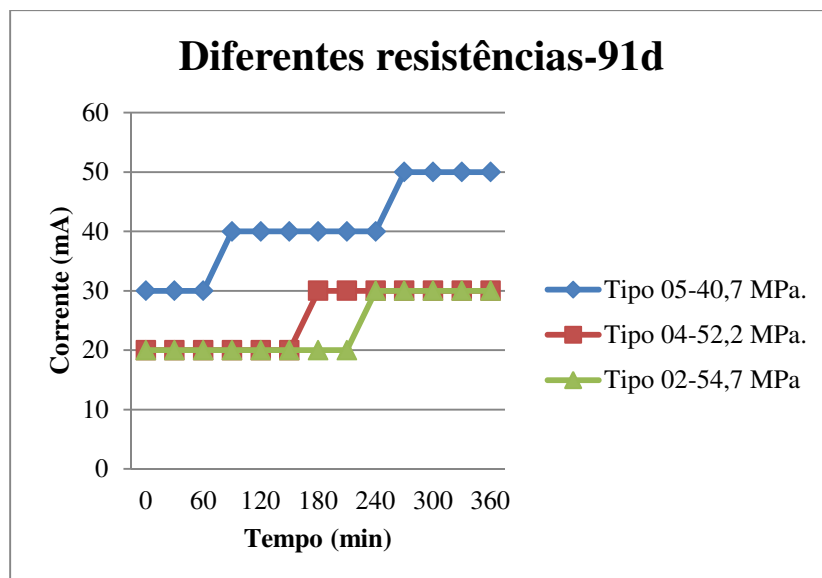


Figura 58. Gráfico corrente passante diferentes resistências-91 dias.

Nota-se que, conforme esperado, foram registrados valores superiores de correntes passantes em menores resistências à compressão, nota-se também que aos 91 dias, apesar de obter valores de resistência superiores que aos 28 dias, as cargas passantes, principalmente em a/c 0,65 foram superiores.

Ainda, foram trabalhados os resultados de maneira a cumprir o recomendado pela ASTM C1202, relacionando os valores encontrados à fórmula proposta pela norma e apresentando os valores de cargas passantes totais em coulombs, conforme é apresentando nas figuras 59 e 60.

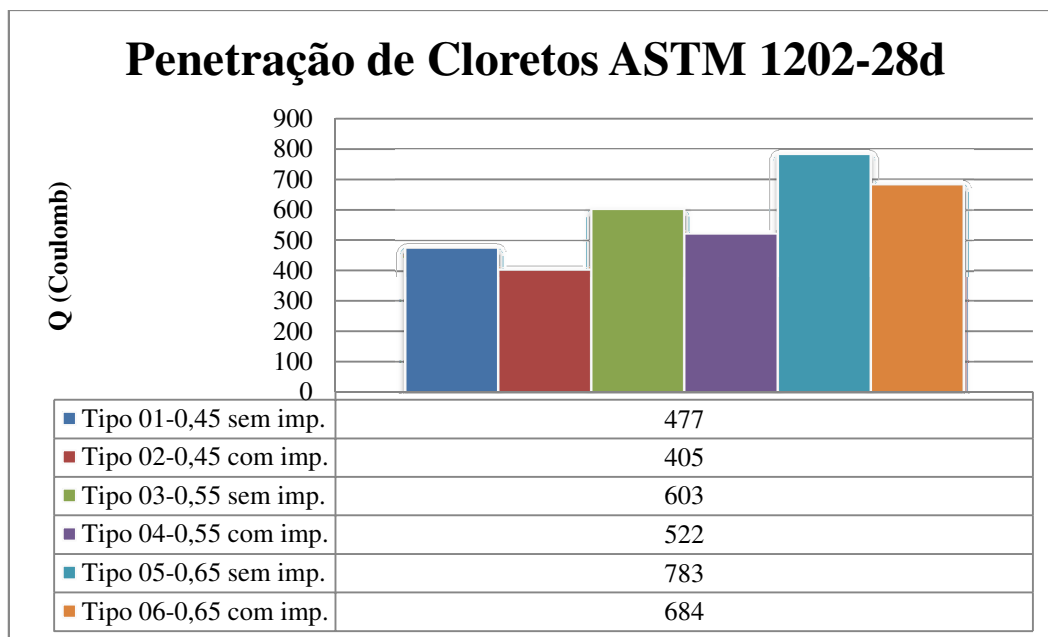


Figura 59. Gráfico carga passante total conforme metodologia de ensaio ASTM C1202 – 28 dias.

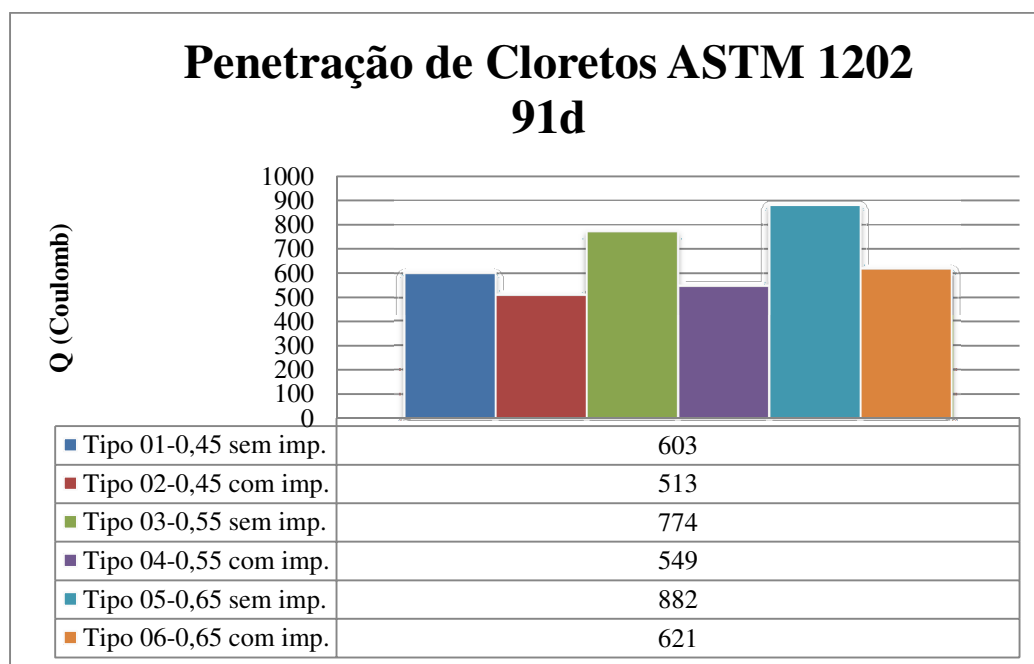


Figura 60. Gráfico carga passante total conforme metodologia de ensaio ASTM C1202 – 91 dias.

Identificam-se assim maiores cargas totais em maiores relações água/cimento e redução de cargas com a utilização de aditivo impermeabilizante conforme tabelas 12 e 13.

Em idade de cura de 91 dias, identificou-se a mesma redução para a relação água/cimento 0,45 (15%) encontrada aos 28 dias, entretanto observaram-

se para relações água/cimento maiores reduções superiores, por volta de 30%, conforme tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Redução média de carga passante em face da utilização de aditivo -28 dias.

Idade de cura de 28 dias			
Relação a/c	Carga Passante sem aditivo impermeabilizante	Carga Passante com aditivo impermeabilizante	Redução (%)
0,45	477	405	15
0,55	603	522	13
0,65	783	684	12

Tabela 13. Redução média de carga passante em face da utilização de aditivo -91 dias.

Idade de cura de 91 dias			
Relação a/c	Carga Passante sem aditivo impermeabilizante	Carga Passante com aditivo impermeabilizante	Redução (%)
0,45	603	513	15
0,55	774	549	29
0,65	882	621	30

Vale mencionar que em relações a/c maiores e com utilização de aditivo impermeabilizante pouco se alteraram os resultados de 28 dias para 91 dias, registrando para 0,55 aumento de apenas 5% e em 0,65 redução de 9%.

Mediante o efeito característico do aditivo impermeabilizante por cristalização de reagir com os subprodutos do cimento e reduzir a porosidade do concreto, em suas primeiras idades, os valores de quantidades de cargas passantes se mantiveram (dentro os percentuais toleráveis de variação) em relações a/c maiores (0,55 e 0,65) nos dois períodos de cura adotados. Apesar destas relações apresentarem maiores porosidades o efeito do aditivo impermeabilizante neutralizou o aumento de carga passante constatado nas amostras que não adotaram o aditivo.

Observa-se que, diferentemente do que identificado em publicações envolvendo o tema, penetração de íons cloretos em concretos, que com o maior tempo de cura têm-se menores penetrações de íons cloreto, o método de ensaio conduziu ao inverso desta afirmação, apresentando para os concretos sem aditivo impermeabilizante por cristalização aumento de carga passante, logo, conforme ASTM C1202, maior potencial de penetração de cloretos.

Provavelmente isto possa ter ocorrido em virtude do tipo de transporte predominante de íons cloreto contemplado no ensaio (migração de cloretos, que utiliza diferença de potencial, referenciando a carga passante das amostras à resistência à penetração, a partir da condutibilidade do material) com o provável ar aprisionado e/ou incorporado nas amostras de concreto. O ar aprisionado e incorporado podem ser oriundos de fatores relacionados à execução, mas também relacionados à utilização de aditivo plastificante, como o que foi adotado neste trabalho de pesquisa.

Além de a água ser um melhor condutor de corrente elétrica do que o ar há também presente na água em contato com o concreto, alguns tipos de sais presentes no concreto. E como o sal é um excelente condutor este acaba passando essa propriedade para a água em contato, caso que não acontece com o ar.

Pode ter ocorrido que o ar presente no concreto até os 28 dias proporcionou resistência à passagem de correntes passantes, fato que em 91 dias, em virtude do avançado grau de reações de hidratação do cimento e menores vazios, ocorreram em potencial reduzido. Neste contexto, houve um aumento médio de carga passante por volta de 15% (tabela 14) mesmo que não significativo no âmbito do teste onde o objetivo final é a classificação qualitativa.

Tabela 14. Variação média de carga passante de 28 para 91 dias.

Mistura Adotada	a/ac	Carga Passante 28 dias	Carga Passante 91 dias	Variação da Carga Passante	Variação da Carga Passante (%)	Variação Média da Carga Passante (%)
CPIII-40-RS	0,45	477	603	126	26%	15%
	0,55	603	774	171	28%	
	0,65	783	882	99	13%	
CPIII-40-RS com aditivo impermeab.	0,45	405	513	108	27%	
	0,55	522	549	27	5%	
	0,65	684	621	-63	-9%	

A variação identificada não interfere na classificação de penetrabilidade de cloretos muito baixa em que se enquadram todas as amostras analisadas e cumprir o objetivo do ensaio de caracterizar o concreto de maneira qualitativa e proporcionar efeitos de repetibilidade e reprodutibilidade.

Ainda, é relevante mencionar que, conforme Helene (1986) com 28 dias um cimento Portland pode estar ainda com apenas cerca de 70% de fração hidratada, sendo assim aos 91 dias pode ocorrer maior fechamento dos poros e desprendimento de ar incorporado, principalmente nas amostras sem aditivo impermeabilizante.

Torna-se relevante também mencionar que a diminuição de carga passante em idade de cura de 7 dias para 28 dias é significativa, enquanto que a redução de 28 dias para 91 dias passa a não ter impacto determinante. Sendo assim, a utilização dos valores de cargas passantes aos 91 dias passa a ter um aspecto secundário de avaliação em comparação com a influencia do ganho de resistência e da variação da relação a/c, além da utilização de aditivo impermeabilizante, em diferentes cenários.

A partir dos resultados, verifica-se a maior incidência de penetração de corrente passante total nas amostras com maiores relações a/c e observa-se ainda que estes valores se encontram em patamares de penetração muito baixos,

conforme quadro de classificação de penetração de corrente passante total, apresentado nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Tabela de classificação de concretos contemplada na ASTM C1202.

Carga Passante (Coulombs)	Penetração dos Íons Cloreto
>4000	Elevada
2000 - 4000	Moderada
1000 - 2000	Baixa
100 - 1000	Muito Baixa
< 100	Desprezível

Tabela 16. Relação da classificação dos concretos moldados no presente trabalho, conforme ASTM C1202.

Relação Água/cimento	Aditivo	Idade (dias)	Carga Passante Q (Coulombs)	Classificação	Resistência (Mpa)
0,45	C/Aditivo	28	405	Muito baixa	45,8
	S/Aditivo	28	477	Muito baixa	45,2
0,45	C/Aditivo	91	513	Muito baixa	54,7
	S/Aditivo	91	603	Muito baixa	54,1
0,55	C/Aditivo	28	522	Muito baixa	37,6
	S/Aditivo	28	603	Muito baixa	42,7
0,55	C/Aditivo	91	549	Muito baixa	52,2
	S/Aditivo	91	774	Muito baixa	50,9
0,65	C/Aditivo	28	684	Muito baixa	29,9
	S/Aditivo	28	783	Muito baixa	29,9
0,65	C/Aditivo	91	621	Muito baixa	39,5
	S/Aditivo	91	882	Muito baixa	40,7

Justificam-se as cargas totais em patamares muito baixos, principalmente, pela escolha do cimento e a opção de cura em câmara úmida nos períodos de 28 e

91 dias. O tipo de cimento adotado, cimento Portland com escórias granuladas de alto forno, resistente a sulfatos (CPIII-RS), proporciona concretos mais impermeáveis e duráveis. A opção pela cura em câmara úmida corresponde a um processo que agrega maiores resistências e durabilidade que à cura ao ar.

Observa-se, por meio das figuras 61 e 62, a influência do uso do aditivo impermeabilizante para os tempos de cura adotados.

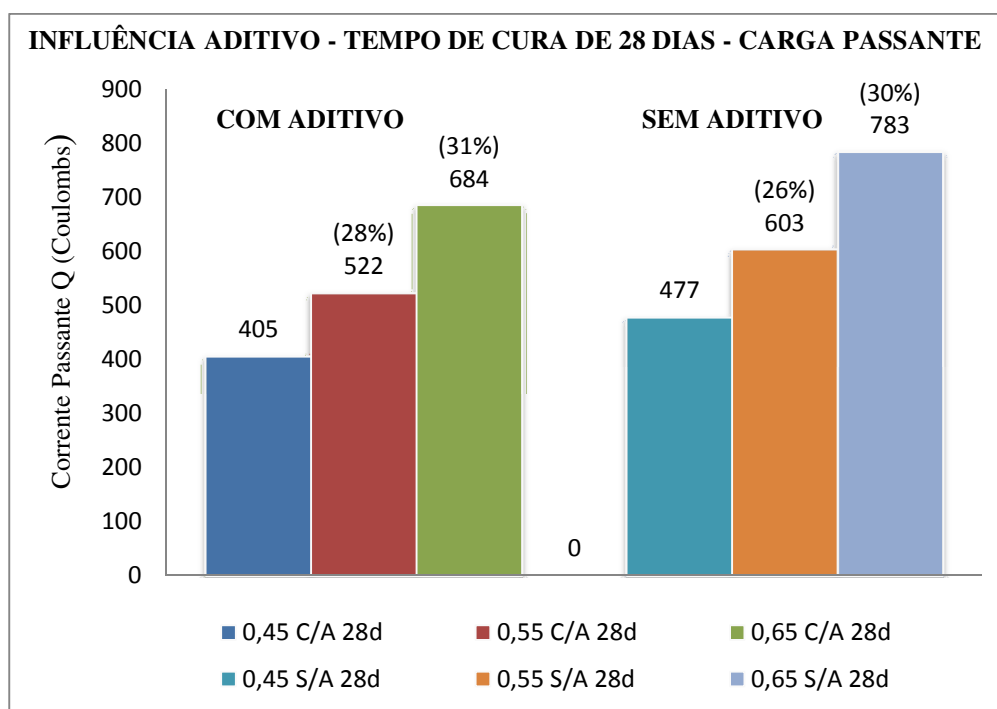


Figura 61. Influencia do uso do aditivo aos 28 dias-carga passante.

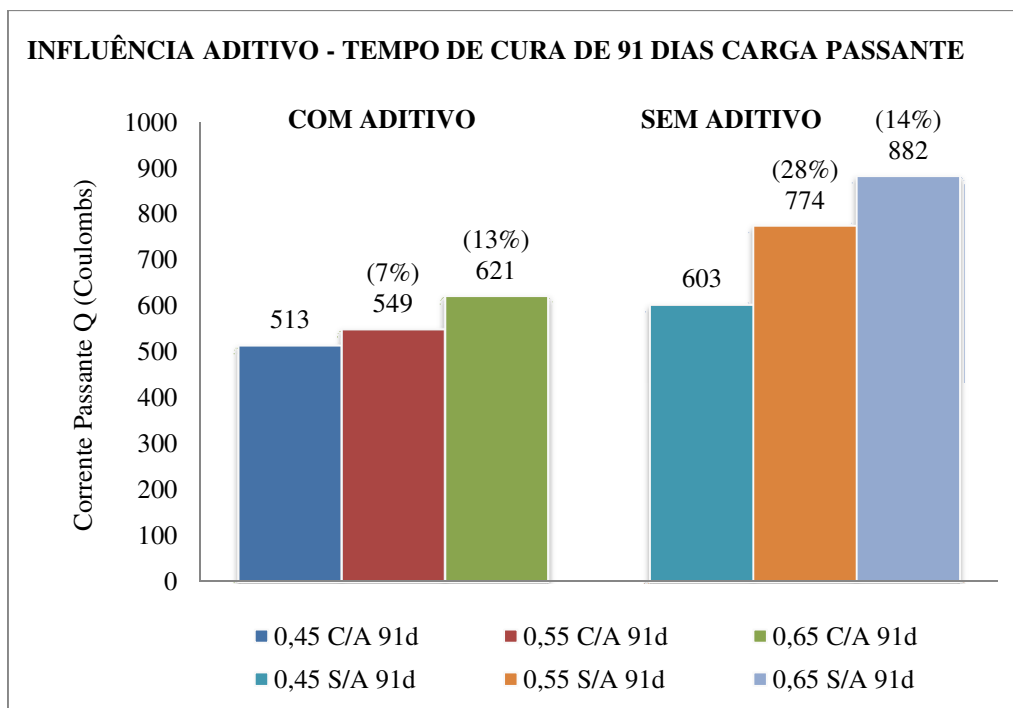


Figura 62. Influencia do uso do aditivo aos 91 dias-carga passante.

Nota-se para 28 e 91 dias o aumento de cargas passantes com o aumento da relação a/c e em concretos sem e com aditivo impermeabilizante. Em 28 dias, com a variação da relação a/c, nota-se um aumento constante em torno de 30%.

Vale mencionar que apesar de ter ocorrido de maneira semelhante aumento de carga passante com o avanço das relações a/c, tanto em 28 como em 91 dias, observou-se que as variações com a utilização de aditivo impermeabilizante em 91 dias foram menores, provavelmente em função do mecanismo de cristalização dos poros do concreto reagindo com a microestrutura do concreto por períodos mais longos. Esta característica permitiu em idades mais avançadas que as diferentes porosidades representadas pelas diferentes relações água/cimento em muito se aproximassem em termos de resultados.

Identificam-se também os resultados de resistência à compressão obtidos a partir das variações de idades, relações água cimento e uso de aditivo impermeabilizante e neste contexto podem ser observadas as imagens 63 e 64.

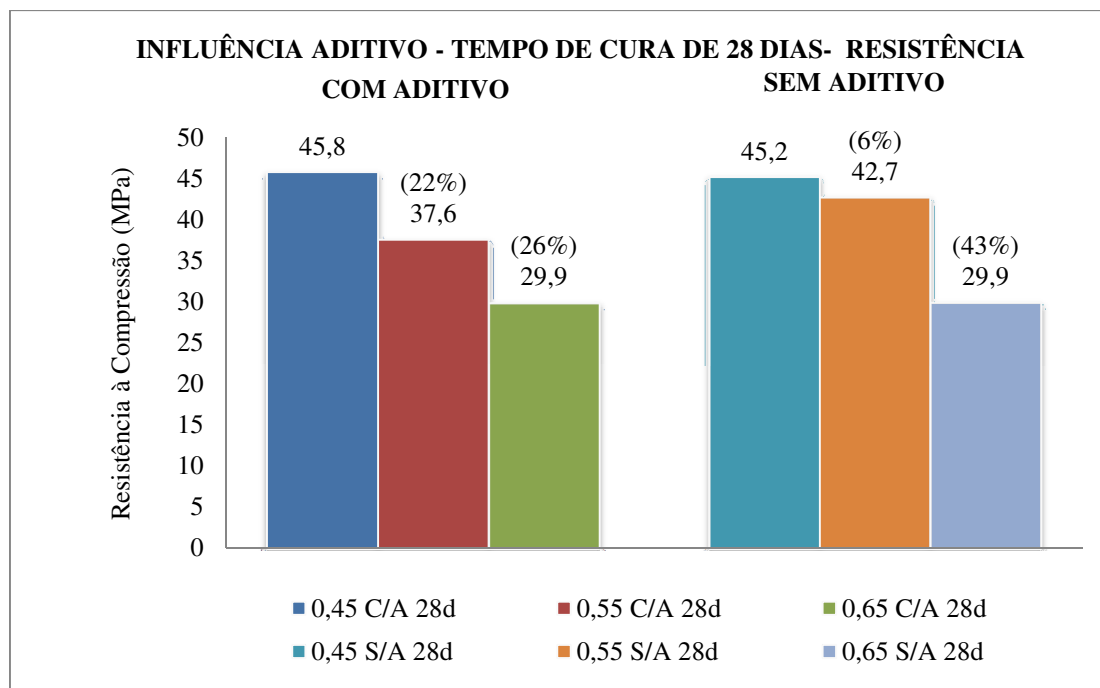


Figura 63. Influencia do aditivo-tempo de cura de 28 dias – Resistência.

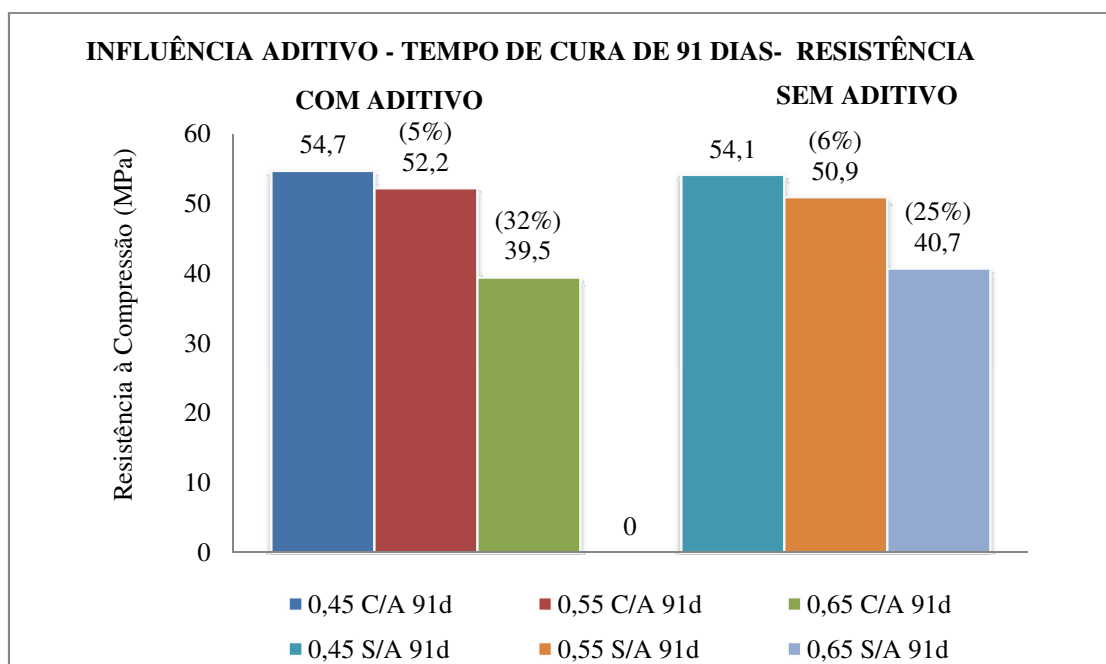


Figura 64. Influencia do aditivo-tempo de cura de 91 dias – Resistência.

Conforme os resultados pôde-se observar que com relação às resistências têm-se maior variação entre as relações a/c na idade de 28 dias do que em 91 dias. Pôde ser também observado, conforme tabelas 17 e 18, que nas amostras de fator a/c 45 se manteve o ganho da resistência à compressão com o avanço da idade de cura, em torno de 20%, enquanto que em relações maiores, 0,55 e 0,65 e com uso

de aditivo impermeabilizante, percebe-se um aumento mais significativo, principalmente em função da característica do impermeabilizante, reagindo com a umidade disponível e subprodutos não hidratados do cimento, característicos de maiores porosidades.

Tabela 17. Ganho médio de resistência à compressão com o uso de aditivo.

Uso de aditivo impermeabilizante			
Relação a/c	28 dias Resistência à Compressão (Mpa)	91 dias Resistência à Compressão (Mpa)	Ganho de resistência (%)
0,45	45,8	54,7	19
0,55	37,6	52,2	39
0,65	29,9	39,5	32

Tabela 18. Ganho médio de resistência à compressão sem o uso de aditivo.

Sem aditivo impermeabilizante			
Relação a/c	28 dias Resistência à Compressão (Mpa)	91 dias Resistência à Compressão (Mpa)	Ganho de resistência (%)
0,45	45,2	54,1	20
0,55	42,7	50,9	17
0,65	29,9	40,7	36

Ainda com relação ao uso do aditivo e ganho de resistência observou-se um ganho em torno de 1% nas amostras (descartando valor discrepante), conforme pode ser identificado na tabela 19.

Tabela 19. Influência do aditivo na variação de resistência à compressão.

a/c	28 dias			91 dias		
	Sem aditivo	Com aditivo	Variação (%)	Sem aditivo	Com aditivo	Variação (%)
0,45	45,2	45,8	1	54,1	54,7	1
0,55	42,7	37,6	-12	50,9	52,2	2,6
0,65	29,9	29,9	0	40,7	39,5	- 3

Foram agrupados os resultados a fim de avaliar as variáveis independentes com maiores influencias nos resultados, sejam elas a relação a/c, uso de aditivo impermeabilizante e a idade de cura (tanto em cargas passantes

como em resistência), correlacionando as variáveis conforme identificados nas tabelas seguintes.

Pode ser notada a variação média entre a/c 0,45 e 0,65 de 67% para 28 dias e 34% para 91 dias, no que se refere à carga passante, conforme tabela 20.

Tabela 20. Análise: relação a/c e carga passante.

Tabela 20: Análise: Relação A/C e carga passante.						
28 DIAS	RELAÇÃO A/C / CARGA PASSANTE					
Traço	Relação água/cimento			Percentual de variação		
	0,45	0,55	0,65	0,45-0,55	0,55-0,65	0,45-0,65
CPIII-40-RS-sem aditivo	477	603	783	26%	30%	64%
CPIII-40-RS-com aditivo	405	522	684	29%	31%	69%
91 DIAS	RELAÇÃO A/C / CARGA PASSANTE					
Traço	Relação água/cimento			Percentual de variação		
	0,45	0,55	0,65	0,45-0,55	0,55-0,65	0,45-0,65
CPIII-40-RS-sem aditivo	603	774	882	28%	14%	46%
CPIII-40-RS-com aditivo	513	549	621	7%	13%	21%
Traço	Idade			Percentual de variação – 0,45-0,65		
CPIII-40-RS-sem aditivo	28 dias			64%		
	91 dias			46%		
CPIII-40-RS-com aditivo	28 dias			69%		
	91 dias			21%		
Variação Média 28 dias	67%					
Variação Média 91 dias	34%					

No que concerne o uso de aditivo e sua relação com a carga passante nota-se uma variação média de 16% para 28 dias e 34 % para 91 dias conforme tabela 21.

Tabela 21. Análise: aditivo e carga passante.

ADITIVO / CARGA PASSANTE				
Idade	% de variação (SA-CA)	% de variação (SA-CA)	% de variação (SA-CA)	Variação Média
	0,45	0,55	0,65	
28 dias	18%	16%	14%	16%
91 dias	18%	41%	42%	34%

No que se refere ao fator a/c e resistência à compressão o percentual de variação média (diminuição da resistência com o aumento da a/c) foi de 34% para 28 dias e 26% para 91 dias (tabela 22)

Tabela 22. Análise: relação a/c e resistência.

Tabela 22 - Percentual Variação A/C e Resistência						
28 DIAS	RELAÇÃO A/C / RESISTÊNCIA					
Traço	Relação água/cimento			Percentual de variação		
	0,45	0,55	0,65	0,45-0,55	0,55-0,65	0,45-0,65
CPIII-40-RS-sem aditivo	45,2	42,7	29,9	-6%	-30%	-34%
CPIII-40-RS-com aditivo	45,8	37,6	29,9	-18%	-20%	-35%
91 DIAS	RELAÇÃO A/C / RESISTÊNCIA					
Traço	Relação água/cimento			Percentual de variação		
	0,45	0,55	0,65	0,45-0,55	0,55-0,65	0,45-0,65
CPIII-40-RS-sem aditivo	54,1	50,9	40,7	-6%	-20%	-25%
CPIII-40-RS-com aditivo	54,7	52,2	39,5	-5%	-24%	-28%
Traço	Idade			Percentual de variação - 0,45-0,65		
CPIII-40-RS-sem aditivo	28 dias			-34%		
	91 dias			-25%		
CPIII-40-RS-com aditivo	28 dias			-35%		
	91 dias			-28%		
Variação Média 28 dias	-34%					
Variação Média 91 dias	-26%					

Para a utilização do aditivo e a variação de resistência observou-se a variação média não significativa nas amostras, conforme pode ser observado na tabela 23.

Tabela 23. Análise: aditivo e resistência.

ADITIVO / RESISTÊNCIA				
Idade	% de variação (SA-CA)	% de variação (SA-CA)	% de variação (SA-CA)	Variação Média
	0,45	0,55	0,65	
28 dias	1%	-12%	0%	-4%
91 dias	1%	3%	-3%	0%

Com relação à idade de cura e sua relação com a resistência e carga passante observou-se para carga passante 22% aos 28 dias e 7% aos 91 dias. Com relação à resistência os percentuais foram de 25 e 30 respectivamente, conforme tabelas 24 e 25.

Tabela 24. Análise: idade de cura e carga passante.

IDADE DE CURA / CARGA PASSANTE				
Relação a/c	28 dias – sem aditivo	91 dias – sem aditivo	% de variação	Variação Média Sem Aditivo (%)
0,45	477	603	26	22
0,55	603	774	28	
0,65	783	882	13	
Relação a/c	28 dias – com aditivo	91 dias – com aditivo	% de variação	Variação Média Com Aditivo (%)
0,45	405	513	26	7
0,55	522	549	5	
0,65	684	621	-9	

Tabela 25. Análise: idade de cura e resistência.

IDADE DE CURA / RESISTÊNCIA				
Relação a/c	28 dias – sem aditivo	91 dias – sem aditivo	% de variação	Variação Média Sem Aditivo (%)
0,45	45,2	54,1	20	25
0,55	42,7	50,9	20	
0,65	29,9	40,7	36	
Relação a/c	28 dias – com aditivo	91 dias – com aditivo	% de variação	Variação Média Com Aditivo (%)
0,45	45,8	54,7	20	27,5
0,55	37,6	52,2	39	
0,65	29,9	39,5	32	

Com base na análise efetuada puderam ser verificadas as variáveis que mais influenciaram nos resultados, sendo assim nota-se que a variável mais considerável, foi motivada pelas distintas relações água/cimento (tabelas 26 e 27).

Tabela 26. Análise geral: variável de maior influência-28 dias.

Confronto	28 dias (%)	Itens que mais variaram
Relação a/c / Carga Passante	67	1º
Relação a/c / Resistência	-34	2º
Aditivo / Carga Passante	16	6º
Aditivo / Resistência	-4	8º
Confronto	Análise Idade Sem aditivo (%)	Itens que mais variaram
Idade de Cura / Resistência	25	4º
Idade de Cura / Carga Passante	22	5º
Confronto	Análise Idade Com aditivo (%)	Itens que mais variaram
Idade de Cura / Resistência	27,5	3º
Relação a/c / Carga Passante	7	7º

Tabela 27. Análise geral: variável de maior influência- 91 dias.

Confronto	91 dias (%)	Itens que mais variaram
Relação a/c / Carga Passante	34	1º
Relação a/c / Resistência	-26	4º
Aditivo / Carga Passante	34	1º
Aditivo / Resistência	0	8º
Confronto	Análise Idade Sem aditivo (%)	Itens que mais variaram
Idade de Cura / Resistência	25	5º
Idade de Cura / Carga Passante	22	6º
Confronto	Análise Idade Com aditivo (%)	Itens que mais variaram
Idade de Cura / Resistência	27,5	3º
Relação a/c / Carga Passante	7	7º

Logo, contata-se a variável relação água/cimento como a de maior relevância nos resultados.

Entretanto, é importante ressaltar que aos 91 dias a variável aditivo impermeabilizante pontua-se com posição de destaque ao lado da variável fator a/c. Esta situação provavelmente ocorre em função do período prolongado de ação do aditivo impermeabilizante somando-se ao período em que se têm a redução da variação de valores de fator a/c. Torna-se relevante mencionar que, conforme explanado anteriormente, a utilização do aditivo impermeabilizante em

idade avançada (91 dias) proporcionou a diminuição da variação de resultados entre amostras com diferentes fatores água/cimento.

A fim de melhor se obter uma visualização geral da influencia da relação a/c e o uso de aditivo impermeabilizante observam-se nas imagens seguintes os resultados representados graficamente.

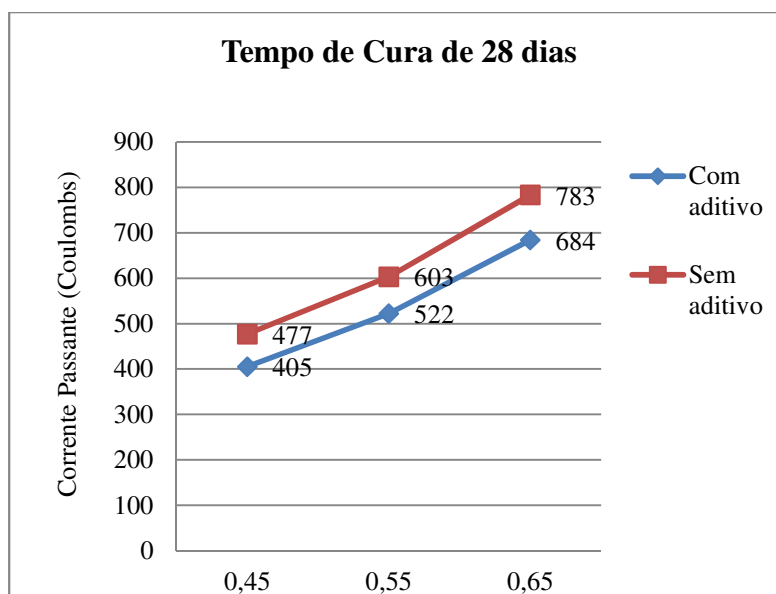


Figura 65. Influencia do tempo de cura no uso do aditivo, 28 dias.

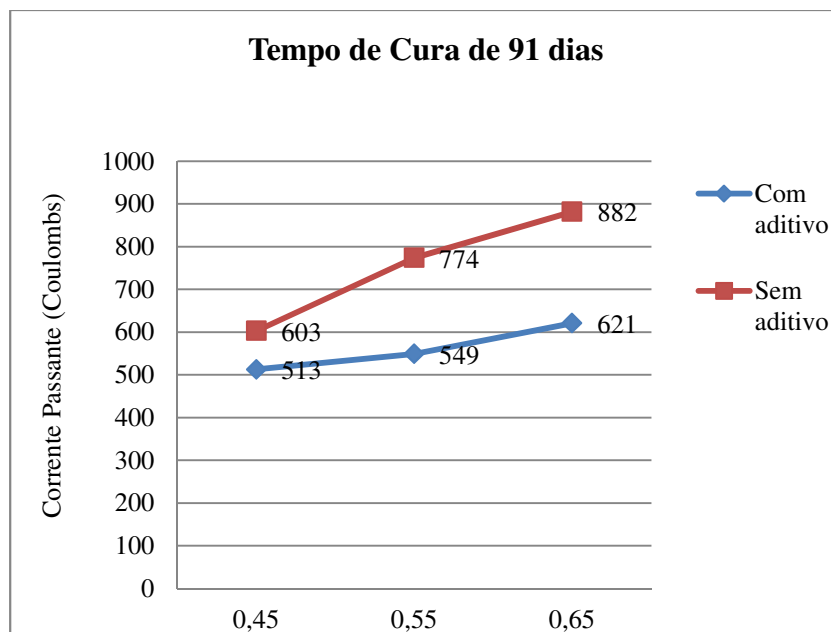


Figura 66. Influencia do tempo de cura no uso do aditivo, 91 dias.

Da mesma forma, para melhor visualização, são utilizados modelos gráficos para visualizar a variação da relação a/c e sua influencia para a resistência, imagens seguintes.

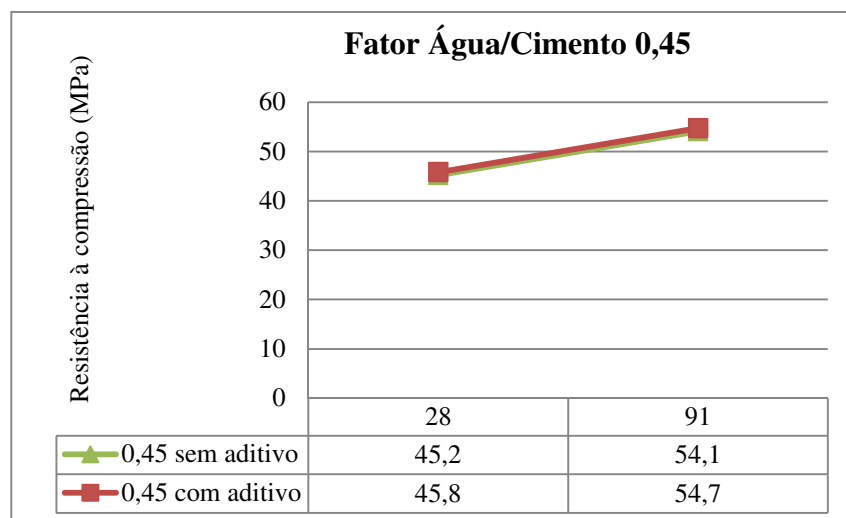


Figura 67. Influencia do fator água/cimento no uso do aditivo-a/c=0,45.

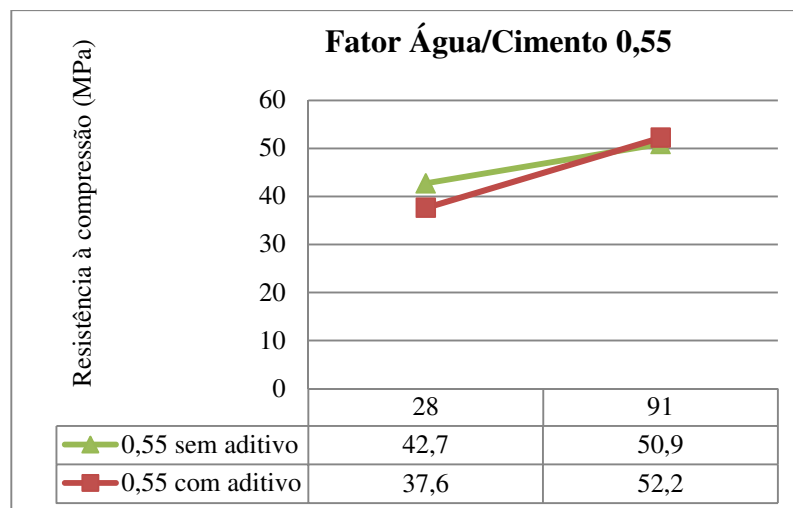


Figura 68. Influencia do fator água/cimento no uso do aditivo-a/c=0,55.

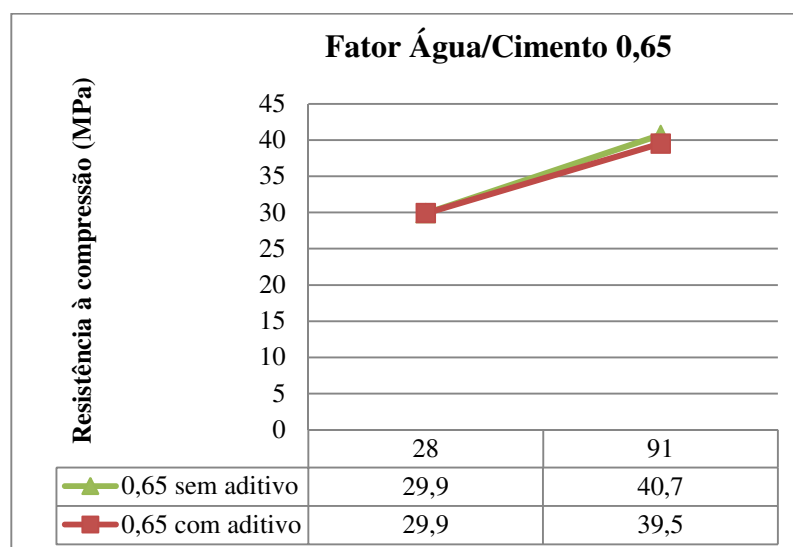


Figura 69. Influencia do fator água/cimento no uso do aditivo-a/c=0,65.

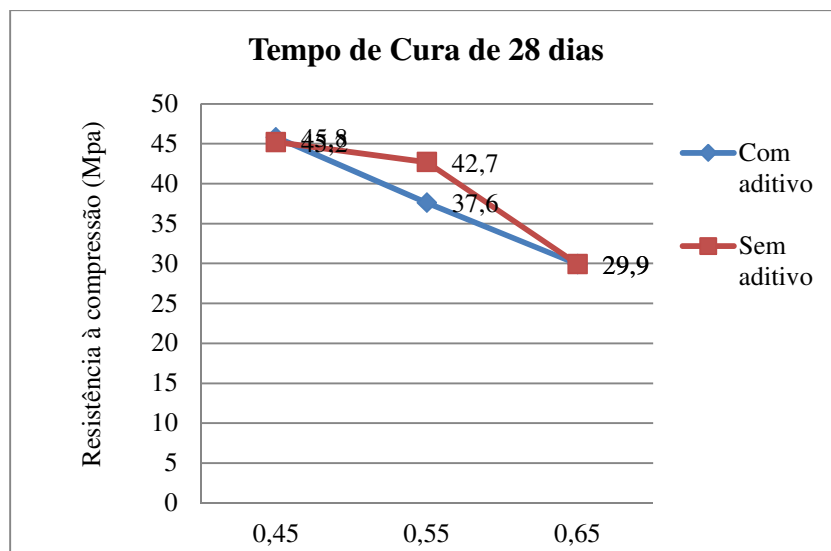


Figura 70. Idade de cura de 28 dias e resistência.

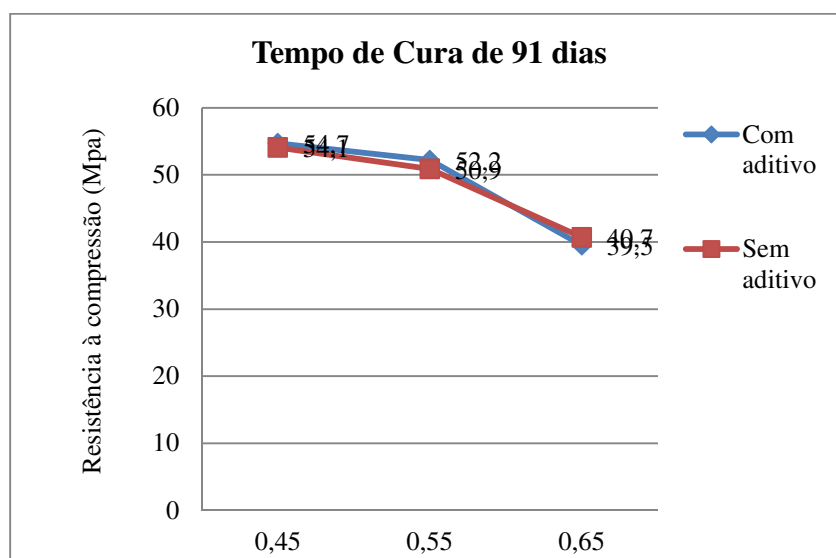


Figura 71. Idade de cura de 91 dias e resistência.

A fim de agregar informações aos resultados obtidos por meio do método de penetração acelerada, ASTM C1202, foi realizada a identificação, por aspersão de nitrato de prata, da penetração de íons cloreto nas amostras de concreto. Este procedimento foi adotado tendo como referencia o método NT Build 492 que, conforme já mencionado, concilia processo de utilização de diferença de potencial com indicador colorimétrico.

Wee, Suryavanshi e Tin (2000) relataram que a avaliação da penetração de cloretos por aspersão de nitrato de prata é influenciada pela estrutura dos poros, pela capacidade de fixação de cloretos nas fases do cimento (C3A e C4AF) e,

também, pela dupla camada elétrica formada nas paredes dos poros. Já o ensaio da ASTM 1202, além de ser controlado pela microestrutura, também depende da condutividade da solução dos poros.

Apesar de não haver normatização envolvendo o proposto neste trabalho, de conciliar o método ASTM C1202 com método de indicador colorimétrico por aspersão de nitrato de prata, este procedimento foi adotado objetivando produzir levantamento de dados mais expressivos para a realização das análises e tentar suprir carências do método ASTM C1202, dentre elas a capacidade de aferir não apenas de forma qualitativa, mas também dimensionar a profundidade efetiva contaminada por cloretos, conforme figura 72.

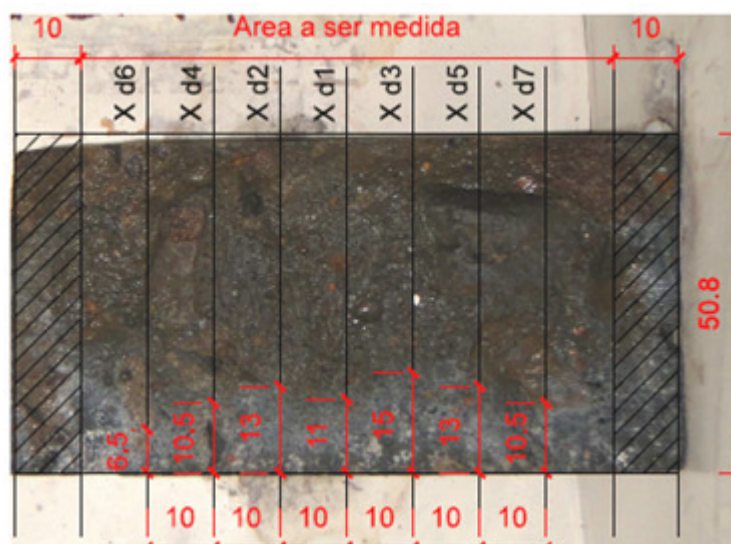


Figura 72. Medição da penetração de íons cloreto após o ensaio e pulverização do AgNO_3 (FEDUMENTI, 2013).

Após realização do ensaio acelerado de penetração de cloretos (ASTM C1202) nas amostras de 28 e 91 dias, foi realizada a aspersão de AgNO_3 e os resultados foram obtidos, conforme figuras 73 e 74.

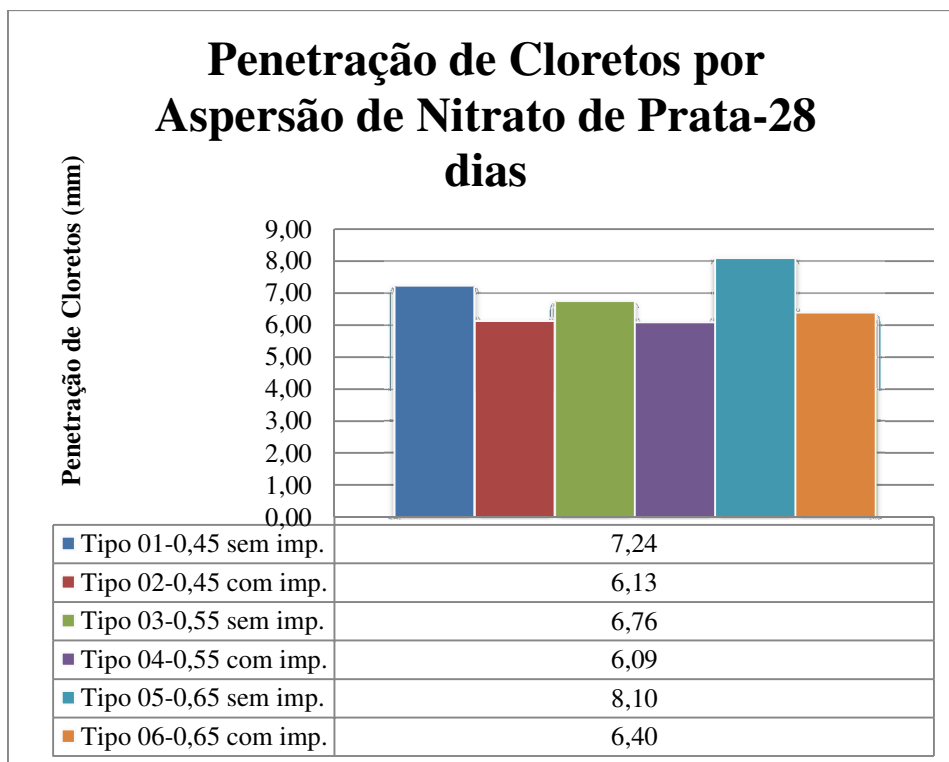


Figura 73. Gráfico de identificação de penetrabilidade de cloretos - 28 dias.

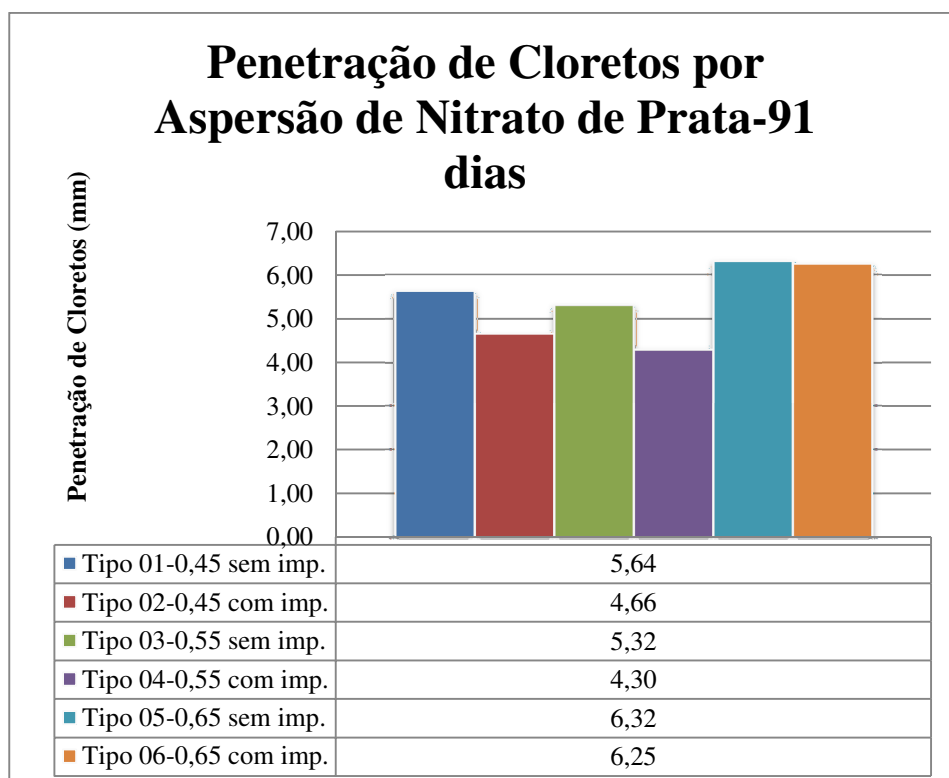


Figura 75. Gráfico de identificação de penetrabilidade de cloretos - 91 dias.

Mediante os resultados expostos pôde ser identificado aumento da profundidade da camada contaminada por cloretos com a elevação da relação água/cimento assim como já identificado no ensaio de penetração acelerada. Outra questão identificada foi a redução da profundidade de penetração com a utilização do aditivo impermeabilizante, conforme pode ser visualizado nas tabelas 28 e 29.

Tabela 28. Redução da penetração de cloretos em face da utilização de aditivo, por meio de ensaio de aspersão de AgNO_3 -28 dias .

Idade de cura de 28 dias			
Relação a/c	Carga Passante sem aditivo impermeabilizante	Carga Passante com aditivo impermeabilizante	Redução (%)
0,45	7,25	6,13	18
0,55	6,76	6,09	11
0,65	8,10	6,40	26

Tabela 29. Redução da penetração de cloretos em face da utilização de aditivo, por meio de ensaio de aspersão de AgNO_3 -91 dias.

Idade de cura de 91 dias			
Relação a/c	Carga Passante sem aditivo impermeabilizante	Carga Passante com aditivo impermeabilizante	Redução (%)
0,45	5,64	4,66	21
0,55	5,32	4,30	24
0,65	6,32	6,25	1

Nota-se também que ao analisar a redução de penetração de cloretos por meio da utilização de aditivo impermeabilizante identificada pelo método ASTM C1202 e pelo método NT BUILD 492 observa-se, aos 28 e 91 dias, equivalência entre os valores nas relações 0,45 e 0,55, enquanto que em 0,65 há divergência nos resultados, principalmente aos 91 dias onde praticamente a redução não se faz presente, tabelas 30 e 31.

Tabela 30. Redução média de carga passante em face da utilização de aditivo -28 dias.

Idade de cura de 28 dias		
Relação a/c	Redução NT Build 492 (%)	Redução ASTM C1202 (%)
0,45	18	15
0,55	11	13
0,65	26	12

Tabela 31. Redução média de carga passante em face da utilização de aditivo -91 dias.

Idade de cura de 91 dias		
Relação a/c	Redução NT Build 492 (%)	Redução ASTM C1202 (%)
0,45	21	15
0,55	24	29
0,65	1	30

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo objetivou investigar a influência da utilização de aditivo impermeabilizante por cristalização do concreto e distintas relações água/cimento frente à penetração de íons cloreto. Os concretos foram produzidos com cimento Portland com escórias de alto forno, resistente a sulfatos, e foram utilizadas as relações a/c de 0,45, 0,55 e 0,65 e períodos de cura em câmara úmida de 28 e 91 dias. Analisou-se de forma qualitativa e comparativa o desempenho das amostras utilizadas com aditivo impermeabilizante, distintas relações a/c e diferentes períodos de cura em relação a esses íons agressivos.

Para atingir aos objetivos traçados, foram realizados ensaio de penetração de cloretos, aos 28 e 91 dias, através do Teste Acelerado de Penetração de Cloretos, ASTM C1202/12 e também através do Ensaio de Penetração de Cloretos por Aspersão de Nitrato de Prata. Desta maneira, buscou-se alcançar os objetivos estabelecidos e entender os efeitos da utilização do aditivo impermeabilizante e distintas relações a/c frente à penetração de cloretos.

Após a realização dos ensaios de penetração de cloretos (ASTM C1202/12) pôde ser observado que:

- a) Foram registrados valores superiores de correntes passantes em concretos com menores resistências à compressão, assim como maiores relações água/cimento.
- b) Identificou-se a redução de corrente passante em concretos que utilizaram aditivo impermeabilizante por cristalização. Nas amostras de menor relação a/c, 0,45, houve redução da carga passante de 15% tanto em 28 dias quanto e em 91 dias. Apesar de ter ocorrido aumento de resistência com o maior tempo de cura em câmara úmida o percentual de redução se manteve. Enquanto que em relações maiores 0,55 e 0,65 os percentuais de

13% e 12%, respectivamente, praticamente dobraram para 29% e 30%. Observou-se assim um efeito prolongado do aditivo impermeabilizante em amostras com maiores porosidades, possibilitando o aditivo agir com a umidade e com os vazios do concreto por maiores idades.

- c) Vale também destacar que com as mais elevadas relações a/c e uso de aditivo impermeabilizante os valores de cargas passantes pouco se alteraram do período de 28 dias para 91 dias, registrando para 0,55 aumento de 5% e para 0,65, 9%. Outra questão pertinente à utilização do aditivo impermeabilizante trata-se de que em período de cura mais longo, 91 dias, reduziu-se de forma relevante a variação de cargas passantes em função das distintas relações a/c. A variação de carga que em 28 dias era em torno de 30% passou para 10%, fato que não ocorre, nestas proporções sem a utilização do aditivo impermeabilizante.
- d) Constatou-se também menor variação de resistência em distintas relações água/cimento nas amostras com idade de 91 dias em relação àquelas de 28 dias, e com a utilização de aditivo impermeabilizante.
- e) Com relação ao ganho de resistência com a utilização de aditivo impermeabilizante, não foi identificada variação considerável, ficando em torno de aumento de 1%.
- f) Identificou-se no ensaio de penetração de cloretos (ASTM C1202) aumento da corrente passante nas amostras com tempo de cura de 91 dias em relação à idade de 28 dias. Este aumento pode ser atribuído ao ar incorporado oriundo da utilização do aditivo plastificante, que pode ter ocasionado o efeito adverso ao esperado nos resultados. Soma-se a isto a não completa hidratação do concreto aos 28 dias, possibilitando maiores vazios e ar incorporado.
- g) Constatou-se no presente trabalho, a partir das variáveis independentes adotadas - relação água cimento, aditivo impermeabilizante e períodos de cura - que a variável mais considerável foram as distintas relações água/cimento, quer sejam pela análise da carga passante quer seja figurando entre os mais relevantes no tocante à resistência.

- h) Com relação ao ensaio de penetração de cloretos por aspersão de nitrato de prata, houve redução da camada contaminada por cloretos aos 91 dias, configurando maior resistência à penetração de íons cloretos nas amostras desta idade. Foi observado também que, assim como os resultados obtidos pelo método ASTM C1202, houve aumento da resistência à penetração de cloretos com a diminuição da relação a/c e com a utilização de aditivo impermeabilizante.

7.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros recomenda-se a análise da utilização de outras adições, a partir de um concreto de referencia, assim como a utilização de outros tipos de cimento. Poderão ser também realizadas análises contemplando a utilização de aditivos, tais como aceleradores e retardadores de pega além de incorporadores de ar. Também se recomenda a análise de outros tempos de cura, principalmente em idades iniciais como 7 e 14 dias, onde os valores de variação são mais representativos.

A utilização de outros métodos para avaliar a resistência à penetração de cloretos também se torna relevante, como o Ensaio do Coeficiente de Migração de Cloretos, o método NT BUILD 492, além de outros ensaios de caracterização do concreto como ensaio de absorção e permeabilidade à água e ar.

Torna-se também interessante a utilização de métodos de avaliação do coeficiente de migração de cloretos visando obter resultados mais condizentes com o ingresso de cloretos por meios naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479 – Câmaras úmidas para cura de corpos de prova de cimento e concreto.** Rio de Janeiro, 1986.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735 – Cimento Portland de Alto Forno.** Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 – Concreto de cimento Portland: Preparo, controle e recebimento - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7223 – Determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone – ensaio de abatimento.** Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 – Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto.** Rio de Janeiro, 1980.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738– Moldagem e cura de corpos de prova de concreto cilíndricos ou prismáticos.** Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118– Projeto de estruturas de concreto-Procedimento.** Rio de Janeiro, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration: ASTM C 1202. Philadelphia, 1992.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2012.

ANDRADE, C. **Manual para Diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: PINI, 1992.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção – patologia / reabilitação / prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BRYANT J. J. W.; WEYERS, R. E.; GARZA, J.M. **In-place resistivity of bridge deck concrete mixtures**. ACI Material Journal, v. 106, n. 2, p. 114-122, 2009.

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

CRAUSS, C. **Penetração de cloretos em concretos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial**. Santa Maria. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

DELLINGHAUSEN, L. M.; GASTALDINI, A. L. G.; ISAIA, G. C.; VEIGA, K. K. **Retração total e penetração de cloretos em concretos com cimento Portland branco e escória de alto Forno**. AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009. Porto Alegre.

FEDUMENTI, M. B. **Avaliação da influencia da cinza de casca de arroz no comportamento de concretos com agregado reciclado de concreto em**

relação a propriedades mecânicas e de durabilidade, com ênfase no transporte de íons cloreto. São Leopoldo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

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

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: Pini, 1986.

HELENE, P. R. L.; BRITZ, C.; BUENO, S.; PACHECO, J. **Estanqueidade de lajes de subpressão.** Caso MIS-RJ. In: ANAIS DO 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013, Gramado-RS.

HELENE, P. R. L. **Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto.** In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1997, São Leopoldo. Anais... São Leopoldo, 1997.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5725-1 - Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 1: General principles and definitions.** Geneva, 1994.

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íon cloretos.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MEDEIROS, M. H. F.; FILHO, J. H.; HELENE, P. R. L; BORBA, A. Y. **Ensaio de migração de cloretos para concreto: influência do número de fatias extraídas.** Artigo. Journal: Rem: Revista Escola de Minas 2012 65(4).

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

MISSAU, F. **Penetração de cloretos em concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz.** Santa Maria, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 2010.

NORDTEST METHOD, Concrete, mortar and a cement-based repair materials: chloride migration coeficiente from non-steady-state migration experiments: NT BUILD 492. Oslo, 1999.

OZÓRIO, B. P. M .; ISAÍIA, G. **Penetração de cloretos em concretos com altos teores de cinza volante.** Artigo. UFSM, Santa Maria-RS.

PEREIRA, V. G. A. **Avaliação do coeficiente de difusão de cloretos em concretos: influencia do tipo de cimento, da relação a/c, da temperatura e do tempo de cura.** Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS, 2001.

RIZZON, A. C.; ANDRADE, J. J. O. **Determinação do coeficiente de difusão de cloretos e da vida útil de concretos de cimento branco.** In: CONGRESSO

BRASILEIRO DO CONCRETO-IBRACON, 2006. Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Concreto, 2006.

RIBEIRO, D. V. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. São Paulo: Elsevier, 2014.

RUBIN, C.; ISAÍÁ, G.; GASTALDINI, L.; CANTARELLI, L.; TERNUS, C. **Estudo da Penetração de Cloretos em Concretos com Misturas Binárias e Ternárias de Escória Granulada, Cinza Volante e Cal Hidratada na Camada de Cobrimento**. Artigo. UFSM, Santa Maria-RS.

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

SOUSA, V. C. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

STREICHER, P.E.; ALEXANDRE, M. G. A. **Chloride Conduction Test for Concrete**. Cement and Concrete Research, v. 25, n.6. p. 1284-1294, 1995.

WEE, T. H.; SURYAVANSHI, A. K.; TIN, S. S. **Evaluation of Rapid Chloride Permability Test (RCPT) results for concrete containing Mineral Admixtures**. ACI Material Journal, v. 97, n.2 p. 221-232,2000.

ZAMBERLAN, F. B. **Penetração de cloretos em concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico**. Santa Maria. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

APÊNDICE A

Medições de corrente para período de cura de 28 dias:

Horário local	Verificação de corrente	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	T1-Adotado	Tipo 02 - 0,45 com imp.	Tipo 02 - 0,45 com imp.	Tipo 02 - 0,45 com imp.	T2-Adotado
11:50:00	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
12:20:00	30m	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
12:50:00	1h	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
13:20:00	1h30	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
13:50:00	2h	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
14:20:00	2h30	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
14:50:00	3h	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
15:20:00	3h30	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
15:50:00	4h	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
16:20:00	4h30	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
16:50:00	5h	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
17:20:00	5h30	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
17:50:00	6h	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02

Horário local	Verificação de corrente	Tipo 03 - 0,55 sem imp.	Tipo 03 - 0,55 sem imp.	Tipo 03 - 0,55 sem imp.	T3-Adotado	Tipo 04 - 0,55 com imp.	Tipo 04 - 0,55 com imp.	Tipo 04 - 0,55 com imp.	T4-Adotado
11:20:00	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
11:50:00	30m	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
12:20:00	1h	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
12:50:00	1h30	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
13:20:00	2h	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
13:50:00	2h30	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
14:20:00	3h	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
14:50:00	3h30	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
15:20:00	4h	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
15:50:00	4h30	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
16:20:00	5h	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
16:50:00	5h30	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
17:20:00	6h	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03

Horário local	Verificação de corrente	Tipo 05 - 0,65 sem imp.	Tipo 05 - 0,65 sem imp.	Tipo 05 - 0,65 sem imp.	T5-Adotado	Tipo 06 - 0,65 com imp.	Tipo 06 - 0,65 com imp.	Tipo 06 - 0,65 com imp.	T6-Adotado
11:15:00	0	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
11:45:00	30m	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
12:15:00	1h	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
12:45:00	1h30	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
13:15:00	2h	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
13:45:00	2h30	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
14:15:00	3h	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
14:45:00	3h30	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
15:15:00	4h	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03
15:45:00	4h30	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
16:15:00	5h	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
16:45:00	5h30	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
17:15:00	6h	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04

Medições de corrente para período de cura de 91 dias:

Horário local	Verificação de corrente	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	Tipo 01 - 0,45 sem imp.	T1-Adotado	Tipo 02 - 0,45 com imp.	Tipo 02 - 0,45 com imp.	Tipo 02 - 0,45 com imp.	T2-Adotado
09:15:00	0	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
09:45:00	30m	0,03	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
10:15:00	1h	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
10:45:00	1h30	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
11:15:00	2h	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
11:45:00	2h30	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
12:15:00	3h	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
12:45:00	3h30	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
13:15:00	4h	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
13:45:00	4h30	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
14:15:00	5h	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
14:45:00	5h30	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
15:15:00	6h	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03

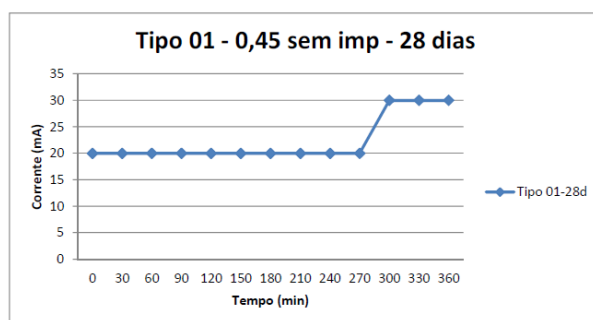
Horário local	Verificação de corrente	Tipo 03 - 0,55 sem imp.	Tipo 03 - 0,55 sem imp.	Tipo 03 - 0,55 sem imp.	T3-Adotado	Tipo 04 - 0,55 com imp.	Tipo 04 - 0,55 com imp.	Tipo 04 - 0,55 com imp.	T4-Adotado
12:15:00	0	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
12:45:00	30m	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
13:15:00	1h	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
13:45:00	1h30	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
14:15:00	2h	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
14:45:00	2h30	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02
15:15:00	3h	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
15:45:00	3h30	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
16:15:00	4h	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
16:45:00	4h30	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
17:15:00	5h	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
17:45:00	5h30	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
18:15:00	6h	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03

Horário local	Verificação de corrente	Tipo 05 - 0,65 sem imp.	Tipo 05 - 0,65 sem imp.	Tipo 05 - 0,65 sem imp.	T5-Adotado	Tipo 06 - 0,65 com imp.	Tipo 06 - 0,65 com imp.	Tipo 06 - 0,65 com imp.	T6-Adotado
12:15:00	0	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
12:45:00	30m	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02
13:15:00	1h	0,04	0,04	0,05	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03
13:45:00	1h30	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
14:15:00	2h	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
14:45:00	2h30	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
15:15:00	3h	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
15:45:00	3h30	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
16:15:00	4h	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
16:45:00	4h30	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
17:15:00	5h	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
17:45:00	5h30	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
18:15:00	6h	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03

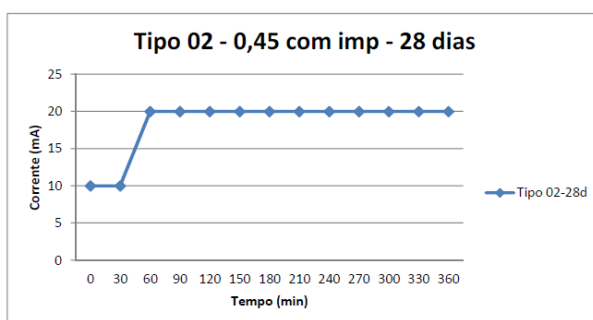
APÊNDICE B

Dados de corrente para período de cura de 28 dias:

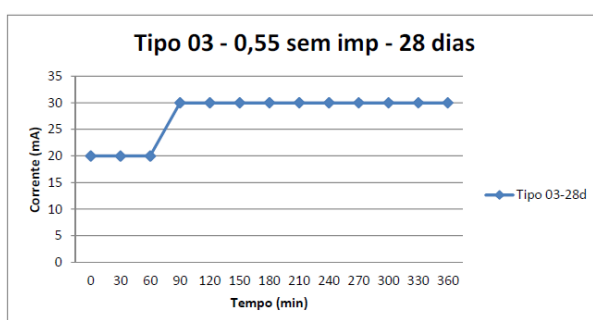
28 DIAS													
TIPO 01	Resistência 28 dias (Mpa): 45,2												
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30



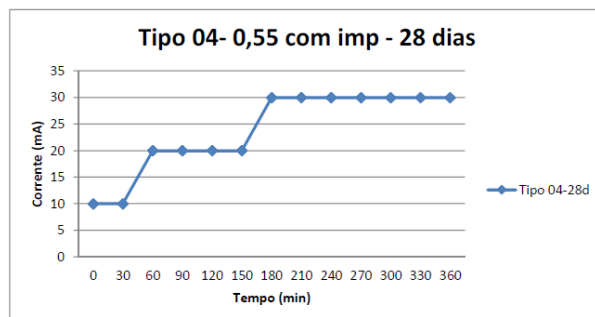
TIPO 02	Resistência 28 dias (Mpa): 45,8												
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20



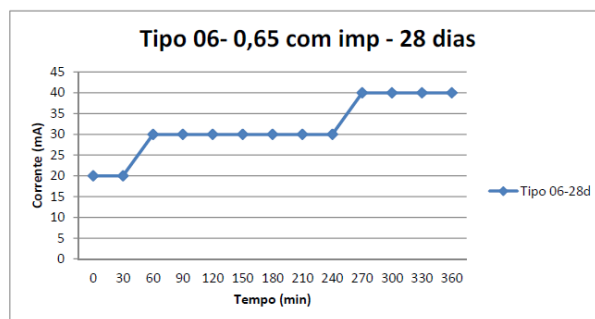
TIPO 03	Resistência 28 dias (Mpa): 42,7												
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30



TIPO 04	Resistência 28 dias (Mpa): 37,6												
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30



TIPO 06	Resistência 28 dias (Mpa): 29,9												
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	20	20	30	30	30	30	30	30	30	40	40	40	40

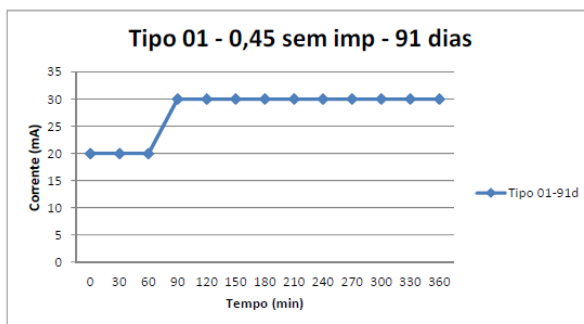


GERAL													
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Tipo 01 (0,45 s/imp)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30
Tipo 02 (0,45 c/imp)	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tipo 03 (0,55 s/imp)	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tipo 04 (0,55 c/imp)	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30
Tipo 05 (0,65 s/imp)	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40
Tipo 06 (0,65 c/imp)	20	20	30	30	30	30	30	30	30	40	40	40	40

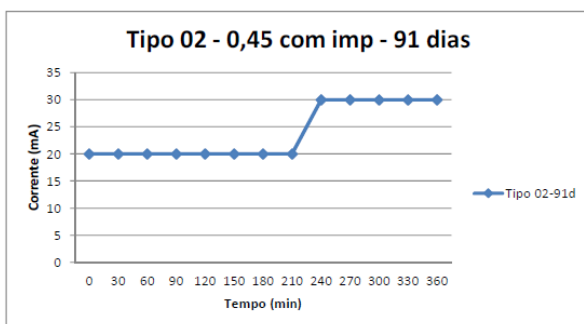
Dados de corrente para período de cura de 91 dias:

91 DIAS

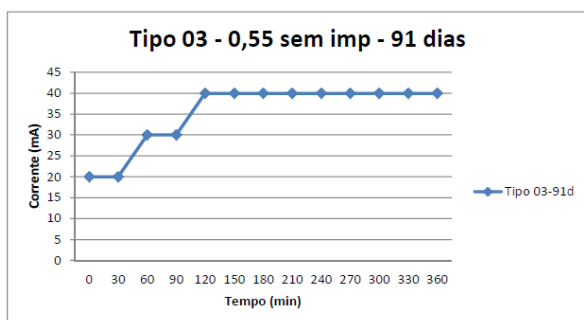
TIPO 01	Resistência 91 dias (Mpa): 54,1												
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30



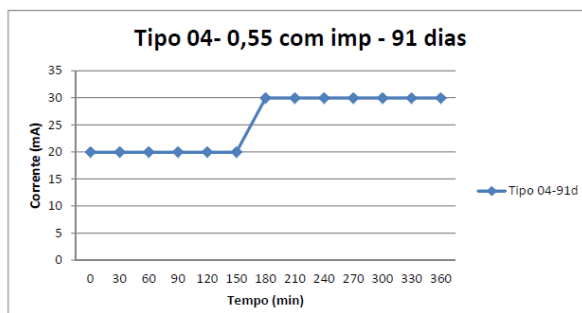
TIPO 02	Resistência 91 dias (Mpa):													54,7
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6	
Corrente (Ma)	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	



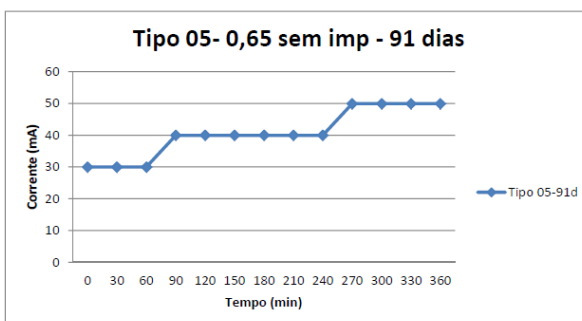
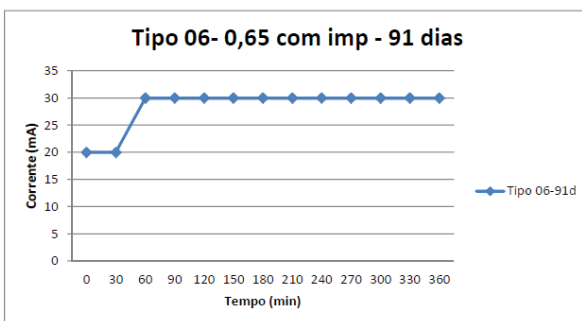
TIPO 03	Resistência 91 dias (Mpa): 50,9												
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	20	20	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	40



TIPO 04	Resistência 91 dias (Mpa): 52,2												
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30



TIPO 05	Resistência 91 dias (Mpa):												40,7
Tempo (min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Tempo (h)		0,3	1	1,3	2	2,3	3	3,3	4	4,3	5	5,3	6
Corrente (Ma)	30	30	30	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50

[illegible][illegible]

ANEXO

Ficha técnica do aditivo impermeabilizante utilizado.

	
Xypex Admix C-500 NF Aditivo para impermeabilização e proteção do concreto	
Propriedades • Resiste a pressões hidrostáticas positivas e negativas • Torna-se parte integrante do concreto • Alta resistência a substâncias agressivas – pH 3 a 11 (contato permanente) e pH 2 a 12 (contato temporário) • Contribui para selamento de microfissuras estáticas < 0,4 mm • Permite a respiração do concreto • Não tóxico • Melhores custos de aplicação em comparação a outros métodos • Sistema permanente • Deve ser adicionado ao concreto no momento da dosagem, portanto, não está sujeito as restrições climáticas • Aumenta a flexibilidade no cronograma da construção	
Áreas de aplicação • Reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto e piscinas • Túneis e sistemas de Metrô, câmaras subterrâneas, fundações, estacionamentos e pré-moldados.	
Aplicação	
Descrição do Produto Xypex Admix C-500 NF é um aditivo único para impermeabilização, proteção e melhoria da qualidade do concreto. Embalado na forma de pó, XYPEX ADMIX C-500 NF consiste em uma mistura de cimento Portland, sílica e diversas substâncias químicas ativas. Quando adicionado ao concreto, as substâncias ativas reagem com a umidade do concreto fresco e com os subprodutos da reação de hidratação do cimento, causando uma reação catalítica. Esta reação gera uma formação cristalina insolúvel nos poros e capilaridades do concreto tornando-o permanentemente selado contra a penetração da água ou substâncias agressivas de qualquer direção e também protegido contra a deterioração mesmo em condições ambientais severas. Procedimentos para o uso Xypex Admix C-500 NF deve ser adicionado ao concreto no momento da sua dosagem e mistura. A sequência dos procedimentos para a adição varia dependendo do tipo de operação e equipamentos utilizados no canteiro de obra ou usina. 1. Concreto Usinado – Operação de Dosagem a seco Adicione no caminhão-betoneira Xypex Admix C-500 NF juntamente com 150 a 250 kg de agregado e 60 a 70% da água. Em seguida, misture por 3 minutos para assegurar que o Admix C-500 NF esteja bem distribuído dentro da água de amassamento. A seguir, adicione o restante do material e continue a mistura de acordo com as práticas padrão.	2. Concreto Usinado – Operação de Dosagem Úmida Misture Xypex Admix C-500 NF com a água de amassamento para formar uma pasta bem fluida (por exemplo, de 6 a 9 kg de pó misturados com 10 litros de água) e carregue a caçamba do caminhão-betoneira. A seguir, o agregado, cimento e a água devem ser dosados e misturados de acordo com as práticas padrões, levando em conta a quantidade de água já colocada dentro do caminhão. Após a dosagem, misture o concreto por pelo menos 5 minutos para assegurar uma distribuição homogênea do Admix C-500 NF. 3. Concreto Preparado em Obra – Operação c/ Betoneira Adicione Xypex Admix C-500 NF, a brita e a areia e misture por 3 minutos antes de adicionar o cimento e a água. O processo de mistura deve ser feito de acordo com as práticas padrões. Nota: É importante se obter uma mistura homogênea do Xypex Admix C-500 NF dentro do concreto. Para garantir uma mistura homogênea e uma boa dispersão, evite adicionar o produto diretamente ao concreto fresco. Dosagem A dosagem recomendada do XYPEX ADMIX C-500 NF é de 1,0 % do peso de cimento. Para aumentar a resistência química, otimizar a performance do concreto ou atender a solicitações e condições de projetos específicos, por favor, consulte o nosso departamento técnico para assistência na determinação da dosagem apropriada.



Aplicação

Tempo de Pega e Resistência

O tempo de pega do concreto normalmente é influenciado pela composição química e física de seus ingredientes, temperatura do concreto e as condições climáticas. Xypex Admix C-500 NF é formulado especificamente para atender as modernas práticas do concreto que incorpora adições como cinzas volantes e escórias. Para a maioria das dosagens de concreto aditivadas com Xypex Admix C-500 NF não é esperado nenhuma alteração nas propriedades originais do concreto. Recomendamos que testes preliminares sejam executados antes da utilização em larga escala.

Concretos produzidos com Xypex Admix C-500 NF podem desenvolver resistências iniciais e finais maiores que o concreto comum. Recomendamos que testes sejam executados sob as condições de cada projeto para se determinar o tempo de pega e a resistência do concreto.

Limitações

No momento da dosagem do Xypex Admix C-500 NF, a temperatura do ambiente deve estar acima de 4 °C.

Assistência Técnica

Para informações mais detalhadas sobre métodos de aplicação alternativos ou referentes a compatibilidade do tratamento XYPEX com outros produtos e tecnologias, por favor consulte o Manual de Aplicação XYPEX ou o nosso departamento técnico.

Precaução

Xypex Admix C-500 NF é alcalino e como outros produtos cimentícios pode causar irritação na pele e nos olhos.

Durante o manuseio, recomendamos o uso de roupas e equipamentos de proteção adequados. Instruções para evitar e tratar estes problemas estão claramente detalhados em todas as embalagens. Também mantemos uma ficha técnica de segurança com informações atualizadas sobre segurança e saúde para a proteção dos nossos funcionários e clientes. Caso seja necessário, por favor, consulte o nosso departamento técnico para obter uma cópia desta ficha técnica antes de usar ou armazenar o produto.

XYPEX™ é uma marca registrada de propriedade da XYPEX CHEMICAL CORPORATION.

Dados Técnicos – Xypex Admix C-500 NF

Característica	Unidade	Valor	Observações
Massa específica aparente	g/cm ³	1,10	argamassa seca
Massa específica absoluta	g/cm ³	2,90	argamassa seca
Dosagem	%	1,0	do peso de cimento

Características – Xypex Admix C-500 NF

Tipo de produto	Impermeabilização e proteção química
Estado	Pó
Cor	Cinza
Armazenagem	Armazenar em local seco, coberto, arejado e com temperatura inferior a 20 °C
Validade	12 meses a partir da data de fabricação armazenada nas embalagens fechadas
Embalagem	Saco de 20 kg
	Caixa com 24 kg (3 sacos hidrossolúveis de 8 kg)
Descarte	Para a preservação do meio ambiente, favor esvaziar completamente as embalagens

xypex admix agora!

O concreto, por sua própria natureza, é vulnerável às agressividades da água, dos produtos químicos e das adversidades climáticas. Xypex Admix combate essas fraquezas antes que se tornem problemas, aumentando e melhorando a durabilidade do concreto desde o princípio. verdadeira impermeabilidade integral Xypex Admix é um produto especialmente desenvolvido para aplicação na mistura do concreto. Sua superioridade, em relação a outros métodos, se deve principalmente ao fato de se tornar parte deste concreto.

Utilizando sua tecnologia mundialmente conhecida, Xypex preenche toda a porosidade do concreto onde os químicos agressivos penetram, atacam e por fim danificam a integridade da estrutura.

vantagens do xypex admix

1	Tecnologia Integral Processo único de cristalização Xypex Toma-se parte do concreto Preenche permanentemente as microfissuras
2	Amplio Desempenho Resiste à pressão hidrostática, tanto positiva como negativa Resiste aos ataques químicos Longa durabilidade Não tóxico
3	Controle de Qualidade Submetido a testes dentro dos padrões mundiais Pesquisas em busca de aperfeiçoamento Suporte técnico, análise em campo e supervisão avançada Sistema de controle e qualidade ISO 9001
4	Versatilidade Proporciona maior flexibilidade aos cronogramas de obra Imune a condições climáticas Fácil aplicação Ótima relação custo/benefício



uma melhor solução

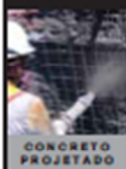
melhor controle de projetos O uso de Xypex Admix significa impermeabilizar a estrutura desde o momento em que o concreto é produzido. Isso significa que os engenheiros e os consultores podem exercer um maior controle sobre o cronograma da obra.

maior controle de custos Essa flexibilidade reduz o custo da obra, pois encurta o tempo de execução e elimina os custos de aplicação do produto. **controle climático** Quente, frio, úmido ou seco, o clima dominante não inibe a aplicação de Xypex Admix. A combinação perfeita. *Maior controle, uma melhor solução.*

uso do xypex admix

Xypex Admix pode ser usado em uma grande variedade de estruturas de concreto em todo o mundo.

concreto projetado, moldado in loco, pré-moldado



Reservatórios de água

Estações de tratamento de água

Estações de tratamento de efluentes

Muros e paredes



Piscinas

Pontes



Túneis

Metrô



Estacionamentos

Tubulações

Estruturas enterradas

Estruturas marinhas



Estádios de futebol

amigável ao concreto

A adição de Xypex Admix não prejudica a resistência, não acelera ou retarda o tempo de pega e não altera a trabalhabilidade do concreto. Com adição de Xypex Admix o concreto é misturado, moldado, acabado e curado normalmente.

O concreto com Xypex Admix continua se comportando como concreto.

superando expectativas

O elevado desempenho obtido pelo Xypex Admix supera as expectativas dos clientes. Nosso inquestionável compromisso com a qualidade é a maneira de superar essas expectativas.



testes de laboratório Xypex Admix foi testado em laboratórios de todo o mundo seguindo as normas mais rigorosas. Testes de permeabilidade, resistência química, resistência à compressão, ciclos de gelo e degelo e potabilidade, trouxeram resultados positivos.

testes em campo Projetos que abrangem desde o Canal do Panamá até modestos projetos como piscinas residenciais. Xypex Admix superou todas as expectativas de forma concreta.

força em números

Xypex Admix faz parte do sistema Xypex de impermeabilização e proteção, que também inclui Xypex aplicado por pintura, Xypex aplicado na forma Dry-Shake e produtos de recuperação e reparo de estruturas de concreto. O sistema Xypex é a solução ideal para potencializar o desempenho do concreto, elevando o valor agregado da obra e, consequentemente é a melhor alternativa em termos de custo.

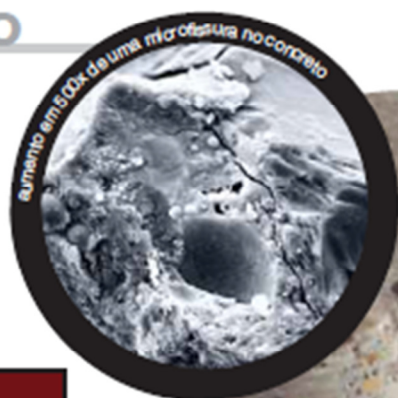


Estádio do Pacaembu,
São Paulo - Brasil

xypex admix em aÁ o

poros, capilares e microfissuras

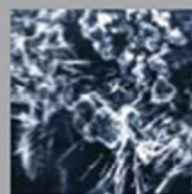
Xypex Admix é um produto de base cimentícia composto de diversos químicos ativos que se aproveitam da inerente porosidade e das características químicas do concreto. Esses químicos ativos reagem junto com a umidade e junto com os subprodutos do cimento para assim produzir uma estrutura cristalina, não solúvel, que se converte em parte integrante da matriz do concreto. Os poros e capilares são bloqueados e as microfissuras são preenchidas tornando o concreto impermeável contra a penetração de água ou contra outros líquidos em qualquer direção.



Xypex cria seu efeito de cristalização através dos poros e capilaridades do concreto



CONCRETO NÃO
TRATADO



INÍCIO DA
CRISTALIZAÇÃO



ESTÁGIO AVANÇADO
DA CRISTALIZAÇÃO

Mais forÁa, mais valor

Xypex Admix apresenta comportamento e desempenho superior a outros produtos da sua área. **através da matriz** Xypex Admix está presente e ativo em toda matriz do concreto desde o momento de sua pega. **maior controle de permeabilidade** Xypex Admix enfrenta todos os problemas de permeabilidade do concreto, evitando a penetração de água em qualquer direção, inclusive sob pressões extremas. **melhorando a durabilidade** Tornando-se impermeável, o concreto ganha mais durabilidade, integridade estrutural, capacidade protetora e estética.

Ao prevenir a penetração de químicos agressivos Xypex Admix ajuda a controlar os ataques de sulfatos, carbonatação, reação álcali-agregado e corrosão.

Xypex Admix também neutraliza problemas de deterioração causados pela exposição ao meio ambiente ou por variações de temperatura.

Mais força, mais valor.

durabilidade a longo prazo

Xypex Admix pode ser especificado para projetos novos, aumentando a vida útil da estrutura. Mesmo com a variação das condições da estrutura Xypex Admix reativará sua impermeabilidade e proteção.

ANEXO B – Ficha técnica do aditivo plastificante utilizado.

	
MC-TechniFlow 530 Aitivo plastificante mid-range de pega normal	
Propriedades • Pode ser utilizado como plastificante ou superplastificante dependendo da dosagem • Reduz a tensão superficial da água de mistura • Boa dispersão das partículas de cimento • Melhoria a trabalhabilidade • Ganho de tempo devido a facilidade da aplicação do concreto • Melhora o adensamento junto a armadura • Não provoca retardo no tempo de pega • Permite ótimas formulações de concreto	
Áreas de aplicação • Concreto usinado ou dosado na obra • Concreto bombeável • Concreto protendido	
Aplicação	
Método de atuação MC-TechniFlow 530 é uma nova geração de plastificante / superplastificantes para produção de concreto que une as características de robustez dos aditivos clássicos com a melhores propriedades de dispersão dos plastificantes / superplastificantes de tecnologia de última geração. Como consequência, além de suas vantagens técnicas também visa otimizar seu custo benefício. Concretos produzidos com MC-TechniFlow 530 possuem uma pasta de cimento mais densa e homogênea, bem como uma redução da permeabilidade. Através da possibilidade de redução do volume de água da mistura, mantendo-se a mesma consistência e consumo de cimento, obtêm-se uma mistura com um fator água/cimento menor e portanto com maiores resistências e menos capilaridades. Caso o volume de água não seja reduzido, obtêm-se uma melhora da trabalhabilidade do concreto, o que reduzirá a necessidade de adensamento. MC-TechniFlow 530 também pode ser utilizado em conjunto com aditivos plastificantes / superplastificantes, incorporadores de ar e retardadores.	Mistura MC-TechniFlow 530 deve ser adicionado no início do processo de mistura ou também junto com a água da mistura. É necessária a utilização de equipamento de dosagem adequado. Os tempos de mistura e as especificações com respeito a produção, trabalhabilidade e cura também devem ser observados. Recomendamos que testes preliminares sejam executados antes da utilização em grande escala.


Dados Técnicos – MC-TechniFlow 530

Característica	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	1,08	
Dosagem	%	0,2 a 2,0	sobre o peso do cimento

Características – MC-TechniFlow 530

Tipo de produto	Plastificante mid-range de pega normal
Estado	Líquido
Cor	Marrom
Armazenagem	Armazenar os tambores em local seco, coberto e arejado. Para entregas a granel o produto deve ser mantido dentro dos reservatórios instalados em local previamente definido.
Validade	12 meses a partir da data de fabricação
Embalagens	Tambor de 220 kg, peso líquido Granel
Descarte	Para a preservação do meio ambiente, favor esvaziar completamente as embalagens