



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

IGOR MARQUES PARAGUASSÚ

**ELABORAÇÃO DE ENDURECEDOR QUÍMICO DE SUPERFÍCIE
À BASE DE SILICATO DE SÓDIO E SILICATO DE LÍTIO PARA
APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS DE CONCRETO**

**VOLTA REDONDA
2017**



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**ELABORAÇÃO DE ENDURECEDOR QUÍMICO DE SUPERFÍCIE
À BASE DE SILICATO DE SÓDIO E SILICATO DE LÍTIO PARA
APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UNIFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais, linha de pesquisa em materiais Cerâmicos.

Aluno:

Igor Marques Paraguassú

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral

VOLTA REDONDA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

P221e Paraguassú, Igor Marques.

Elaboração de endurecedor químico de superfície à base de silicato de sódio e silicato de lítio para aplicação em pavimentos de concreto. / Igor Marques Paraguassú. - Volta Redonda: UniFOA, 2017.

88 p. : Il

Orientador(a): Ricardo de Freitas Cabral

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2017

1. Materiais - dissertação. 2. Silicato de sódio - piso. 3. Silicato de lítio - piso. I. Cabral, Ricardo de Freitas. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

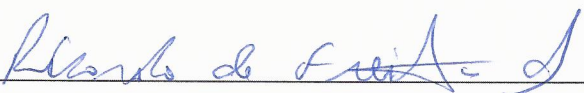
Aluno: Igor Marques Paraguassú

**ELABORAÇÃO DE ENDURECEDOR QUÍMICO DE SUPERFÍCIE À BASE DE
SILICATO DE SÓDIO E SILICATO DE LÍTIO PARA APLICAÇÃO EM
PAVIMENTOS DE CONCRETO**

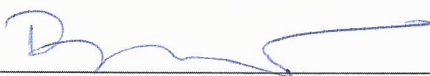
Orientador:

Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral

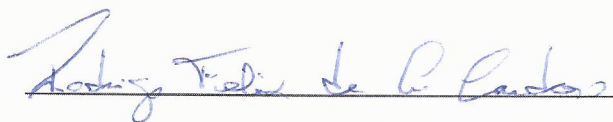
Banca Examinadora



Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral



Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato



Prof. Dr. Rodrigo Felix de Araujo Cardoso

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Ronei e Patrícia, que sempre me incentivaram a estudar, e, a minha esposa, Pamella, que me ajudou e me apoiou nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força de vontade para realizar mais esta conquista da minha vida.

A minha esposa, aos meus familiares que me ajudaram e me apoiaram no curso dos meus objetivos.

Ao Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral, pelo auxílio, cobrança, paciência, dedicação e incentivo na elaboração deste projeto.

Ao Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago, pelos incentivos e auxílio na escolha da área de trabalho.

RESUMO

Os pavimentos de concreto têm tido cada vez mais aplicação nas construções industriais executadas nos últimos anos, e isso se deve ao fato de que recentemente tem se buscado cada vez mais melhorar o desempenho das estruturas de concreto. Os endurecedores de superfície vêm para agregar essa fatia extra de desempenho que tem sido solicitada pelo mercado a um menor custo de implantação, quando comparadas com outras tecnologias. Seu principal resultado é densificar a superfície do concreto tornando-o mais resistente aos esforços mecânicos, como à abrasão e, junto a essa densificação ocorre uma impermeabilização da superfície do concreto. A densificação do concreto ocorre através de um fenômeno de cristalização que se dá pela reação entre a pasta de cimento, o silicato e o hidróxido de cálcio, um subproduto da hidratação do cimento, que culmina em formar cristais que preencham os poros do concreto, tornando-o mais denso e, conseqüentemente, acaba por torná-lo mais resistente a abrasão. O produto desenvolvido foi fruto da mistura de dois produtos existentes na proporção de um para um, onde tem-se de um lado o silicato de sódio, que tem baixo custo e é mais facilmente encontrado no mercado, e, por outro lado temos o silicato de lítio que tem um custo bem mais alto e é mais difícil de se encontrar para venda. A maior diferença no resultado de ambos os produtos é que o silicato de sódio produz cristais maiores, que quando cristalizam dentro dos poros do concreto, preenchem de maneira menos eficaz que os cristais produzidos pelo silicato de lítio, que são menores, preenchendo melhor os poros do concreto. Esse fenômeno acaba por densificar a superfície do concreto e aumentar sua resistência mecânica, principalmente quando submetido ao desgaste à abrasão, que obteve uma redução de desgaste de 0,4 mm, em relação a uma amostra sem aplicação de produto.

Palavras Chave: Pisos de concreto, Silicato de Sódio, Silicato de Lítio, Abrasão

ABSTRACT

Concrete pavements have been increasingly used in industrial constructions in recent years, and this is due to the fact that recently has been increasingly sought to improve the performance of concrete structures. Surface hardeners come to aggregate that extra slice of performance that has been requested by the market at a lower implementation cost when compared to other technologies. Its main result is to densify the surface of the concrete making it more resistant to mechanical stresses such as abrasion, and along with this densification a waterproofing of the concrete surface occurs. The densification of the concrete occurs through a phenomenon of crystallization that occurs by the reaction between the cement paste, the silicate and the calcium hydroxide, a byproduct of the hydration of the cement, which culminates in forming crystals that fill the pores of the concrete, making it more dense and, consequently, makes it more resistant to abrasion. The product developed was the result of the mixture of two existing products in the ratio of one to one, where there is on one side the sodium silicate, which is low cost and is more easily found on the market, and on the other hand we have the silicate Of lithium that has a much higher cost and is more difficult to find for sale. The major difference in the result of both products is that sodium silicate produces larger crystals which, when crystallized within the pores of the concrete, fill up less efficiently than the crystals produced by lithium silicate, which are smaller, filling the pores better The concrete. This phenomenon ends up by densifying the concrete surface and increasing its mechanical strength, especially when subjected to abrasion, which obtained a wear reduction of 0.4 mm, in relation to a sample without product application.

Keywords: Concrete Flooring, Sodium Silicate, Lithium Silicate, Abrasion

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVO	19
3	JUSTIFICATIVA.....	20
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1	Concreto.....	21
4.1.1	Agregados.....	21
4.1.2	Cimento Portland.....	24
4.2	Pavimentos de Concreto ou Pisos Industriais	25
4.3	Propriedades do Concreto para Pisos Industriais	28
4.3.1	Exsudação.....	28
4.3.2	Resistência a Compressão.....	29
4.3.3	Resistência à Tração na Flexão	30
4.3.4	Resistência a Abrasão.....	31
4.4	Silicatos	31
4.4.1	Silicato de Sódio.....	32
4.4.2	Silicato de Lítio	32
5	MATERIAIS E MÉTODOS	34
5.1	Materiais.....	34
5.1.1	Concreto.....	34
5.1.2	Silicato de Lítio	35
5.1.3	Silicato de Sódio.....	35
5.2	Métodos.....	36
5.2.1	Preparo do concreto	37
5.2.2	Moldagem dos corpos de prova	37
5.2.3	Elaboração do endurecedor químico de silicato de sódio e lítio...41	
5.2.4	Aplicação dos endurecedores de superfície.....	41

5.2.5	Ensaio Mecânicos	42
5.2.6	MEV.....	58
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
6.1	Ensaio de resistência a compressão	61
6.2	Ensaio de resistência a tração na flexão	65
6.3	Ensaio de desgaste à abrasão	68
6.4	Ensaio de índice de vazios, absorção de água e massa específica...71	
6.5	MEV.....	76
7	CONCLUSÕES.....	84
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
9	REFERÊNCIAS	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pavimento intertravado.....	26
Figura 2 - Pavimento de concreto simples.....	26
Figura 3 - Pavimento de concreto armado.....	27
Figura 4 - Organograma das etapas do projeto	36
Figura 5 - Teste Slump	43
Figura 6 - Esquema de montagem do CP.....	48
Figura 7 - Desenho esquemático de rompimento do CP	50
Figura 8 - Esquema de marcação dos CP's	52
Figura 9 - Amostras marcadas.....	53
Figura 10 - Ampliação de 25x da amostra controle	76
Figura 11 - Ampliação de 100x da amostra controle	77
Figura 12 - Ampliação de 500x da amostra controle	77
Figura 13 - Ampliação de 25x da amostra com silicato de sódio	78
Figura 14 - Ampliação de 100x da amostra com silicato de sódio	79
Figura 15 - Ampliação de 500x da amostra com silicato de sódio	79
Figura 16 - Ampliação de 25x da amostra com silicato de lítio	80
Figura 17 - Ampliação de 100x da amostra com silicato de lítio	81
Figura 18 - Ampliação de 500x da amostra com silicato de lítio	81
Figura 19 - Ampliação de 25x da amostra com silicato de sódio/lítio	82
Figura 20 - Ampliação de 100x da amostra com silicato de sódio/lítio	83
Figura 21 - Ampliação de 500x da amostra com silicato de sódio/lítio.....	83

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Enchimento dos corpos de prova cilíndricos	39
Fotografia 2 - Enchimento dos corpos de prova prismáticos	40
Fotografia 3 - Enchimento dos corpos de prova prismáticos para ensaio de desgaste a abrasão	41
Fotografia 4 - Aplicação dos endurecedores	42
Fotografia 5 - Corpo de prova com aplicação de silicato de sódio.....	44
Fotografia 6 - Corpo de prova com aplicação de silicato de lítio.....	45
Fotografia 7 - Corpo de prova com aplicação de silicato de sódio/lítio	45
Fotografia 8 - Corpo de prova sem aplicação para controle	46
Fotografia 9 - Tela de resultados da prensa EMIC	47
Fotografia 10 - Corpo de prova com aplicação de silicato de sódio.....	49
Fotografia 11 - Tela de resultados da prensa EMIC	49
Fotografia 12 - Corpo de prova rompido no terço médio	51
Fotografia 13 - Base de medição.....	53
Fotografia 14 - Mesa de desgaste	54
Fotografia 15 - Medição dos CP's	55
Fotografia 16 - Secagem das amostras na estufa	56
Fotografia 17 - Pesagem das amostras secas.....	56
Fotografia 18 - Pesagem da amostra imersa em água.....	57
Fotografia 19 - MEV.....	58
Fotografia 20 - Amostra de CP com Silicato de Lítio	59
Fotografia 21 - Amostra de CP com Silicato de Sódio	59
Fotografia 22 - Amostra de CP com Silicato de Sódio/Lítio	59
Fotografia 23 - Amostra de CP sem adição	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação A/C X Resistencia do cimento.....	29
Gráfico 2 - Resistências a compressão	64
Gráfico 3 - Resistências a tração na flexão	67
Gráfico 4 - Desgaste à abrasão no percurso de 500m	69
Gráfico 5 - Desgaste à abrasão no percurso de 1000m	70
Gráfico 6 - Absorção de Água.....	73
Gráfico 7 - Índice de Vazios.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Granulometria das Areias	23
Tabela 2 - Granulometria das Britas	23
Tabela 3 - Exigências físicas e mecânicas do cimento Portland	25
Tabela 4 - Traço do concreto	37
Tabela 5 - Confeção dos corpos de prova	38
Tabela 6 - Ensaio de resistência à compressão	62
Tabela 7 - Ensaio de resistência a tração na flexão	66
Tabela 8 - Ensaio de desgaste à abrasão	68
Tabela 9 - Pesos dos CP's seco, saturado e saturado imerso	71
Tabela 10 - Ensaio de absorção de água	71
Tabela 11 - Índice de vazios	73
Tabela 12 - Ranking dos ensaios	75

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

A/C = Fator água cimento - Razão entre o volume de água e o volume de cimento, de uma dosagem ou traço de concreto.

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABCP = Associação Brasileira de Cimento Portland.

A = Área

°C = Graus célsius.

CAD = Concreto de Alto Desempenho.

cm = Centímetros.

cm² = Centímetros quadrados.

cm³ = Centímetros cúbicos.

CO = Amostra Controle

CP = 1. Corpo de prova, objeto de pesquisa feito de uma substância, que passará por testes (ensaios) na engenharia, estes podendo ser destrutivos ou não, gerando resultados para confirmar ou refutar teorias sobre o mesmo. 2. Concreto Portland.

Cs = Elemento químico Césio

CSH = Silicato de cálcio hidratado.

Cv = Coeficiente de variação do desvio padrão.

DNER = Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

F = Força.

F_c = Resistência característica do concreto.

F_{ck} = Resistência característica do concreto a compressão (F=Resistência; c=compressão; k=característica).

F_{tmk} = Resistência característica média do concreto à tração depois de curado (F=Resistência; t=tração; m= média; k=característica).

Fr = Elemento químico Frâncio

g = Grama – Unidade de quantidade de massa de um corpo, definida no SI - Sistema Internacional de Unidades.

h = Hora – Unidade de tempo equivalente a 60min (sessenta minutos) utilizada em cálculos da Matemática, Física e Engenharias.

K = Elemento químico Potássio.

kg = Quilograma – Unidade de quantidade de massa de um corpo, definida no SI - Sistema Internacional de Unidades.

kN = Quilo Newton – Unidade de Pressão chamada de “quilo Newton” equivalente a 100kgf no SI - Sistema Internacional de Unidades.

Li = Elemento químico Lítio.

Li_2SiO_3 = Silicato de Lítio.

M = Metros.

Mm = milímetros.

MEV = Microscópio Eletrônica de Varredura – Equipamento eletrônico que usa tecnologia de feixe de elétrons secundários, capaz de aumentar uma Imagem “x” vezes (magnitudes) a visão humana, permitindo ampliação microscópica de superfícies de materiais, para análise morfológica e estrutural.

MPa = Mega Pascal – Unidade de Intensidade de força, pressão ou tensão (em esforços de compressão ou tração) do SI - Sistema Internacional de Unidades, usada em cálculos de Física e Engenharia.

M_i = Massa saturada imersa.

M_s = Massa seca.

M_{sat} = Massa saturada.

N = Newton – Unidade de intensidade de força ou pressão, do “SI - Sistema Internacional de Unidades.

NBR = Norma Brasileira – Prefixo que precede os números das Normas ABNT.

Na = Elemento químico Sódio

Na_2SiO_3 = Silicato de sódio.

NL = Amostra silicato de sódio/lítio.

O = Elemento químico Oxigênio.

PVC = Policloreto de vinil.

RAS = Reação álcali-sílica.

Si = Elemento químico Silício.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material largamente utilizado na construção civil devido às suas características de moldabilidade, alta resistência a compressão e a facilidade de produção na obra. Porém, para que o concreto tenha um bom desempenho, este deve ser trabalhado para atingir o objetivo esperado, que pode ser, dar maior trabalhabilidade, aumento de resistência, diminuição da perda de água, menor prazo para início de utilização, entre outras. Existem algumas maneiras de se trabalhar o concreto para que ele atinja o resultado esperado que são:

- Na fase de mistura ajustando o seu traço, determinando quantidades de água, cimento, areia, brita e aditivos na sua composição;
- Na fase de aplicação onde são adicionados outros materiais para incremento de uma determinada característica;
- Na fase de cura que podem ser aplicados materiais para revestimentos da superfície ou que penetrem nos poros do concreto conferindo alguma melhoria nas suas características.

Os concretos utilizados em pisos, também conhecidos como pisos industriais, têm sido muito utilizados nas obras de galpões, pátios, estacionamentos, quadras poliesportivas e lajes de edifícios devido ao seu acabamento polido e nivelamento com alta precisão, sendo inclusive nivelado com níveis a laser.

Atualmente uma característica pouco estudada é a resistência à abrasão em concretos utilizados em pisos. Segundo Lawrence (2004), o desgaste superficial constitui uma das principais causas de degradação do concreto, podendo trazer danos e alterar o desempenho da estrutura ao longo do tempo. Portanto, esta é uma característica que deve ser levada em conta ao se fazer um piso de concreto, visto que, se afetada, pode trazer altos custos com a paralização da área, manutenção ou recapeamento desses pisos de concreto.

Atualmente no mercado, há três métodos de se combater o desgaste à abrasão em pisos de concreto, que são:

Aspersão de agregado (mineral ou metálico) sobre a superfície do concreto na sua fase de acabamento superficial, onde este agregado é misturado a nata de cimento da superfície do piso na fase de acabamento superficial.

Aplicação de pintura de alta espessura à base de poliuretano ou epóxi que confere uma camada de sacrifício ao piso de concreto.

Aplicação de endurecedores químicos de superfície que penetram nos poros do concreto aumentando a dureza da camada superficial do concreto, diminuindo o seu desgaste.

Existem ainda meios de se melhorar a resistência à abrasão em concretos através do traço, mas estes não apresentam resultados significativos frente aos métodos apresentados acima.

Neste trabalho será abordado o incremento de resistência à abrasão, relacionado à aplicação de endurecedores químicos de superfície a base de silicato de lítio e silicato de sódio.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver um endurecedor químico de superfície à base de silicato de lítio e silicato de sódio para tratamento superficial de pisos industriais em concreto submetidos ao desgaste à abrasão e outros esforços. Para o desenvolvimento deste produto foram tomados como base dois produtos que já são comercializados atualmente que são, o endurecedor químico à base de silicato de lítio, e o endurecedor químico à base de silicato de sódio, e, a partir destes desenvolver um terceiro produto, que foi a mistura em proporção dos dois primeiros. Os produtos foram aplicados em uma matriz de concreto, que simula um pavimento de concreto, para que se pudesse analisar e verificar através de ensaios de resistência a compressão, tração na flexão, desgaste a abrasão, índice de vazios e absorção de água, quais efeitos foram obtidos, quanto a aplicação dos produtos já comercializados e o novo produto. Foi também objetivo deste trabalho apresentar um comparativo entre os diferentes produtos, para determinar qual obteve melhor resultado, visando, não só o desgaste a abrasão, mas proporcionar uma visão geral a partir dos ensaios realizados.

3 JUSTIFICATIVA

Os projetos para execução de pisos industriais são relativamente novos no Brasil, e em sua grande maioria são desenvolvidos para atender as cargas de utilização, porém existe uma característica que é pouco mencionada nestes projetos de pisos industriais, que é a resistência à abrasão. A resistência à abrasão é de grande importância quando se trata de ambientes onde haverá o tráfego intenso de veículos e pessoas.

Para o combate ao desgaste à abrasão será proposto um produto químico que deriva de dois outros produtos já comercializados, que são o endurecedor de silicato de lítio e o endurecedor de silicato de sódio.

Os endurecedores de superfície que foram estudados são produtos que tem eficiências, muito distantes uma da outra, e não só a eficiência como também o custo do produto, que chega a ser seis vezes mais alto o endurecedor de silicato de lítio em relação ao silicato de sódio. Neste trabalho, propõe-se o desenvolvimento de um novo produto que melhora a questão do custo/benefício, atingindo uma eficiência mais próxima do endurecedor de silicato de lítio.

O tratamento superficial para pisos de concreto ainda é pouco estudado no Brasil. Este trabalho contribuirá muito para o desenvolvimento da indústria de químicos para construção civil, e o produto resultado deste trabalho terá grande aplicação para o combate ao desgaste à abrasão dos pisos industriais.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Concreto

O concreto é um material compósito muito utilizado na construção civil, os principais componentes deste material, são, o agregado miúdo, que são as areias, fina, média e grossa, o agregado graúdo, que são as britas, zero, um dois e três, o material ligante que é o cimento e por fim, a água de amassamento, que quando misturada ao cimento dá início ao processo de “pega” do cimento (PAN, 2017, AGUIAR, 2014).

Pelo fato do concreto ser um material compósito, será abordado cada um de seus componentes para uma análise mais completa sobre o comportamento deste material, frente a sua utilização em pisos industriais de concreto (PAN, 2017, AGUIAR, 2014).

4.1.1 Agregados

Os agregados são definidos, na engenharia civil, como materiais inertes, granulares, sem forma e dimensões definidas, com propriedades adequadas a compor camadas ou misturas para utilização nos mais diversos tipos de obra. E podem se apresentar em diversas formas como, seixos rolados encontrados nos leitos de rios, resultante de rochas fragmentadas em britadores, em jazidas de alterações de rochas e escórias de alto forno (SENÇO, 2001).

Os agregados por se constituírem de materiais que podem assumir diversas formas e dimensões, resultantes de diversos efeitos naturais ou processos mecânicos de britagem, podem ser classificados de algumas maneiras como, a sua origem, composição mineralógica, e granulometria (SENÇO, 2001).

Quanto á origem pode-se dizer que são classificados de origem natural, ou seja, são aqueles utilizados como se encontra na natureza, por exemplo, areias e pedregulhos. E de origem artificial, são aqueles que, para utilização, sofrem diversas

operações, como britagem, moagem e classificação, por exemplo, pó de pedra, argila expandida e pedra britada (SENÇO, 2001).

A composição mineralógica, é determinada de acordo com o tipo de rocha que o agregado derivou, ou seja o agregado é um fragmento da rocha mãe, que compartilha a mesma composição mineral, e podem ser classificadas pela sua formação em:

Rochas sedimentares – são rochas que derivam dos fragmentos transportados de diversas outras rochas que foram sendo depositadas através dos anos, e com o aumento do peso, temperatura e pressão se transformaram em rochas.

Rochas ígneas ou magmáticas - são rochas formadas pelo resfriamento de massa fundida de rocha, ou seja, lava proveniente de vulcões, que dependendo do seu resfriamento formam estruturas amorfas ou cristalizadas, sendo seu principal componente a sílica.

Rochas metamórficas – são aquelas que, transportadas ou não, sofrem mudanças em sua composição estrutural e mineral, devidos aos agentes de intemperismo físico, temperatura, pressão e químico.

A classificação granulométrica dos agregados pode ser dividida em: agregado miúdo que é a fração que passa na peneira de número 10, e é retida na peneira número 200. E agregado graúdo que é a fração retida na peneira de número 10 (SENÇO, 2001).

4.1.1.1 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos constituem-se basicamente pelas areias e sua granulometria varia de 0,06 mm a 2,00 mm. As areias são oriundas principalmente de jazidas de arenito e rochas sedimentares fragmentadas através de intempéries que fragmentam as rochas, dando origem as areias (DNER, 1996).

As areias são compostas em sua grande maioria de quartzo, feldspato e mica, há também a presença de outros minerais, porém em quantidades insignificantes em relação a estes acima mencionados (DNER, 1996).

A classificação granulométrica das areias é determinada de acordo com a NBR 6502/1995- Rochas e Solos, e pode ser dividida conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Granulometria das Areias

Granulometria das Areias			
Areia Fina	0,06	a	0,20
Areia Média	0,20	a	0,60
Areia Grossa	0,60	a	2,00
Unidades em milímetros			

Fonte: NBR 6502/1995

O agregado miúdo dentro do concreto tem a função de preencher os vazios entre os agregados graúdos (britas), conferindo maior resistência ao concreto.

4.1.1.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo do concreto são as britas, e sua granulometria varia entre 2,4 mm a 50,8 mm. As britas são oriundas principalmente de rochas de “granito” e “basalto” fragmentados através de processo de moagem, conferindo diversos diâmetros (BOTELHO, 2012). A classificação granulométrica das britas é dividida conforme tabela 2:

Tabela 2 - Granulometria das Britas

Granulometria das Britas			
Brita 0	2,40	a	9,50
Brita 1	5,00	a	19,00
Brita 2	9,50	a	38,00
Brita 3	19,00	a	50,80
Unidades em milímetros			

Fonte: NBR 6502/1995

A brita é utilizada no concreto a fim de conferir maior resistência ao material, uma vez que a resistência á compressão da brita varia de 80 Mpa a 200 Mpa. A

resistência do concreto torna-se maior, quanto maior for o diâmetro da brita (BOTELHO, 2012).

4.1.2 Cimento Portland

O cimento é o material ligante do concreto, responsável por unir os agregados e em contato com a água ele reage e forma a pasta de cimento que endurece formando o concreto.

No Brasil hoje, existem, normatizados cinco tipos de cimento Portland, que são o CP-I, CP-II, CP-III, CP-IV e CP-V, e estes são diferenciados de acordo com suas adições. O CP-I corresponde ao antigo cimento Portland comum, que não é mais produzido, e tem suas adições limitadas basicamente ao gesso. O Cimento CP-II é um cimento composto, ou seja, tem em sua composição, além de clínquer Portland, são agregadas – além do gesso – adições ativas de escória de alto forno (CP-II-E), pozolana (CP-II-Z) e filer de calcário (CP-II-F). Os CP-IV e CP-III correspondem aos antigos cimento Portland pozolanico e portland de alto forno e diferem do CP-II Z e CP-II E pela quantidade de adições. E, o CP-V tem sua principal característica a alta resistência inicial, e pode também ser encontrado na como CP-V RS, que apresenta resistência a sulfatos pela incorporação de escória de alto forno (RODRIGUES, 2006).

Os níveis de resistências – classes do cimento – podem ser 40, 32, e 25, que correspondem ao mínimo da resistência a compressão em MPa aos 28 dias, com exceção do CP-V. Atualmente, a classe 25 não é mais produzida e muito em breve, com o aprimoramento do processo produtivo, existirá apenas a classe 40. As características físicas e mecânicas dos cinco tipos de cimentos são apresentados na Tabela 3 (RODRIGUES, 2006).

Tabela 3 - Exigências físicas e mecânicas do cimento Portland

Tipo de cimento portland	Classe	Finura		Tempos de pega		Expansibilidade		Resistência à compressão				
		Resíduo na peneira 75 mm (%)	Área específica (m ² /kg)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	1 dia (MPa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	91 dias (MPa)
CP I CP I-S	25	≤ 12,0	≥ 240	≥ 1	≤ 10 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32		≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40		≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP II-E CP II-Z CP II-F	25	≤ 12,0	≥ 240	≥ 1	≤ 10 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32		≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40		≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III ⁽²⁾	25	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0 ⁽¹⁾
	32								≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0 ⁽¹⁾
	40								≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	≥ 48,0 ⁽¹⁾
CP IV ⁽²⁾	25	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0 ⁽¹⁾
	32								≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0 ⁽¹⁾
CP V-ARI		≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-	-

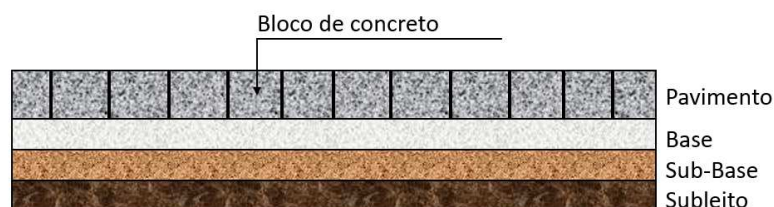
Fonte: ABCP, 2002

4.2 Pavimentos de Concreto ou Pisos Industriais

Os pavimentos de concreto há muito são utilizados na construção civil para tornar um local mais acessível, e melhorar as condições de trabalho do dia a dia, e atualmente isto está sendo cada vez mais utilizado em áreas industriais, como galpões, pátios e garagens (BALBO, 2009).

Os pavimentos de concreto se dividem inicialmente em duas grandes áreas, pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos. Os pavimentos flexíveis de concreto consistem basicamente da construção em blocos intertravados, que são blocos de pequenas dimensões, intertravados, ou seja, sua forma faz com que se encaixem um no outro de maneira a formar uma superfície única, cobrindo todo o solo sob ele. Estruturalmente, estes pavimentos intertravados não utilizam armaduras e sua resistência depende basicamente das camadas de subleito, sub-base e base do solo (BALBO, 2009).

Figura 1 - Pavimento intertravado

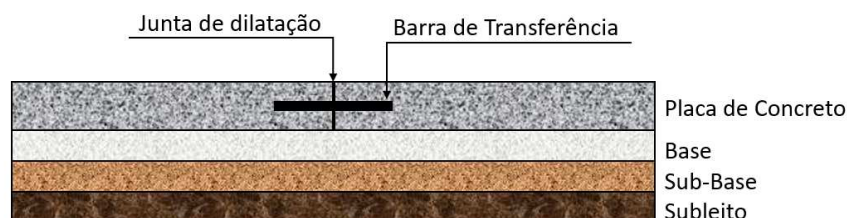


Fonte: Autor

Os pavimentos rígidos podem ser divididos basicamente em pavimentos de concreto simples, e pavimentos de concreto armado, existem ainda outros tipos, mas não são objetivo do estudo neste trabalho (BALBO, 2009).

Os pavimentos de concreto simples constituem-se de placas de concreto que variam de 4,5 m a 6,0 m, não armadas, com juntas transversais e longitudinais, apoiadas sobre as camadas de base, sub-base e subleito. As juntas necessitam de barras de transferência de carga que “dividem” a carga aplicada sobre uma placa com as placas adjacentes, as juntas servem também para reduzir a incidência fissuras devido a retração hidráulica do concreto (BALBO, 2009).

Figura 2 - Pavimento de concreto simples



Fonte: BALBO, 2009

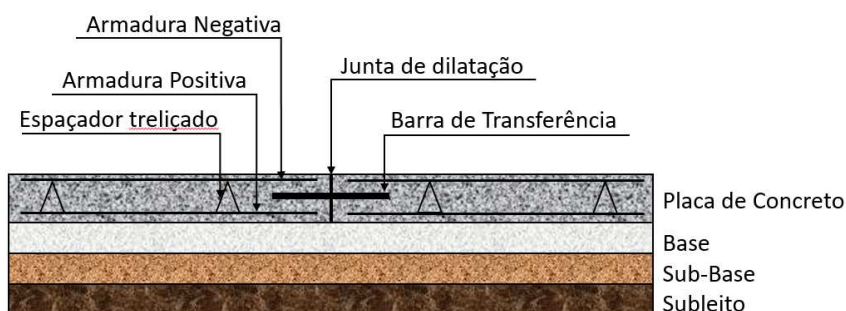
As cargas aplicadas ao pavimento de concreto simples, são absorvidas pelo concreto e transferidas ao solo (base, sub-base e subleito), inclusive os esforços de tração na flexão, portanto, neste método de pavimentação é necessário dimensionar

o pavimento para que o próprio concreto resista aos esforços de tração na flexão, o que acaba por gerar placas de concreto com espessuras muito altas e têm um custo de implantação alto (BALBO, 2009).

Os pavimentos de concreto armado são muito parecidos com os pavimento de concreto simples, o que os diferencia é que tem em sua seção, malhas de ferro, o que acaba por gerar um incremento de capacidade de carga, em relação a espessura da placa de concreto, o que o torna, em tese, mais atrativo em relação ao custo e também dá ao pavimento a possibilidade de suportar maior quantidade de carga, uma vez que o aço absorve a maior quantidade do esforço a tração na flexão, enquanto o concreto trabalha na compressão. A aplicação de malhas de ferro também torna este pavimento mais delgado, o que facilita a execução, visto que uma das maiores dificuldades de se executar um pavimento é a aplicação de grandes volumes de concreto, pois este precisa ser dosado, adensado, nivelado e acabado ainda em estado fresco (BALBO, 2009).

A aplicação de armadura nas placas de concreto também possibilita tamanhos de placas maiores do que no pavimento de concreto simples, uma vez que os esforços gerados pela retração hidráulica do concreto são em parte absorvidos pela armadura reduzindo a fissuração do piso referente a este fenômeno e possibilitando a execução de menos juntas no pavimento (BALBO, 2009).

Figura 3 - Pavimento de concreto armado



Fonte: BALBO, 2009

Atualmente, os pavimentos de concreto simples são muito pouco utilizados, o pavimento mais utilizado pelo seu custo benefício e maior facilidade de execução em

obra, para tal dá-se o nome de piso industrial ou pavimento de concreto armado (BALBO, 2009).

4.3 Propriedades do Concreto para Pisos Industriais

Os concretos para pisos industriais são classificados como CAD (concreto de alto desempenho), uma vez que tem que atender a diversas características que os concretos convencionais não são solicitados. Os concretos convencionais são normalmente utilizados visando apenas a resistência a compressão, característica que tornou o concreto um material largamente utilizado, porém o concreto quando dosado de maneira adequada pode proporcionar outras características desejáveis quanto à sua aplicação na construção. As características mais importantes, para um concreto que será empregado num piso industrial são, a exsudação, a resistência a compressão, resistência a tração na flexão e a resistência a abrasão, sendo esta última uma das características mais importantes devido à usabilidade do pavimento e serão abordadas a seguir.

4.3.1 Exsudação

Exsudação é o assentamento das partículas sólidas do concreto e a subida da água para a superfície, quando o concreto está em seu estado plástico. Este fenômeno termina quando o concreto começa a enrijecer. Concretos com slump muito alto tendem a exsudar mais devido maior volume de água na mistura, pois somente uma parte da água reage com o cimento, as demais evaporam ou exsudam. Nos pisos industriais a exsudação é muito prejudicial quanto ao nivelamento superficial, pois os pisos de concreto quando executados são nivelados em seu volume fresco, e ao ocorrer a exsudação existe variação volumétrica em locais onde existe mais água, criando poças onde o concreto exsudou mais. Outro aspecto prejudicial da exsudação é a diminuição da resistência à abrasão, uma vez que se criam poros no concreto para a passagem da água, tornando a superfície mais porosa. Para combater a exsudação é necessário controlar alguns aspectos quanto à dosagem do concreto como curva granulométrica dos agregados, materiais finos, uso de aditivos e condições ambientais

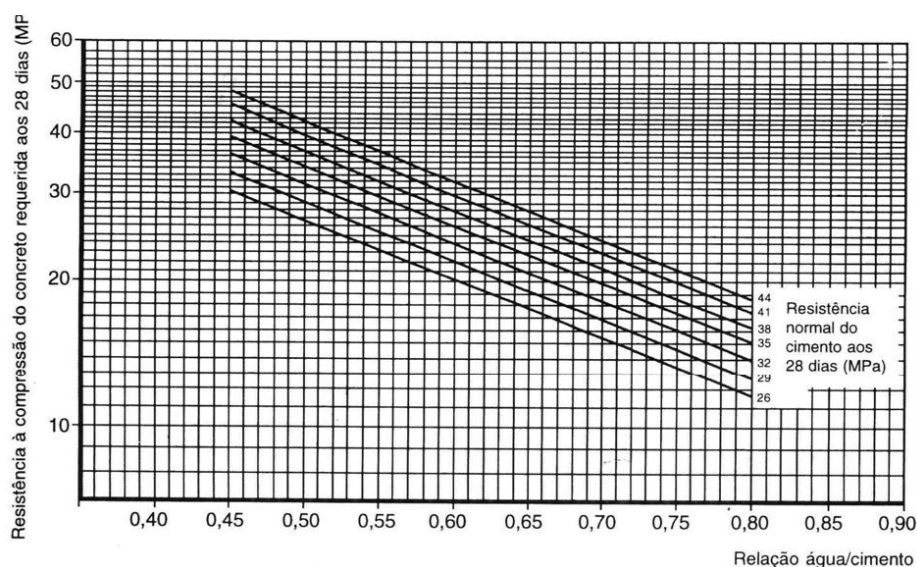
como realizar a concretagem em temperaturas mais altas e umidade do ar mais baixa, diminuindo o tempo de pega do concreto e aumentando a evaporação da água (RODRIGUES, 2010).

4.3.2 Resistência a Compressão

A resistência a compressão é a característica mais importante do concreto, pois é a que apresenta melhor custo/desempenho quando testada com outros materiais.

Uma das variáveis que influencia diretamente na resistência a compressão é a relação água/cimento. No gráfico 1, pode ser observado que para uma mesma relação água/cimento, com diferentes resistências de cimentos, temos curvas de Abrams exatamente paralelas, demonstrando que a influência da relação água/cimento cria a mesma influência para as diferentes resistências de cimento utilizadas, desde que os agregados apresentem as mesmas características dentro da matriz do concreto (RODRIGUES, 2010).

Gráfico 1 - Relação A/C X Resistencia do cimento



Fonte: RODRIGUES, 1995

4.3.3 Resistência à Tração na Flexão

A resistência á tração na flexão consiste em determinar o quanto uma peça de concreto resiste quando submetida a um esforço de flexão simples, esse valor é aproximadamente 10% do valor em que resiste a mesma peça a carga de compressão, porém existem outras fórmulas para se determinar mais precisamente esse valor.

A correlação entre a resistência a compressão e o modulo de ruptura é utilizado, no intuito de facilitar o controle das obras em que o requisito principal é a tração na flexão. Tem sido observado que o emprego destas correlações pode ser tomado como referência para se realizar a dosagem do traço do concreto (RODRIGUES, 2010).

Como exemplo de correlação entre as resistências, que podem ser perfeitamente empregadas para estudos de dosagem, pode-se citar duas equações, que apresentam resultados bastante similares (RODRIGUES, 2010), de acordo com as equações de Bucher, 1983 (Equação 1) e Equação de Packard, 1976 (Equação 2):

$$F_{ctM,k} = 0,56(f_c)^{0,6} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

$$F_{ctM,k} = 0,76(f_c)^{0,5} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

Onde,

$F_{ctM,k}$ = Resistência a tração na flexão

F_c = Resistência a compressão

No que tange ao caso dos pisos industriais, essa resistência é muito importante, pois os pisos de concreto são estruturas apoiadas sobre o solo, que tem um comportamento como se fosse de um “colchão”, logo o piso de concreto absorve a carga aplicada sobre ele e a distribui de maneira uniforme sobre o solo, o que traz o conceito da tração na flexão ser característica fundamental a capacidade de suporte do pavimento como um todo.

A resistência a tração na flexão também segue a lei de Abrams, mas essa propriedade também é afetada por outros fatores, principalmente as características dos agregados. A interface pasta agregado influencia muito os valores na flexão, apresentando os agregados com textura lisa, como seixos rolados, resistências mais baixas do que os agregados britados (RODRIGUES, 2010). Concretos com agregados disciformes (com forma de disco) ou aciculares (com forma de agulha) tem baixa resistência a flexão, além de facilitarem a formação de brocas no concreto, por dificultarem a saída de água exsudada, o que diminui a aderência matriz-agregado (BUCHER, 1983).

4.3.4 Resistência a Abrasão

A resistência à abrasão pode ser definida como a capacidade do concreto em suportar os esforços superficiais de fricção devido ao tráfego de pessoas, veículos ou arraste de cargas. A resistência a abrasão também pode ser definida como facilidade de arranhar a superfície de um determinado material.

4.4 Silicatos

Os silicatos são compostos químicos formados por silício (Si) e oxigênio (O), ambos abundantes na natureza ocorrem mais comumente na forma SiO_2 , SiO_3 ou SiO_4 e se ligam principalmente a elementos da família "IA" da tabela periódica, que são o lítio (Li), sódio (Na), potássio (K), célio (Cs) e o frâncio (Fr). Grande parte das rochas da crosta terrestre é formada por silicatos, e estes tem grande aplicação devido á sua estrutura cristalina e serem abundantes, o que os torna baratos em relação a outros materiais.

Atualmente, tem se utilizado muito os silicatos de potássio, lítio, magnésio e sódio para impermeabilização, densificação, selagem e endurecimento de superfícies de concreto. Será abordado neste trabalho o emprego dos silicatos de sódio e lítio para o endurecimento da superfície do concreto.

4.4.1 Silicato de Sódio

Também conhecido como vidro líquido, o silicato de sódio, tem grande utilização como, impermeabilizante, abrasivo, antiincendiário, carga para fabricação de sabão, tratamento de água de origem industrial e fabricação de revestimentos cerâmicos, sua fórmula química é Na_2SiO_3 .

A maioria dos densificadores e endurecedores de concreto disponíveis no mercado é utilizada, visando à obtenção dos seguintes efeitos; proteção contra poeira, endurecimento e selagem da superfície, efeitos esses que são resultado da reação química que ocorre entre o cimento Portland, o silicato, e o hidróxido de cálcio, para produzir o silicato de cálcio hidratado (CSH), um subproduto da hidratação do cimento, sendo esta mesma cadeia que resulta da reação da água com o cimento e dá ao concreto a grande parte da sua dureza e resistência.

Na hidratação do hidróxido de cálcio, ocorre o processo de deslocamento deste para a zona da superfície do piso, onde os silicatos podem reagir e formar o CSH, formando-se cristais que preenchem todos os poros vazios internamente na nata do concreto. Resultando em uma superfície endurecida e densificada.

4.4.2 Silicato de Lítio

O silicato de lítio é muito utilizado para confecção de próteses cerâmicas odontológicas, para aplicação em tintas e aditivos para o concreto, sua fórmula química é Li_2SiO_3 .

No que tange à aplicação do silicato de lítio, para endurecimento da superfície, proteção contra poeira e selagem da superfície, a reação química que ocorre entre o silicato, o cimento Portland e o hidróxido de cálcio é a mesma que ocorre com o silicato de sódio, porém o tratamento com o silicato de lítio é diferente porque ele possui uma estrutura molecular bem menor que a do silicato de sódio, o que faz com que ele penetre no concreto mais profundamente e de maneira uniforme. Dessa forma, a reação não produzirá pontos fracos na superfície e será mais efetiva, evitando a sua deterioração da superfície e a consequente produção de poeira.

A participação dos endurecedores químicos para pisos de concreto com base no silicato de lítio tem tido considerável aumento no mercado mundial. As características do produto melhoram o processo de selagem e densificação do concreto, proporcionam uma penetração consistente na superfície do concreto e previnem a reação álcali-sílica (RAS). Outra característica importante é que esse tratamento pode ser executado tanto em um piso de concreto novo, quanto em um piso de concreto antigo que necessite de recuperação. Além disso, devido à erradicação da eflorescência, são evitadas as manchas brancas causadas pelo transporte de sais.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho foram o concreto usinado Fck 30 MPa, fornecido pela concreteira Fortemix, e os líquidos endurecedores de superfície a base de silicato de lítio e silicato de sódio, foram da empresa Pisoclean.

5.1.1 Concreto

O concreto utilizado para a confecção dos corpos de prova foi dosado em usina para atingir uma resistência a compressão, aos 28 dias, de 30 MPa, slump de 12+/-2 cm e foi utilizado em sua composição areia, pó de pedra, brita 1, brita 0, cimento CP III-32, aditivo plastificante MX e água.

O aditivo MX, é um aditivo plastificante multifuncional que propicia maior poder de dispersão ao cimento, mantendo a trabalhabilidade do concreto por maior tempo, não alterando significativamente as características de pega do concreto e é utilizado em casos onde é necessário um maior tempo de trabalho para a mistura ou uma redução da água de amassamento, fator relevante no caso de concretagem de pisos, onde se faz necessário uma maior trabalhabilidade no concreto para realização do acabamento superficial.

Foi utilizado na dosagem um cimento CP III – 32, ideal para esta utilização pois o cimento tem característica de, aos 28 dias, atingir a resistência de 32 Mpa, resistência essa bem próxima da especificada para dosagem do concreto.

No caso das britas, foi utilizada uma mistura de 65% brita 1 e 35% brita 0 em peso, para que se pudessem preencher o melhor possível os espaços com britas, que conferem maior resistência ao concreto, tornando a granulometria do concreto o mais coesa possível.

A areia utilizada foi a areia média, extraída de leito de rio e foi aplicada uma correção de umidade de 60 kg de água devido a umidade medida no dia, estar em

5,00% conforme apresenta o relatório da usina. Essa correção é dada para que se mantenha uma relação água/cimento controlada dentro dos parâmetros calculados no traço.

Com estas características, tem-se um concreto que deverá atingir uma resistência superior à especificada, e isto trará um incremento de qualidade em todos os aspectos dos resultados que teremos com os ensaios realizados. Outra observação que pode ser feita é a utilização do pó de pedra também como agregado miúdo, aumentando a quantidade de finos no concreto e reduzindo sua porosidade.

5.1.2 Silicato de Lítio

O líquido endurecedor de superfície utilizado é fornecido pela empresa de químicos Pisoclean e a composição química descrita em seu rótulo é, silicato de lítio, aditivo e veículo, porém, o composto principal é o silicato de lítio, não sendo significativa a influência do aditivo e veículo constantes no rótulo, uma vez que o veículo referido é um veículo aquoso para tornar a mistura líquida e o aditivo referido acredita-se ser para manter a mistura homogênea não permitindo a cristalização do silicato em presença do veículo aquoso.

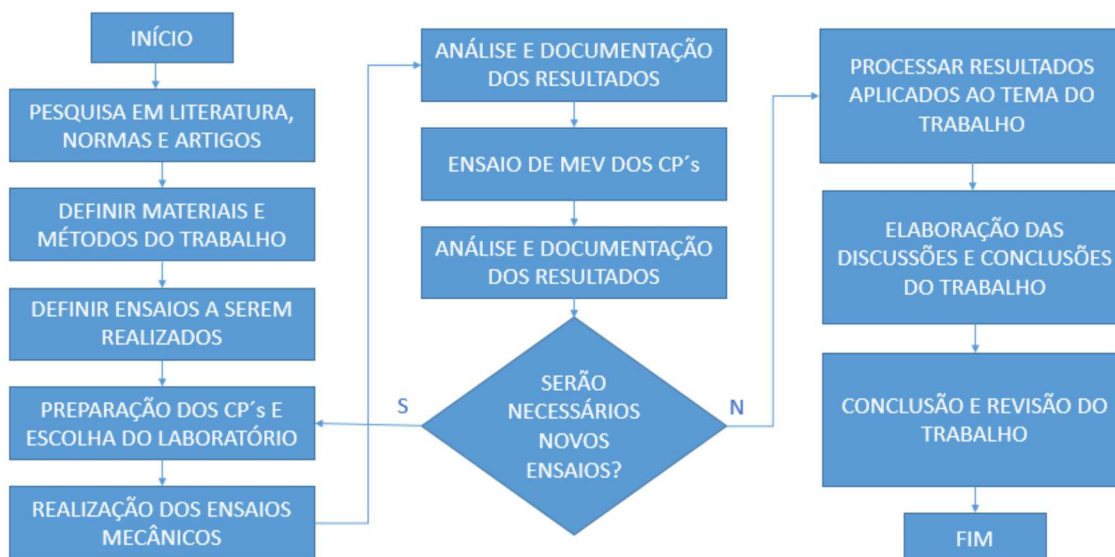
5.1.3 Silicato de Sódio

O líquido endurecedor de superfície utilizado é fornecido pela empresa de químicos Pisoclean e a composição química descrita em seu rótulo é, silicato de sódio, aditivo e veículo, porém, o composto principal é o silicato de sódio, não sendo significativa a influência do aditivo e veículo constantes no rótulo, uma vez que o veículo referido é um veículo aquoso para tornar a mistura líquida e o aditivo referido acredita-se ser para manter a mistura homogênea não permitindo a cristalização do silicato em presença do veículo aquoso.

5.2 Métodos

Para o desenvolvimento deste produto foram tomados como base dois produtos que já são comercializados atualmente que são o endurecedor químico à base de silicato de lítio, e o endurecedor químico à base de silicato de sódio. Foram realizados ensaios de desgaste à abrasão, ensaio de absorção de água para determinação do índice de vazios, resistência à compressão axial e tração na flexão com um jogo de corpo de prova sem aplicação de produto para controle. Um jogo de corpos de prova com o produto à base de silicato de lítio, um jogo de corpos de prova com o produto à base de silicato de sódio, e um jogo de corpos de prova com o produto desenvolvido. O objetivo do desenvolvimento deste novo produto, foi o de se realizar a mistura em proporção de um para um, de silicato de lítio e silicato de sódio e testá-lo em comparação aos produtos comercializados. As etapas para o desenvolvimento deste trabalho seguem de acordo com a figura 4.

Figura 4 - Organograma das etapas do projeto



Fonte: Autor

5.2.1 Preparo do concreto

O concreto utilizado na confecção dos corpos de prova foi preparado e dosado em usina, onde foram controlados todos os aspectos em termos de quantidade e qualidade dos materiais como, agregados, cimento, correções de água e aditivos utilizados, conforme mostra a tabela 4. Após a dosagem dos materiais, este corre por uma esteira e é despejado dentro do balão do caminhão onde serão misturados os materiais até formar uma pasta homogênea, em seguida é medido o Slump do concreto para correção final da quantidade de água e envio para o local de uso.

Tabela 4 - Traço do concreto

Concreto Usinado	Fck 30 MPa	Slump 120+/-20mm	Data:	10/11/2016
Material	Umidade (%)	Consumo Teórico (kg)	Consumo Real (kg)	Desvio (%)
Pó de Pedra		450,00	436,92	2,91
Areia	5,00%	578,95	584,49	0,96
Brita 1		650,00	645,25	0,73
Brita 0		350,00	393,52	12,43
Cimento CP III - 32		385,00	413,77	7,47
Aditivo MX		1,80	1,89	5,00
Água		121,05	121,04	0,01
Obs.: Ajuste de água de 60 kg devido a umidade da areia				

Fonte: Usina de concreto Fortemix

5.2.2 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi realizada da seguinte maneira, conforme Tabela 5:

Tabela 5 - Confeção dos corpos de prova

Confeção de Corpos de Prova				
Ensaio	Corpo de Prova	Dimensão (cm)	Quantidade	Norma
Resistência a compressão	Cilíndrico	10x20	4 Conj. de 5 CP's	NBR 5738/2007
Resistência a tração na flexão	Prismático	10x10x35	4 Conj. de 5 CP's	NBR 5738/2007
Resistência a abrasão	Prismático	7x7x4	2 Conj. de 4 CP's	NBR 5738/2007
Índice de vazios	Prismático	10x10x4	2 Conj. de 4 CP's	NBR 9778/1987

Fonte: Autor

5.2.2.1 Moldagem dos corpos de prova cilíndricos para ensaio de resistência a compressão

Para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, foram utilizadas formas de PVC com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, lisas, com boa resistência e com dispositivo para abertura e fechamento, para facilitar a moldagem e desmoldagem dos corpos de prova. Antes de iniciar o enchimento das formas foi passada uma camada de óleo queimado, para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova de concreto.

O procedimento utilizado no enchimento dos corpos de prova seguiu as recomendações da NBR 5738/2003, onde foram enchidos os corpos de prova em duas etapas, cada etapa foi seguida de 12 golpes com a haste de aço para adensamento do concreto no molde e a última camada recebeu acabamento com colher de pedreiro, faceado na borda do molde. A moldagem ocorreu no escritório de engenharia da empresa Paraguassú Projetos. Conforme a fotografia 1.

Fotografia 1 - Enchimento dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autor

5.2.2.2 Moldagem dos corpos de prova prismáticos para ensaio de tração na flexão

Para a moldagem dos corpos de prova prismáticos, foram utilizadas formas de madeirite naval com dimensões de 10 centímetros de largura, 10 centímetros de altura e 35 centímetros de comprimento, lisas e com boa resistência. Antes de iniciar o enchimento das formas foi passada uma camada de óleo para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova de concreto.

O procedimento utilizado no enchimento dos corpos de prova seguiu as recomendações da NBR 5738/2003, onde foram enchidos os corpos de prova em duas etapas, cada etapa foi seguida de 12 golpes com a haste de aço para adensamento do concreto no molde e a última camada recebeu acabamento com colher de pedreiro, faceado na borda do molde. A moldagem ocorreu no escritório de engenharia da empresa Paraguassú Projetos. Conforme fotografia 2.

Fotografia 2 - Enchimento dos corpos de prova prismáticos



Fonte: Autor

5.2.2.3 Moldagem dos corpos de prova prismáticos para ensaio de desgaste a abrasão e índice de vazios

Para a moldagem dos corpos de prova prismáticos para ensaio de desgaste a abrasão, foram utilizadas formas de madeirite naval com dimensões de 7 centímetros de largura, 4 centímetros de altura e 7 centímetros de comprimento, lisas e com boa resistência. Antes de iniciar o enchimento das formas foi passada uma camada de óleo para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova de concreto.

O procedimento utilizado no enchimento dos corpos de prova seguiu as recomendações da NBR 5738/2003, onde foram enchidos os corpos de prova em duas etapas, cada etapa foi seguida de 12 golpes com a haste de aço para adensamento do concreto no molde e a última camada recebeu acabamento com colher de pedreiro, faceado na borda do molde. A moldagem ocorreu no escritório de engenharia da empresa Paraguassú Projetos, conforme fotografia 3.

Fotografia 3 - Enchimento dos corpos de prova prismáticos para ensaio de desgaste a abrasão



Fonte: Autor

5.2.3 Elaboração do endurecedor químico de silicato de sódio e lítio

Para elaboração do produto que foi testado, os produtos endurecedores de superfície já comercializados da empresa Pisoclean base de silicato de lítio e silicato de sódio foram misturados em proporção de um para um, onde o novo produto tem em sua composição 50% de endurecedor de silicato de sódio e 50% de endurecedor de silicato de lítio.

Essa composição foi elaborada a fim de promover um custo benefício mais atrativo, uma vez que o custo do endurecedor a base de silicato de lítio é muito maior do que o endurecedor de silicato de sódio.

5.2.4 Aplicação dos endurecedores de superfície

Após a desmoldagem dos corpos de prova, em um período de 48 horas, foi realizada aplicação dos endurecedores químicos de superfície para realização dos

ensaios mecânicos. A aplicação dos produtos seguiram recomendações do fabricante para que a eficiência desejada fosse atingida.

O fabricante recomenda a aplicação do produto em 3 demãos. Deve-se saturar a superfície do concreto e deixa-lo absorver o produto por 30 minutos, em seguida proceder com as aplicações até que o concreto não absorva mais o produto num período de 30 minutos. Em seguida, lavar o concreto com água limpa e remover o excesso de produto.

No caso da aplicação em corpos de prova foi seguido este procedimento, porém os produtos foram aplicados realizando-se a imersão dos corpos de prova em bacia contendo o produto e mantendo-o saturado até que não absorvesse o produto, a fotografia 4 ilustra essa aplicação. A aplicação dos produtos ocorreu no escritório de engenharia da empresa Paraguassú Projetos.

Fotografia 4 - Aplicação dos endurecedores



Fonte: Autor

5.2.5 Ensaios Mecânicos

Para realização dos ensaios descritos neste item, devemos considerar que todos, com exceção do Slump, foram realizados com os corpos de prova na idade de 28 dias, devido ao fato de que a aplicação dos produtos endurecedores de superfície

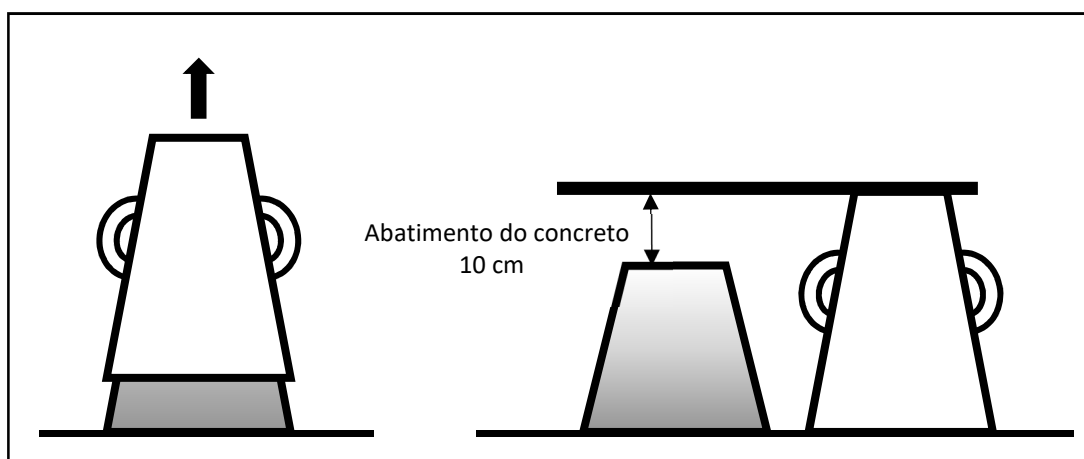
tem maior eficácia na idade de 28 dias quando o cimento do concreto já reagiu completamente e atingiu sua resistência máxima.

5.2.5.1 Ensaio de abatimento do concreto (Slump)

Antes de se realizar a moldagem dos corpos de prova, foi realizado ensaio de abatimento do concreto para se determinar a condição plástica do concreto de maneira que este possa se adaptar e preencher completamente a forma, conforme NM 67.

Foi feito o enchimento da fôrma cônica em 3 etapas aplicando 25 golpes com a haste de aço para adensamento do concreto dentro da fôrma em cada etapa, ao final foi nivelado a superfície do concreto com a borda da fôrma. Em seguida, a forma foi retirada cuidadosamente, colocada ao lado do cone de concreto e medida a distância entre a altura do concreto desmoldado e a altura da fôrma, esta medida (em centímetros) do abatimento do concreto em relação a forma é o Slump do concreto, que neste caso foi de 10 cm, de acordo com a Figura 5. O ensaio de Slump Test, foi realizado na sede da concreteira Fortemix.

Figura 5 - Teste Slump



Fonte: Autor

5.2.5.2 Ensaio de resistência à compressão

Para realização do ensaio de resistência a compressão axial, foi utilizado a prensa EMIC, modelo T1000, com capacidade máxima de 100 MPa, bases de neoprene em cima e embaixo do corpo de prova, para uniformizar a distribuição de tensões sobre o corpo de prova e em seguida aplicada a carga até o rompimento do CP, conforme NBR 5739/2007. Este procedimento foi realizado para cada um dos 5 corpos de prova e para todos os 4 conjuntos, conforme fotografias 5, 6, 7 e 8. O ensaio foi realizado no laboratório do UniFOA.

Fotografia 5 - Corpo de prova com aplicação de silicato de sódio



Fonte: Autor

Fotografia 6 - Corpo de prova com aplicação de silicato de lítio



Fonte: Autor

Fotografia 7 - Corpo de prova com aplicação de silicato de sódio/lítio



Fonte: Autor

Fotografia 8 - Corpo de prova sem aplicação para controle



Fonte: Autor

A obtenção dos resultados das tensões de rompimento já é fornecida automaticamente pela prensa EMIC em MPa, uma vez que antes de se iniciar o processo de rompimento é fornecida a área de seção do corpo de prova e, com base na força aplicada para rompimento, a prensa calcula automaticamente a tensão de rompimento, conforme fotografia 9.

Fotografia 9 - Tela de resultados da prensa EMIC



Fonte: Autor

A fórmula utilizada para obtenção da tensão de ruptura é dada pela equação 3.

$$F_{ck} = (F / A) \cdot 10, \quad (3)$$

Onde:

F_{ck} = Tensão de ruptura (MPa)

F = Força aplicada (KN)

A = Área de seção (cm²)

No exemplo da tela da prensa, temos:

$$F_{ck} = (295,54 / 78,54) \cdot 10$$

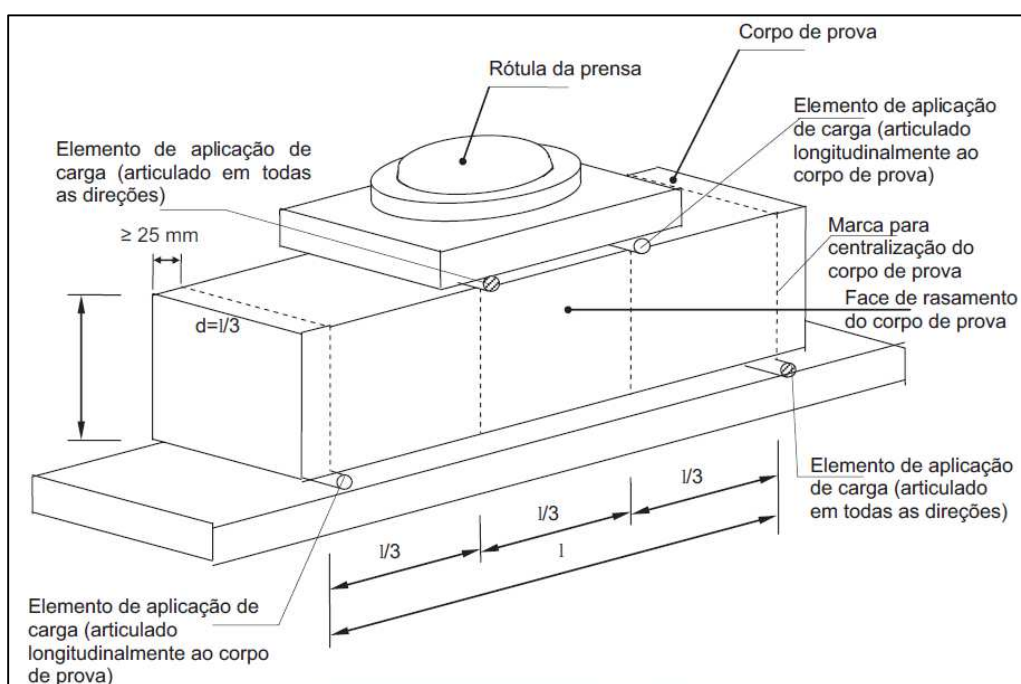
$$F_{ck} = 37,63 \text{ MPa}$$

5.2.5.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

Para realização do ensaio de resistência à tração na flexão, o corpo de prova prismático de dimensões 10cm x 10cm x 35cm foi marcado conforme figura 6 e nestas marcações foram colocadas 04 barras de ferro, com diâmetro aproximado de 0,5cm,

sendo duas em cima e duas embaixo do corpo de prova de maneira que ao aplicada a força, o CP fosse submetido a flexão simples, conforme NBR 12.142/1991. Na realização deste ensaio foi utilizado também a prensa EMIC, modelo T1000, com capacidade máxima de 100 MPa. Este procedimento foi realizado para cada um dos 5 corpos de prova e para todos os 4 conjuntos, conforme fotografia 10. O ensaio foi realizado no laboratório da UniFOA.

Figura 6 - Esquema de montagem do CP



Fonte: NBR 12.142/1991

Fotografia 10 - Corpo de prova com aplicação de silicato de sódio



Fonte: Autor

Para determinação dos resultados das tensões de ruptura do ensaio de tração na flexão, não foi possível atribuir uma fórmula para a prensa fazer o cálculo automático, portanto foram anotados os valores da força necessária para rompimento do CP conforme mostra a fotografia 11.

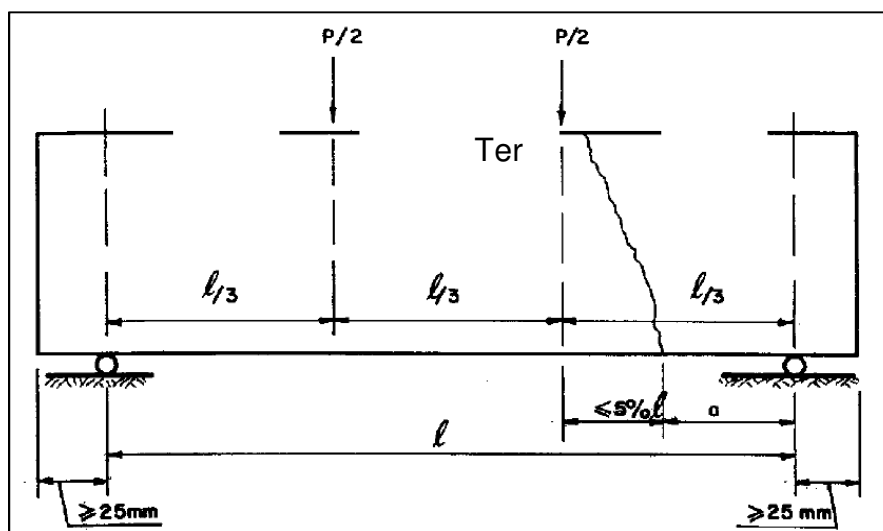
Fotografia 11 - Tela de resultados da prensa EMIC



Fonte: Autor

Em seguida foram compilados esses resultados e aplicados a uma fórmula de acordo com a NBR 12.142/1991, que determina as seguintes condições, ver figura 7:

Figura 7 - Desenho esquemático de rompimento do CP



Fonte: NBR 12.142/1991

1º Situação – Caso a ruptura do corpo de prova ocorra no terço médio da aplicação das forças, deve-se aplicar o resultado a equação 4.

$$F_{ctM} = (p \cdot \ell) / (b \cdot d^2) \quad (4)$$

Onde:

F_{ctM} = Resistência a tração na flexão (Mpa)

p = carga máxima aplicada (N)

ℓ = distância entre suportes (mm)

b = largura média na seção de ruptura (mm)

d = altura média na seção de ruptura (mm)

2º Situação – Caso a ruptura do corpo de prova ocorra fora do terço médio, a uma distância não superior a 5 % de ℓ , calcular a resistência a tração na flexão pela equação 5.

$$F_{ctM} = (3 \cdot p \cdot a) / (b \cdot d^2) \quad (5)$$

Onde:

F_{ctM} = Resistência a tração na flexão (Mpa)

p = carga máxima aplicada (N)

a = distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo ($a \geq 0,283 \ell$) (mm)

b = largura média na seção de ruptura (mm)

d = altura média na seção de ruptura (mm)

3º Situação – Caso a ruptura ocorra além dos 5 % ($a < 0,283 \ell$), o ensaio não tem validade, e o corpo de prova deve ser descartado.

Nos corpos de prova ensaiados a grande maioria obteve o rompimento no terço médio, conforme fotografia 12, e foi aplicada a equação 4, conforme exemplo da tela na fotografia 11.

Fotografia 12 - Corpo de prova rompido no terço médio



Fonte: Autor

Utilizando a equação 4, temos:

$$F_{ctM} = (p \cdot \ell) / (b \cdot d^2) = (20140 \cdot 300) / (106 \cdot 103^2)$$

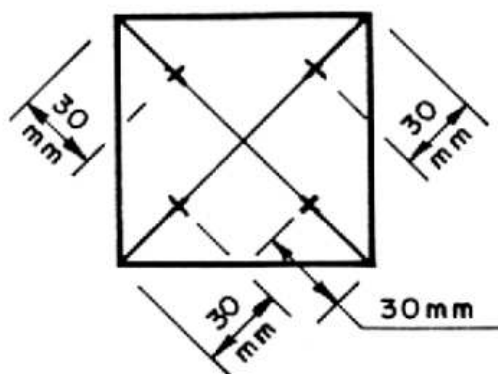
$$F_{ctM} = 5,37 \text{ MPa}$$

5.2.5.4 Ensaio de desgaste à abrasão

O ensaio de desgaste à abrasão foi realizado pela empresa Concremat, e para realização do referido ensaio, foram utilizados os parâmetros contidos na NBR 12042/1992, e os equipamentos foram executados de acordo com as especificações contidas na norma supracitada anteriormente.

Antes de se iniciar a execução do ensaio, os corpos de prova devem ser marcados, conforme figura 8, para realização das medições que serão necessárias.

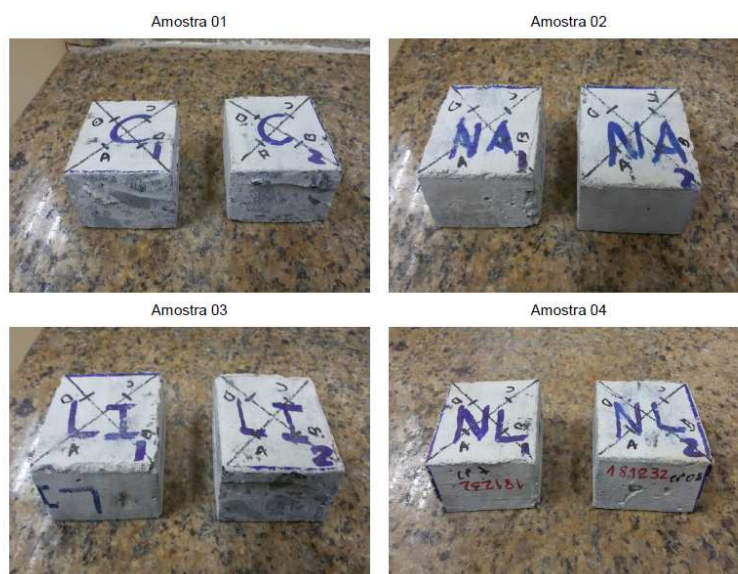
Figura 8 - Esquema de marcação dos CP's



Fonte: NBR 12042/1992

Cada amostra foi marcada conforme especificação, como pode ser observado na figura 9.

Figura 9 - Amostras marcadas



Fonte: O Autor

Em seguida foi realizada a medição das amostras antes de se iniciar o ensaio, com o auxílio da base de medição contido na fotografia 13, a leitura é obtida realizando a média dos 4 pontos marcados.

Fotografia 13 - Base de medição



Fonte: Concremat

A seguir as amostras foram colocadas na mesa de desgaste, apresentada na fotografia 14, e aplicada uma carga de 66 KN. Foi regulada a dispersão de areia a uma vazão de 72 ± 6 cm³/minuto.

Fotografia 14 - Mesa de desgaste



Fonte: Concremat

Foi colocado o equipamento em funcionamento até que o corpo de prova tenha dado 250 voltas, ou o percurso equivalente a distância de 500 metros, então foram retiradas as amostras para nova medição, conforme fotografia 15.

Fotografia 15 - Medição dos CP's



Fonte: Concremat

Procedeu-se com o ensaio novamente em mais um percurso de 500 metros, totalizando 1000 metros de percurso, e foi realizada nova medição.

5.2.5.5 Ensaio de índice de vazios e absorção de água

O ensaio de índice de vazios e absorção de água, foi realizado conforme NBR 9778/1987, e foi adotado utilizar 2 corpos de prova com adição de produto e 2 corpos de prova do controle. Foram seguidos os seguintes passos para realização do ensaio:

1º Passo - Secagem das amostras em estufa marca Odontobrás a uma temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por um período de 72 h, e após esse período, procedeu-se a pesagem de cada amostra seca em balança de precisão do modelo Bel, conforme fotografias 16 e 17.

Fotografia 16 - Secagem das amostras na estufa



Fonte: Autor

Fotografia 17 - Pesagem das amostras secas



Fonte: Autor

2º Passo – Saturação das amostras em tanque de água, a uma temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por um período de 72 h, sendo as 4 primeiras horas a amostra imersa 1/3 de seu volume, nas 4 horas seguintes a amostra imersa 2/3 de seu volume e nas

64 horas restantes, completamente imersa, conforme recomenda a NBR 9778/1987. E após esse período é realizada a pesagem das amostras.

3º Passo – Proceder a pesagem das amostras saturadas a temperatura de 23°C, imersas em água, de maneira a obter seu peso imerso, conforme fotografia 18.

Fotografia 18 - Pesagem da amostra imersa em água



Fonte: Autor

Após estes procedimentos foram realizados os cálculos para determinação do índice de vazios e absorção de água das amostras, nos quais serão demonstrados de acordo com as equações 6 e 7.

Absorção de água por imersão

$$A_{Ag} = [(M_{sat} - M_s)/M_s] \times 100 \quad (6)$$

Índice de Vazios

$$I_v = [(M_{sat} - M_s)/(M_{sat} - M_i)] \times 100 \quad (7)$$

Onde,

M_s = Massa da amostra seca em estufa (g)

M_i = Massa da amostra saturada, imersa em água (g)

M_{sat} = Massa da amostra saturada em água a temperatura de 23°C (g)

5.2.6 MEV

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada para se determinar quais características físicas foram alteradas, como preenchimento dos poros e ver a microestrutura do material. Foi analisada a seção fraturada da amostra, próxima à superfície, local onde o produto penetra. No ensaio foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura Hitachi, do modelo TM3000. O ensaio ocorreu no laboratório de caracterização de materiais do UniFOA.

Fotografia 19 - MEV



Fonte: Autor

Foram efetuadas as imagens das amostras com ampliações de 25x, 100x, 500x, por um detector de elétrons secundários. As amostras ensaiadas foram fraturadas para um tamanho adequado para que pudessem ser analisadas no MEV, conforme fotografias 20, 21, 22 e 23. As imagens feitas no MEV foram na parte fraturada, bem próximo à superfície do corpo de prova.

Fotografia 21 - Amostra de CP com Silicato de Sódio



Fonte: Autor

Fotografia 20 - Amostra de CP com Silicato de Lítio



Fonte: Autor

Fotografia 22 - Amostra de CP com Silicato de Sódio/Lítio



Fonte: Autor

Fotografia 23 - Amostra de CP sem adição



Fonte: Autor

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Ensaio de resistência a compressão

Ao se analisar os resultados do ensaio de resistência a compressão, apresentados na tabela 7, observou-se uma dispersão homogênea, fator que é corroborado pelo coeficiente de variação (CV) obtido através do desvio padrão. O CV considera que uma amostra homogênea tem um CV de até 20%, e acima de 20% é considerada uma amostra heterogênea. No caso das amostras deste trabalho, foi obtido na amostra NA, CV= 10,5%, na amostra LI, CV= 11,1%, na amostra NL, CV= 9,8% e na amostra CO, CV= 12,1%. Ao se colocar em ordem, da menor para maior, obtemos a sequência, $NL < NA < LI < CO$. Em resumo, pode-se dizer que a amostra que obteve menor dispersão, foi a amostra do endurecedor de superfície de silicato de sódio/lítio (NL), com 9,8%. Esse fato demonstra que a adição do produto, proporciona, além de aumento de resistência, proporciona também uma melhor homogeneidade na massa de concreto.

Tabela 6 - Ensaio de resistência à compressão

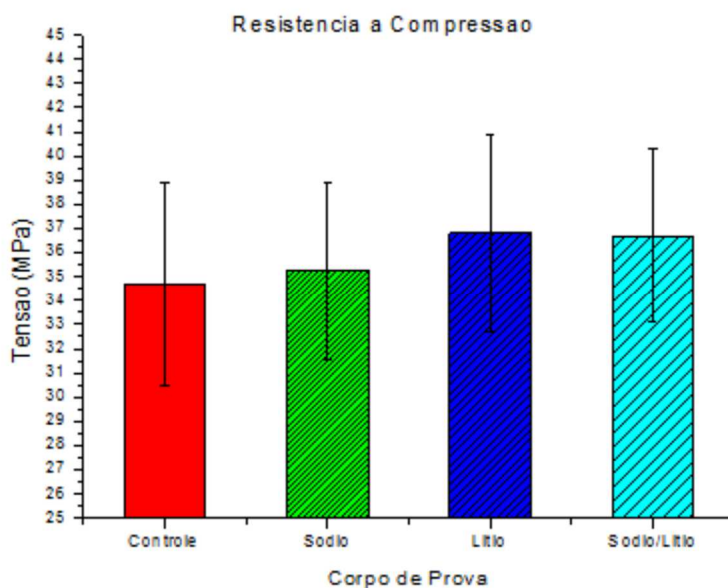
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
Corpo de prova Cilíndrico 10 x 20		Idade:	> 28 dias
Corpo de Prova		Tensão (MPa)	Desvio Padrão
NA (Sódio)	1	33,83	3,69
	2	35,46	
	3	35,24	
	4	33,51	
	5	38,17	
	Média	35,24	
		Tensão (MPa)	Desvio Padrão
LI (Lítio)	1	35,04	4,10
	2	38,13	
	3	36,48	
	4	34,77	
	5	39,58	
	Média	36,80	
		Tensão (MPa)	Desvio Padrão
NL (Sódio/Lítio)	1	37,63	3,59
	2	35,12	
	3	34,64	
	4	37,18	
	5	38,94	
	Média	36,70	
		Tensão (MPa)	Desvio Padrão
CO (Controle)	1	35,33	4,19
	2	33,08	
	3	33,45	
	4	38,1	
	5	33,5	
	Média	34,69	

Fonte: Autor

É de conhecimento que uma massa de concreto, com o mesmo traço, tem resistências diferentes ao longo de sua extensão, pelo fato de o concreto ser um material compósito e sua composição variar de um ponto para o outro, como por exemplo, num trecho do concreto ter menor quantidade de brita, o que reduz significativamente a resistência a compressão deste trecho. Com base no contexto de densificação do concreto produzida pela adição de silicatos, pode ser observado que essa característica produz resultados que se traduzem não só no aumento de resistência a compressão, como também na diminuição da variação das resistências entre os corpos de prova com mesma adição, o que diminui os defeitos na microestrutura do concreto, conferindo-lhe uma microestrutura mais densa, melhorando a característica de resistência a compressão e tornando a massa de concreto mais uniforme, reduzindo as variações ao longo de sua extensão.

Também pôde ser observado que de acordo com a adição de produto nos CP's, houve um aumento de resistência a compressão, o gráfico 2 exemplifica bem esta constatação demonstrando que a média das resistências da maior para menor ficaram, $CO < NA < NL < LI$. Esse aumento de resistência pode ser explicado devido ao fato de os silicatos de maneira geral ao reagirem com o cimento Portland e o hidróxido de cálcio, formam cristais de silicato de cálcio hidratado, que preenchem os poros do concreto e densificam sua microestrutura o que acaba por gerar um aumento de resistência a compressão.

Gráfico 2 - Resistências a compressão



No gráfico 2 pode ser observado as diferenças entre as médias das resistências a compressão de acordo com as adições dos produtos, e é constatado que a adição de silicato de lítio (LI) foi o produto que gerou maior incremento de resistência a compressão com média de 36,80 Mpa, seguido da adição de silicato de sódio/lítio (NL) com média de 36,70 Mpa, a frente do silicato de sódio (NA) que ficou com média de 35,24 Mpa, e por fim o sem adição (CO) com média de 34,69 Mpa. Esse resultado mostra que em termos de densificação, o silicato de lítio é o mais eficiente, seguido bem de perto pelo silicato de sódio/lítio. Isso se deve a formação cristalográfica do silicato de lítio, que é bem menor que a forma cristalográfica do silicato de sódio. O tamanho do cristal é característica primordial neste quesito devido ao fato de o cristal menor do silicato de lítio, preenche melhor os poros do concreto do que o cristal formado pelo silicato de sódio, que é maior, não preenchendo tão bem os poros, e consequentemente densificando menos a massa de concreto, o que é traduzido pelas variações de resistências a compressão mostradas no gráfico 2.

6.2 Ensaio de resistência a tração na flexão

O ensaio para determinação da resistência a tração na flexão apresentou os resultados apresentados na tabela 7, onde foram obtidas as dispersões através do desvio padrão, que ficaram na ordem de CV= 15,6% na amostra NA, CV= 26,5% na amostra LI, CV= 39,4% na amostra de NL e CV= 14,8% na amostra CO. Esses resultados demonstraram que, as adições de silicato de lítio e silicato de sódio/lítio, apresentaram resultados heterogêneos de dispersão, pois apresentaram $CV > 20\%$. Acredita-se que, esta dispersão, tenha fundamento, parte na aplicação do produto, que talvez não tenha penetrado como deveria na matriz de concreto em algumas amostras e apresentou resultados com variações acima de 20%. E parte devido a própria matriz de concreto, que, como visto nas dispersões, a amostra CO, apresentou CV= 14,8%, bem próximo ao limite de 20% no qual é considerada uma amostra homogênea.

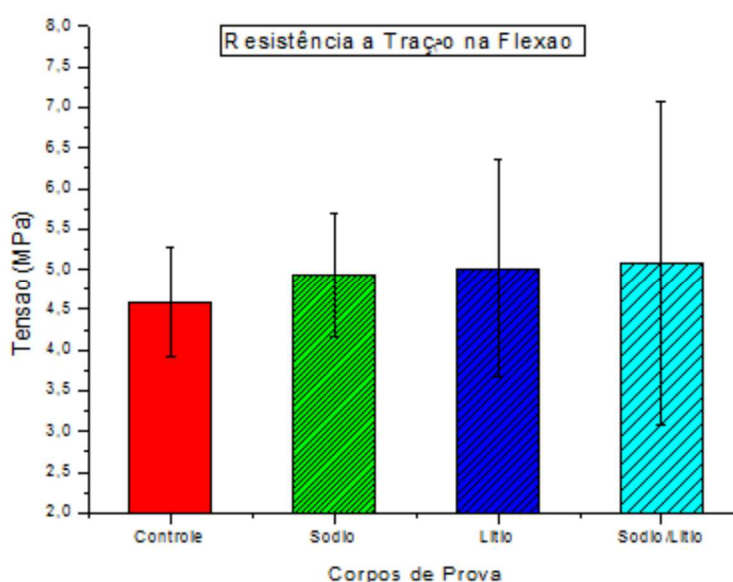
Tabela 7 - Ensaio de resistência a tração na flexão

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO					
Corpo de Prova Prismático 10 x 35				Idade:	> 28 dias
Corpo de Prova		Ruptura (KN)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Desvio Padrão
NA (Sódio)	1	18,45	Meio	4,83	0,77
	2	20,14	Meio	5,37	
	3	17,88	Lado - 96mm	4,41	
	4	19,64	Meio	4,81	
	5	20,21	Meio	5,24	
			Média	4,93	
Corpo de Prova		Ruptura (KN)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Desvio Padrão
LI (Lítio)	1	23,43	Meio	5,91	1,33
	2	19,95	Meio	5,27	
	3	16,16	Meio	4,27	
	4	19,06	Meio	5,18	
	5	17,84	Lado - 95mm	4,43	
			Média	5,01	
Corpo de Prova		Ruptura (KN)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Desvio Padrão
NL (Sódio/Lítio)	1	24,60	Meio	6,51	2,00
	2	18,20	Meio	4,54	
	3	19,01	Lado - 98mm	4,48	
	4	17,00	Meio	4,13	
	5	21,40	Meio	5,71	
			Média	5,08	
Corpo de Prova		Ruptura (KN)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Desvio Padrão
CO (Controle)	1	17,95	Meio	4,52	0,68
	2	18,16	Lado - 95mm	4,35	
	3	22,00	Meio	5,10	
	4	17,16	Meio	4,24	
	5	18,65	Meio	4,75	
			Média	4,59	

Fonte: Autor

Com relação as médias das resistências entre os diferentes produtos aplicados (gráfico 3), observou-se que o produto que obteve melhores resultados, foi o produto a base de silicato de sódio/lítio (NL) desenvolvido neste estudo. Vale ressaltar que, no que tange ao dimensionamento estrutural de um piso de concreto, a característica mais desejável em relação ao concreto, é a resistência a tração na flexão. Isso implica em termos práticos que, a adição do referido produto melhora uma característica de desempenho do concreto que não era esperada, visto que o principal objetivo é a obtenção de aumento de resistência ao desgaste a abrasão.

Gráfico 3 - Resistências a tração na flexão



Fonte: Autor

Em vista do gráfico 3 pode-se concluir ainda que o simples fato de haver a adição de qualquer um dos 3 produtos de silicato, já há uma melhora significativa na resistência a tração na flexão, onde o CP sem adição tem resistência 7% menor que o CP com adição de silicato de sódio, 9% menor que o CP com adição de silicato de lítio e 10% menor que o CP com adição de silicato de sódio/lítio.

6.3 Ensaio de desgaste à abrasão

No ensaio de desgaste a abrasão é possível observar que no percurso de 500 metros (Tabela 8), obtiveram-se resultados médios inferiores para o CP sem adição de produto, ou seja, o CP que menos teve desgaste foi o CP sem adição, resultado controverso para o objetivo do estudo em questão, enquanto todos os outros CP's obtiveram resultados iguais, mas quando olhamos os resultados de cada amostra separadamente, podemos observar que um dos CP's sem adição obteve desgaste com variação muito grande um do outro, mais de 100%, gerando dúvida em relação a estas duas amostras, uma hipótese que pode ser levantada é que a amostra que obteve o valor de desgaste mais baixo, estava com a brita mais aflorada na superfície em que foi testada, situação em que poderia reduzir significativamente o resultado do desgaste da superfície, visto que a dureza da brita é muito maior que a dureza da pasta de cimento que fica na superfície do concreto.

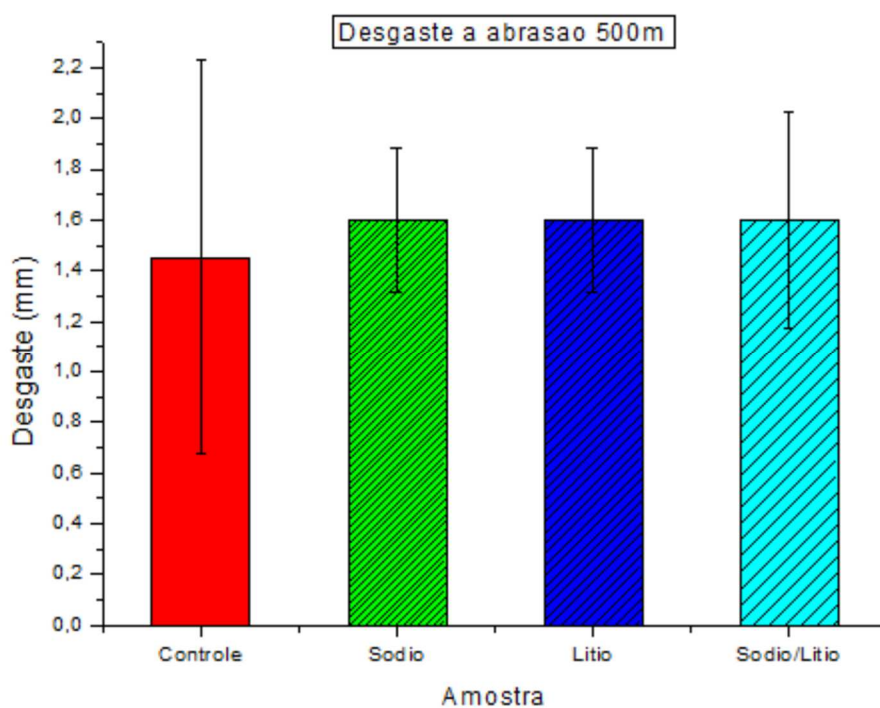
Tabela 8 - Ensaio de desgaste à abrasão

ENSAIO DE DESGASTE À ABRASÃO					
Corpo de prova Prismático 7x7x4 cm			Idade:		> 28 dias
Corpo de Prova		Desgaste 500m (mm)	Desv. Padrão	Desgaste 1000m (mm)	Desv. Padrão
CO (Controle)	1	2,00	0,78	3,20	0,07
	2	0,90		3,10	
	Média	1,45		3,15	
NA (Sódio)	1	1,40	0,28	2,60	0,28
	2	1,80		3,00	
	Média	1,60		2,80	
LI (Lítio)	1	1,40	0,28	2,50	0,14
	2	1,80		2,70	
	Média	1,60		2,60	
NL (Sódio/Lítio)	1	1,90	0,42	2,80	0,07
	2	1,30		2,70	
	Média	1,60		2,75	

Fonte: Concremat

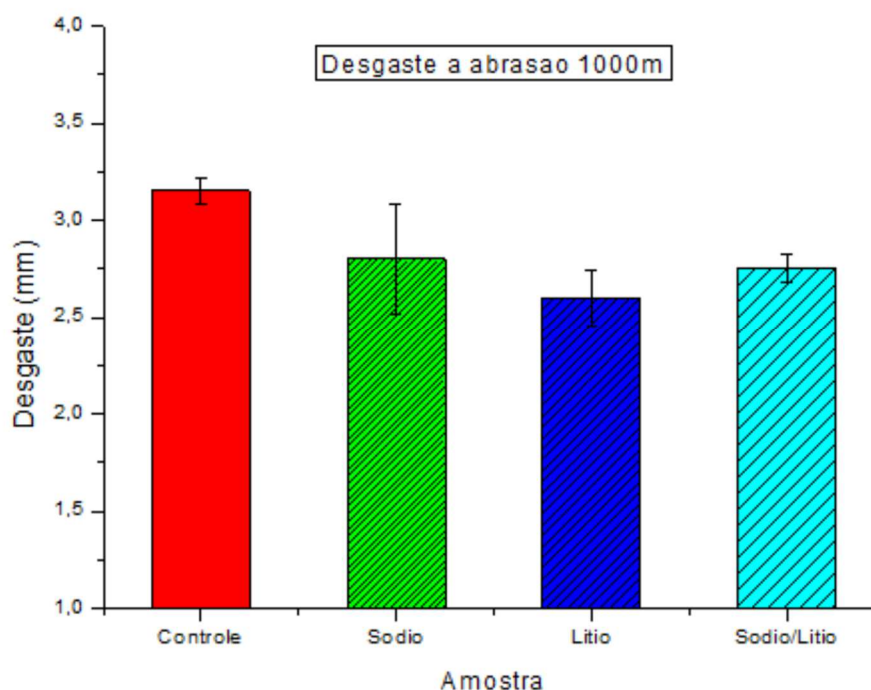
Para a média dos resultados do percurso de 1000 metros, o melhor resultado, ou seja, o que menos houve desgaste, foi o do CP com adição de silicato de lítio, em seguida com o mesmo valor estão os CP's de silicato de sódio e silicato de sódio/lítio, e o CP em que houve maior desgaste foi o CP sem adição de produto, situação que corrobora com a afirmação do estudo proposto e reforça a hipótese levantada anteriormente, em que houve algum fator de distribuição granulométrica das britas que afetou o resultado do percurso de 500 metros.

Gráfico 4 - Desgaste à abrasão no percurso de 500m



Fonte: Autor

Gráfico 5 - Desgaste à abrasão no percurso de 1000m



Fonte: Autor

Outra constatação que pode ser feita a partir do ensaio de desgaste a abrasão (gráficos 4 e 5) é que, inicialmente a diferença entre os resultados das 3 adições de produto não é significativa, pois obtiveram o mesmo resultado, conforme pode ser observado no percurso de 500 metros. Porém, quando se olha o resultado do percurso de 1000 metros, pode ser notada uma diferença de 0,2 milímetros de desgaste do CP com adição de silicato de lítio em relação aos CP's com adição de sódio e sódio/lítio, e ainda uma diferença de 0,5 milímetros do CP com adição de silicato de lítio para o CP sem adição de produto, situação que é de extrema relevância quando se trata de desgaste por abrasão, pois quanto maior é a profundidade do desgaste, mais se acelera o processo de deterioração da camada superficial do concreto, uma vez que a porosidade do concreto aumenta conforme aumenta a distância em relação a superfície do concreto, já que a superfície do concreto é constituída em grande parte por cimento e areia.

6.4 Ensaio de índice de vazios, absorção de água e massa específica

Após os ensaios realizados para determinação do índice de vazios e absorção de água, foi elaborada a tabela 9, demonstrando os pesos, onde MS significa massa seca, MSAT significa massa saturada, e MI significa massa imersa.

Tabela 9 - Pesos dos CP's seco, saturado e saturado imerso

Amostra		Peso MS (g)	Peso MSAT (g)	Peso MI (g)
NA	1	951,37	987,55	422,00
	2	1083,05	1124,67	479,00
LI	1	1024,66	1082,49	457,00
	2	941,84	984,07	434,00
NL	1	1002,04	1046,24	429,00
	2	1034,89	1083,16	430,00
CO	1	998,12	1060,54	425,00
	2	1024,07	1068,38	426,00

Fonte: Autor

A partir dos pesos obtidos na tabela 10, foi calculado a absorção de água conforme recomenda a NBR 9778/1987. A tabela 10 e o gráfico 6, apresentam os resultados da absorção de água e desvio padrão das amostras.

Tabela 10 - Ensaio de absorção de água

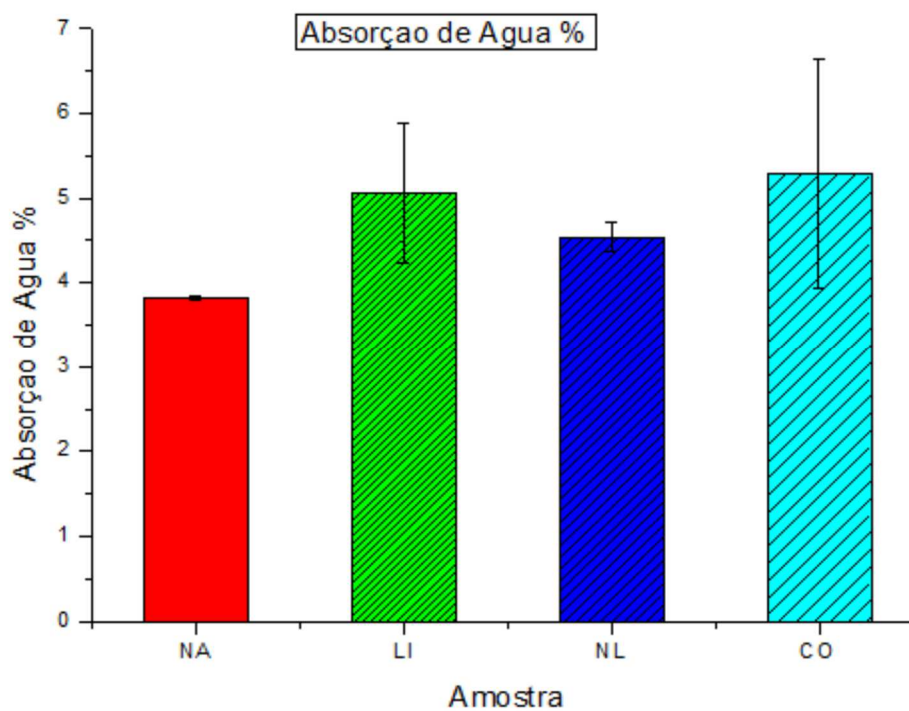
Amostra		Absorção de Água (%)	Desvio Padrão
NA	1	3,80	0,03
	2	3,84	
Média		3,82	
LI	1	5,64	0,82
	2	4,48	
Média		5,06	
NL	1	4,41	0,18
	2	4,66	
Média		4,54	
CO	1	6,25	1,36
	2	4,33	
Média		5,29	

Fonte: Autor

Em análise a tabela 10, é possível determinar que os CP's sem adição de produto foram os que obtiveram maior absorção média de água, com 5,29% da massa seca, com a aplicação dos produtos era esperada considerável redução na absorção de água, visto que ao se preencher os poros do concreto a absorção de água seria muito inferior. O que foi observado neste caso foi, de fato, uma redução na absorção de água, sendo o CP com adição de silicato de sódio sendo o que menos absorveu água, com média de 3,82%, o segundo com menor absorção de água foi o CP com adição de silicato de sódio/lítio com média de 4,54%, e o CP com adição que absorveu mais água foi o CP com adição de silicato de lítio com média de 5,06%. Esses resultados surpreenderam, visto que era esperado que o CP com silicato de lítio tivesse menor absorção de água, uma vez que os cristais do silicato de lítio são menores e preencheriam melhor os poros do concreto. Também pode ser extraído dessa análise que o produto que foi desenvolvido (Silicato de sódio/lítio), obteve melhor resultado que o silicato de lítio, o que demonstra que a redução da absorção de água vem por parte do silicato de sódio, que foi o que obteve melhor resultado, absorvendo 1,24% menos água que o silicato de lítio, 0,72% menos que o silicato de sódio/lítio e 1,47% menos que os CP's sem adição de produto.

Outro ponto que pode ser apresentado para que o silicato de lítio obtivesse maior absorção de água do que as demais amostras, é devido ao fato, do lítio ser mais eletronegativo, “puxando” as moléculas de água para próximo de si, e assim absorvendo maior quantidade de água.

Gráfico 6 - Absorção de Água



Fonte: Autor

A partir dos pesos obtidos na tabela 9, foi calculado o índice de vazios conforme recomenda a NBR 9778/1987. A tabela 11 e o gráfico 7, apresentam os resultados do índice de vazios e desvio padrão das amostras.

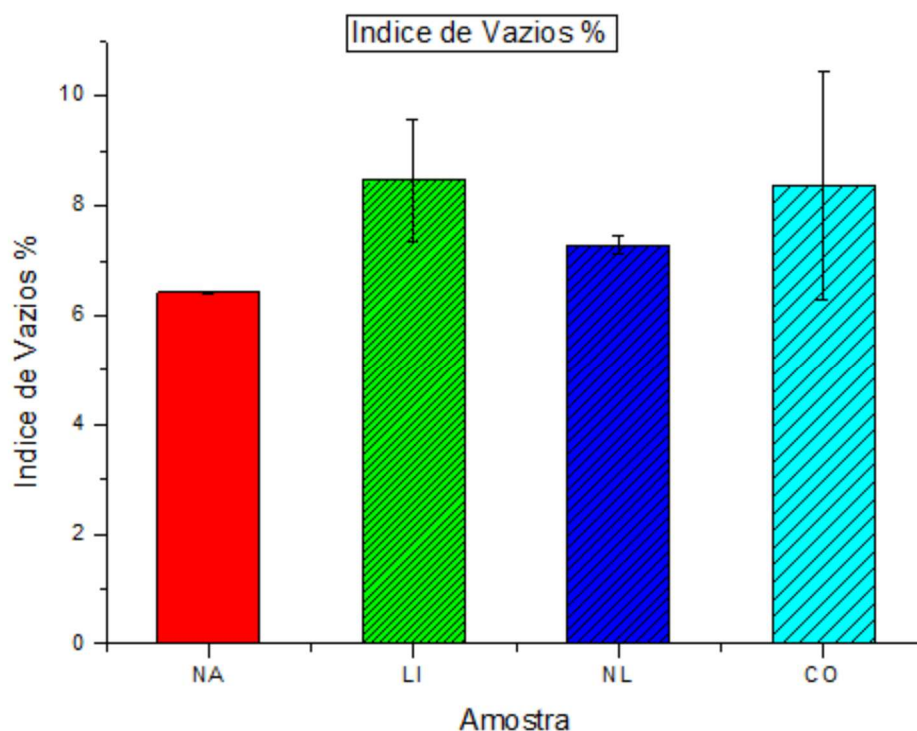
Tabela 11 - Índice de vazios

Amostra		Índice de Vazios (%)	Desvio Padrão
NA	1	6,40	0,03
	2	6,45	
Média		6,42	
LI	1	9,25	1,11
	2	7,68	
Média		8,46	
NL	1	7,16	0,16
	2	7,39	
Média		7,28	
CO	1	9,82	2,07
	2	6,90	
Média		8,36	

Fonte: Autor

Era esperado que os resultados do índice de vazios fossem de encontro a essa mesma linha de raciocínio da absorção de água, já que a água absorvida pelo corpo de prova ocupa o espaço dos vazios do concreto. Porém, houve também uma situação inusitada, o índice de vazios médio do CP com adição de silicato de lítio foi o maior com 8,46% de vazios, em segundo lugar ficou o CP sem adição de produto com 8,36% de vazios, em terceiro lugar ficou o CP com adição de silicato de sódio/lítio com 7,28% de vazios e por último e com melhor resultado o CP com adição de silicato de sódio com 6,42% de vazios. Na pesquisa de Jiang (2015), o índice de vazios para o silicato de sódio foi maior em relação ao obtido no presente trabalho. O que pode ser notado é que o resultado do CP com silicato de lítio, e o resultado do CP sem adição, não ficou coerente em relação aos resultados da absorção de água, o que pode ser explicado pelos seguintes fatores: 1º o silicato se cristaliza na superfície do CP, não penetrando muito na estrutura do concreto e proporcionando menor percentual de densificação da superfície do concreto; 2º por conta do concreto ser um material compósito, e sua composição poder variar muito, até mesmo de amostras retiradas de um mesmo traço de concreto, pode ter havido uma maior quantidade de poros no CP que foi aplicado o silicato de lítio e dessa maneira gerando um desvio no resultado do ensaio. Com essas observações, não é conclusivo dizer que o CP aplicado com silicato de lítio pode ter menor índice de vazios do que o CP que não foi aplicado o produto, devido ao fato de sua aplicação, mas sim devido à condição do concreto como compósito ter grande variação de porosidade.

Gráfico 7 - Índice de Vazios



Fonte: Autor

Em uma análise geral dos resultados obtidos, pode ser observado que o produto desenvolvido (sódio/lítio) apresentou bons resultados em todos os testes, ficando sempre entre 1º e 2º lugar. Enquanto o silicato de lítio obteve bons resultados nos ensaios mecânicos, porém no quesito índice de vazios e absorção de água ocupou as duas últimas colocações. E o silicato de sódio obteve bons resultados nos ensaios de índice de vazios e absorção de água, conforme tabela 12.

Tabela 12 - Ranking dos ensaios

Ensaio					
Ranking	Compressão	Tração na Flexão	Abrasão	Índice de Vazios	Absorção de Água
1º	Lítio	Sódio/Lítio	Lítio	Sódio	Sódio
2º	Sódio/Lítio	Lítio	Sódio/Lítio	Sódio/Lítio	Sódio/Lítio
3º	Sódio	Sódio	Sódio	Sem Adição	Lítio
4º	Sem Adição	Sem Adição	Sem Adição	Lítio	Sem Adição

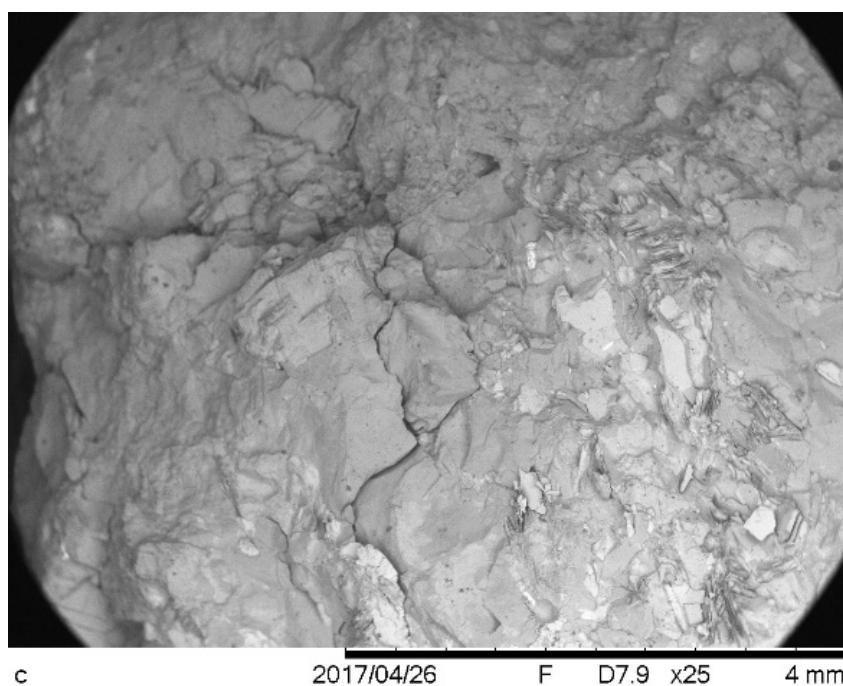
Fonte: Autor

6.5 MEV

As imagens do MEV foram realizadas nas ampliações de 25x, 100x, 500x, sem adição de produto para controle, conforme mostram as figuras 10, 11, 12.

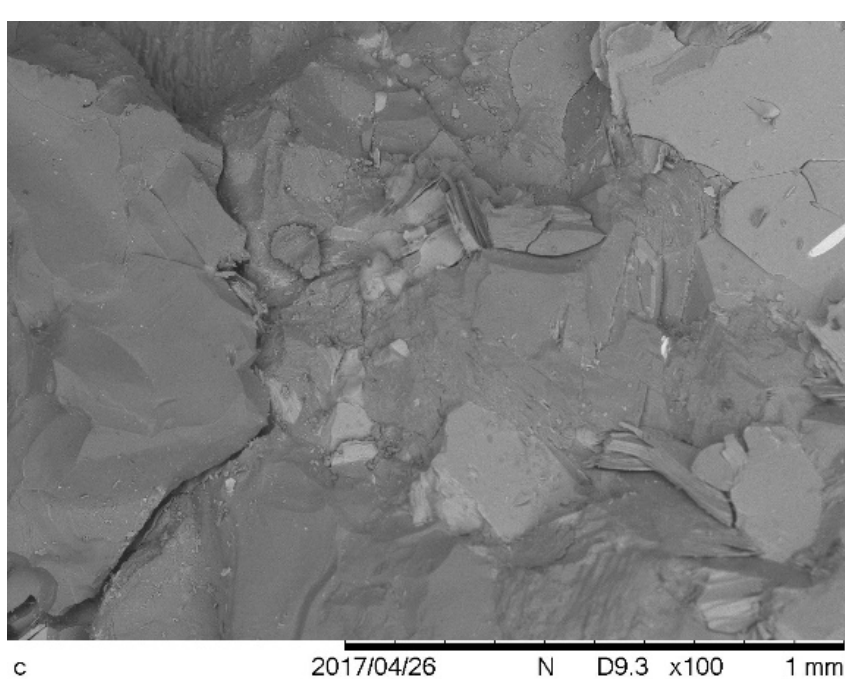
Nas imagens de MEV da amostra sem adição pode ser observado uma separação entre a brita, a areia e a pasta de cimento, onde a areia e a brita tem cores mais claras e a pasta de cimento aparece uma cor mais escura. Também pode ser notado que a pasta de cimento apresenta neste caso as ranhuras como se fossem fibras.

Figura 10 - Ampliação de 25x da amostra controle



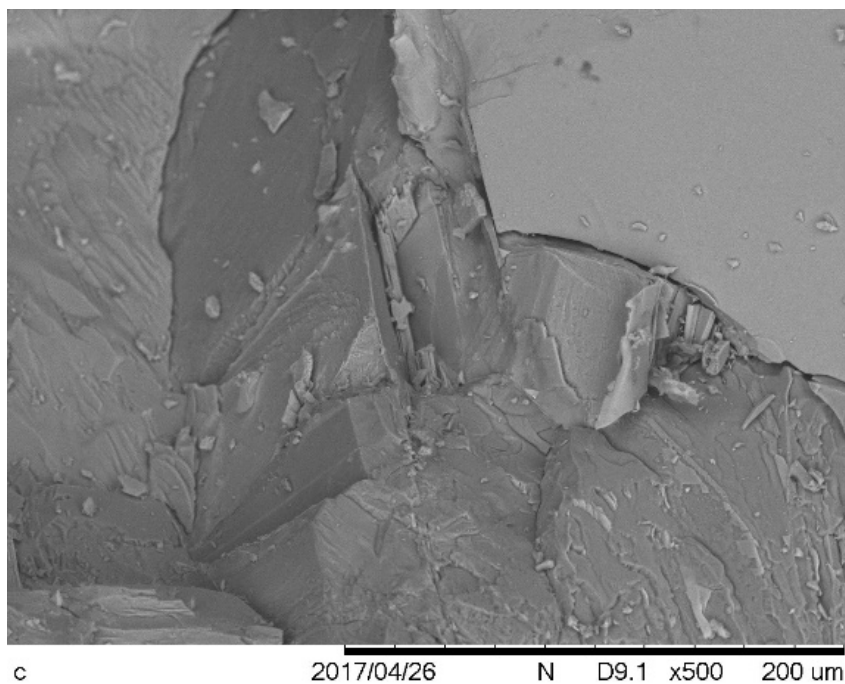
Fonte: Autor

Figura 11 - Ampliação de 100x da amostra controle



Fonte: Autor

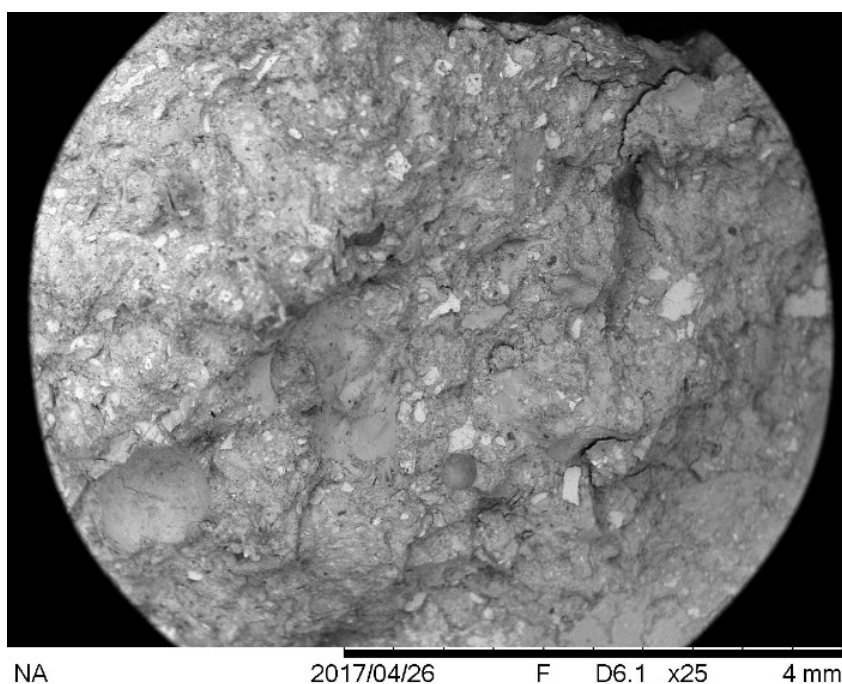
Figura 12 - Ampliação de 500x da amostra controle



Fonte: Autor

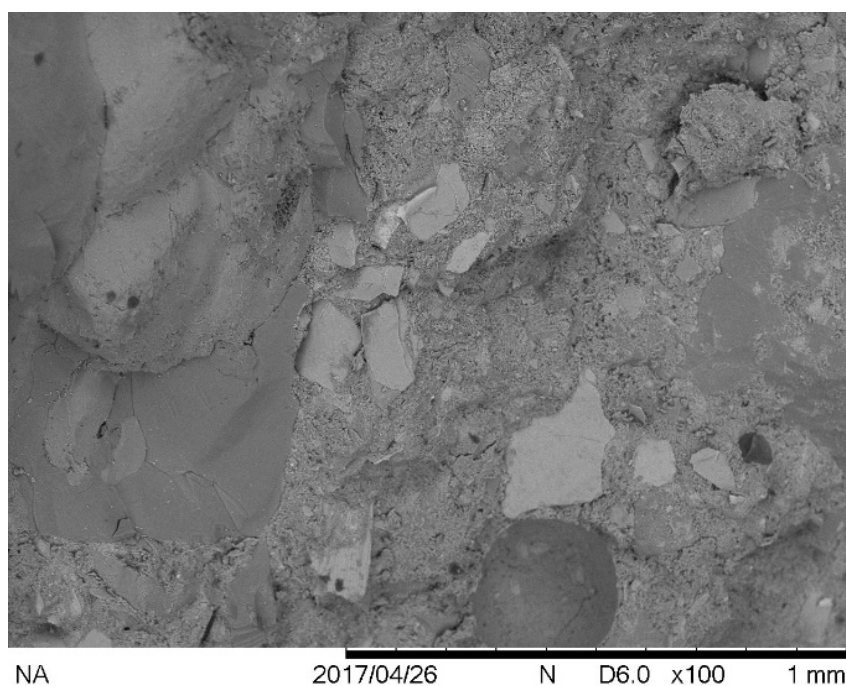
As imagens do MEV com aplicação de silicato de sódio, foram realizadas nas ampliações de 25x, 100x, 500x, conforme mostram as figuras 13, 14, 15. Nestas imagens da amostra com aplicação de silicato de sódio apresentam os agregados da mesma maneira que as amostras sem adição, porém é notado um aspecto diferente na pasta de cimento, que, ao invés de apresentar um aspecto com fibras alinhadas, apresenta um aspecto mais rugoso, o que é proveniente da ação do silicato de sódio, ao reagir com a pasta de cimento. Acredita-se que este aspecto seja decorrente da cristalização ocorrida entre o silicato de sódio e o carbonato de cálcio, o que é corroborado pelos trabalhos de Song (2016) e Pan (2017), onde também foi verificado aspecto semelhante.

Figura 13 - Ampliação de 25x da amostra com silicato de sódio



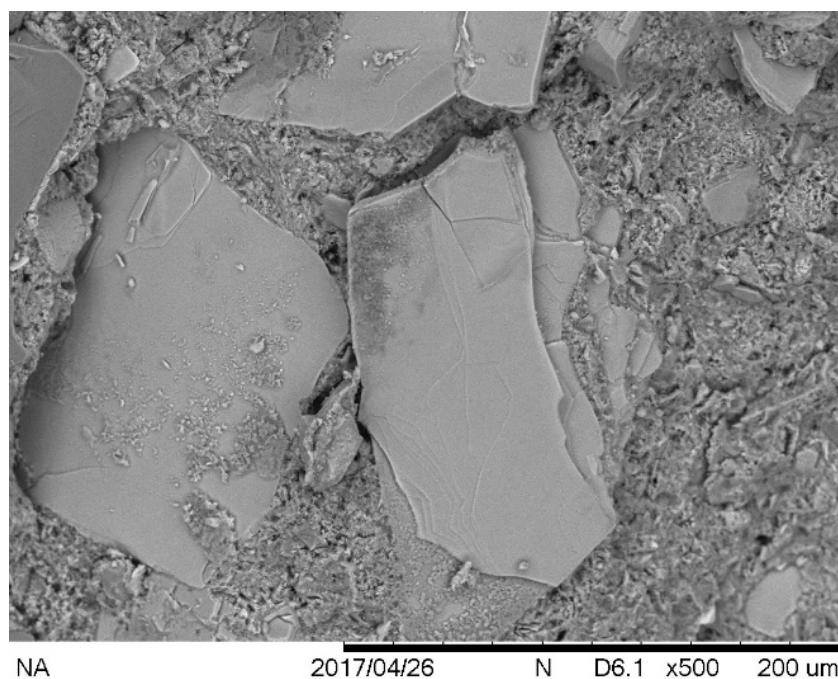
Fonte: Autor

Figura 14 - Ampliação de 100x da amostra com silicato de sódio



Fonte: Autor

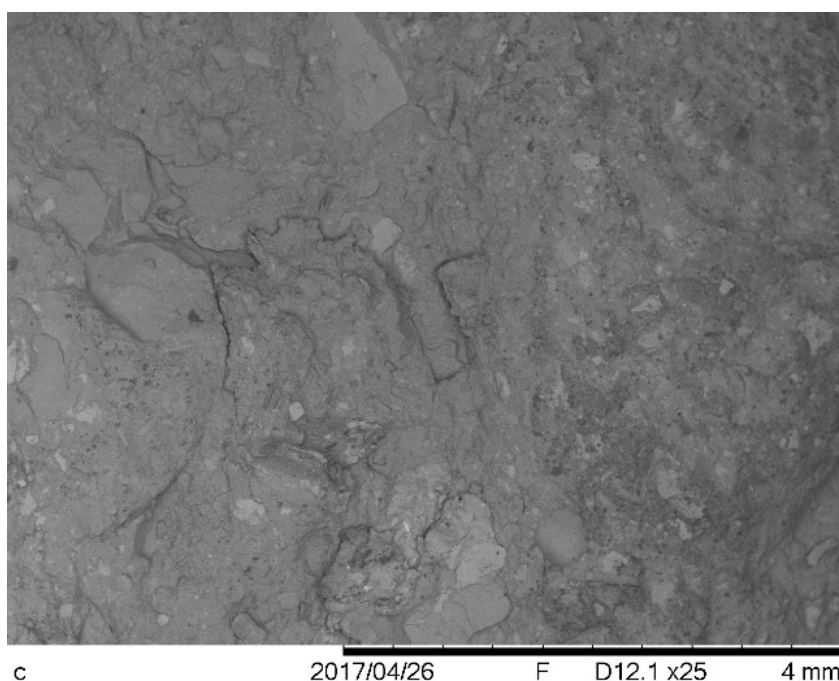
Figura 15 - Ampliação de 500x da amostra com silicato de sódio



Fonte: Autor

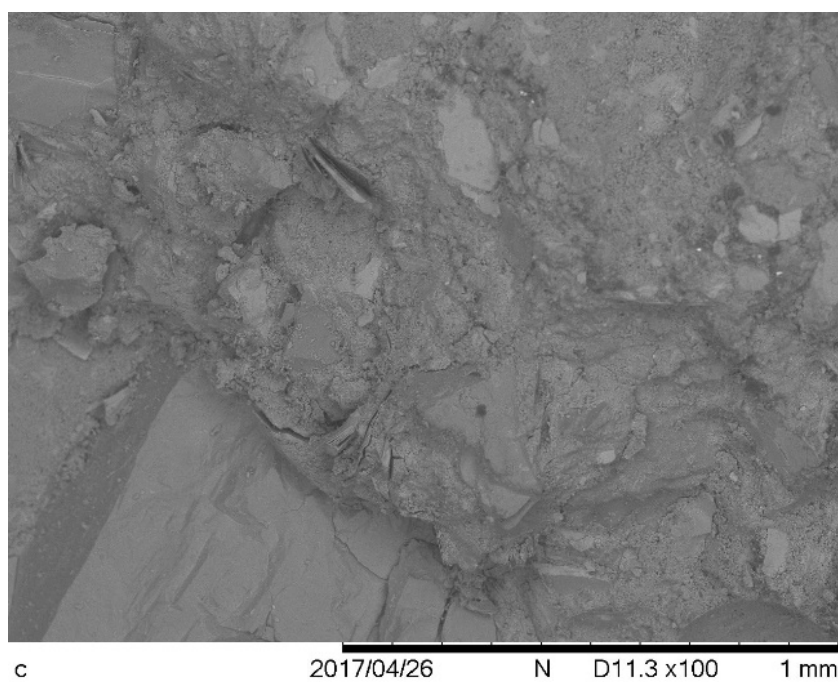
As imagens do MEV com aplicação de silicato de lítio, foram realizadas nas ampliações de 25x, 100x, 500x, conforme mostram as figuras 16, 17, 18. Nas imagens com aplicação do silicato de lítio, podemos ver que da mesma maneira ocorreu um aspecto rugoso na pasta de cimento devido à cristalização entre o silicato de lítio e o carbonato de cálcio, porém nota-se que a rugosidade nestas imagens é um pouco menor. Esta observação é devida ao fato de os cristais do silicato de lítio, serem menores do que os cristais formados pelo silicato de sódio, apresentando assim um aspecto menos rugoso.

Figura 16 - Ampliação de 25x da amostra com silicato de lítio



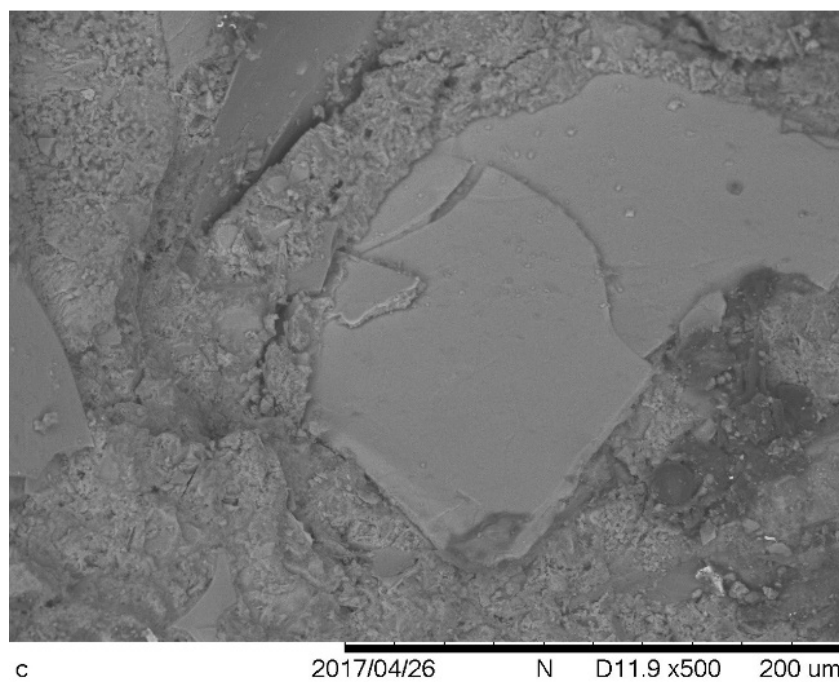
Fonte: Autor

Figura 17 - Ampliação de 100x da amostra com silicato de lítio



Fonte: Autor

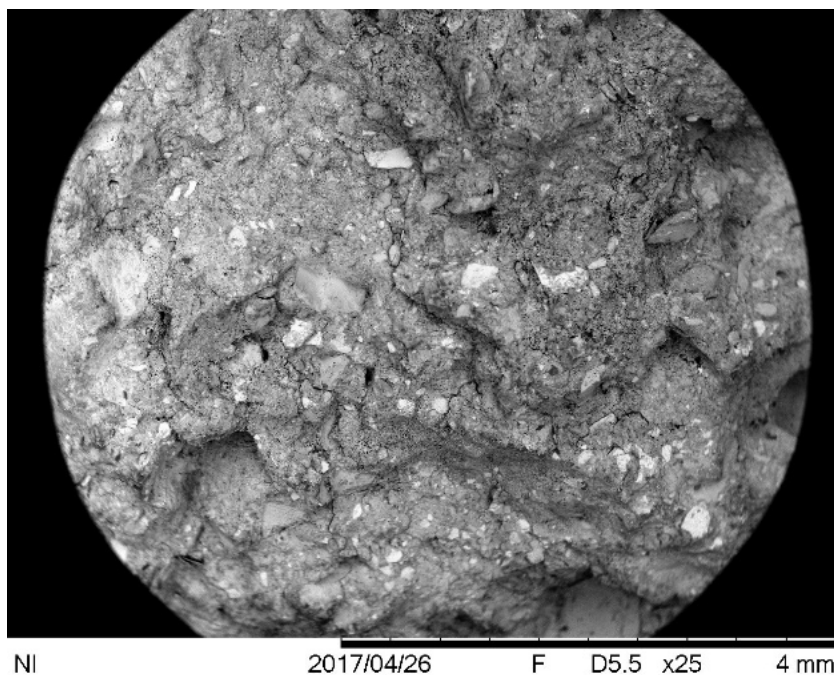
Figura 18 - Ampliação de 500x da amostra com silicato de lítio



Fonte: Autor

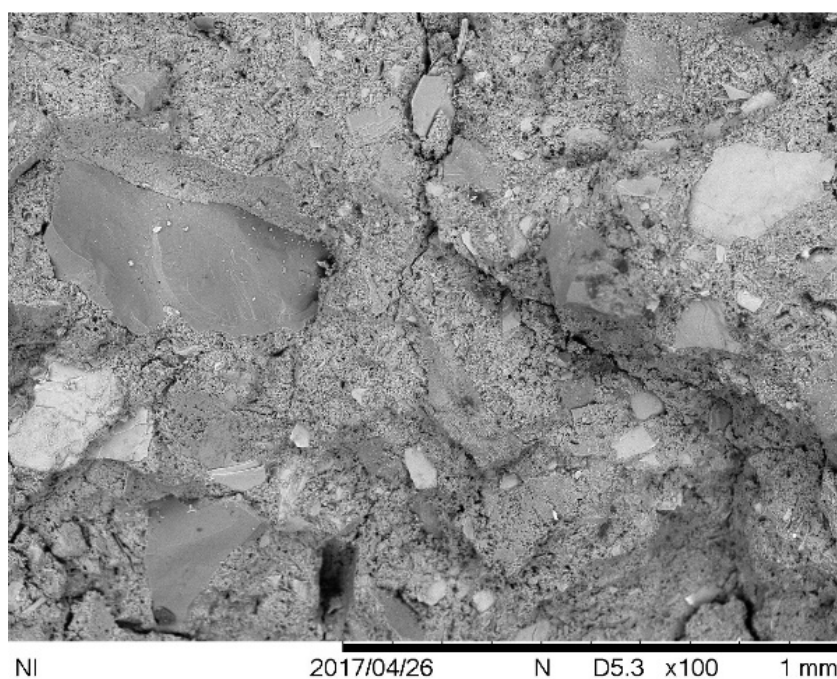
As imagens do MEV com aplicação de silicato de sódio/lítio, foram realizadas nas ampliações de 25x, 100x, 500x, conforme mostram as figuras 19, 20, 21. Ao se observar as imagens feitas na amostra com aplicação do silicato de sódio/lítio, observou-se uma rugosidade da pasta de cimento maior do que a do silicato de sódio e também do silicato de lítio. Neste caso, acredita-se ter havido uma cristalização mais intensa da pasta de cimento, fazendo-se uma analogia baseada simplesmente na rugosidade apresentada nas imagens obtidas no MEV. De qualquer maneira a partir destas imagens é possível determinar, que existe de fato uma reação ao se aplicar qualquer um dos três produtos testados, e cada um deles reage de maneira semelhante em contato com a pasta de cimento, porém com resultados diferentes para cada um deles, como foi apresentado nos ensaios mecânicos realizados.

Figura 19 - Ampliação de 25x da amostra com silicato de sódio/lítio



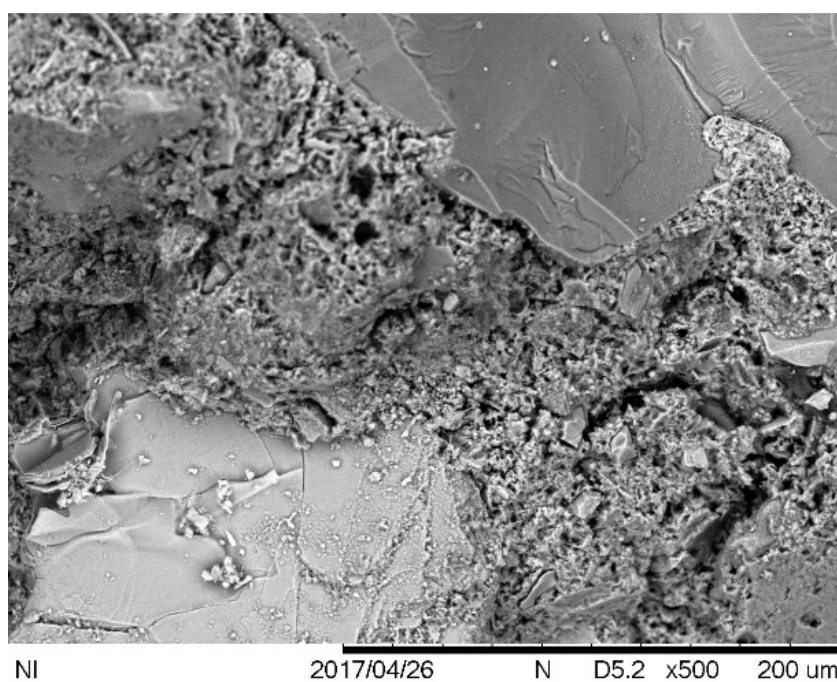
Fonte: Autor

Figura 20 - Ampliação de 100x da amostra com silicato de sódio/lítio



Fonte: Autor

Figura 21 - Ampliação de 500x da amostra com silicato de sódio/lítio



Fonte: Autor

7 CONCLUSÕES

Em observação aos resultados gerados pelos ensaios, é notada real alteração entre os corpos de prova com adição de produto e o corpo de prova sem adição de produto, em especial no que diz respeito ao ensaio de resistência a compressão que apesar de apresentar resultados um pouco dispersos, quando se avalia a média das resistências há um incremento de até 6% na resistência a compressão nos CP's com adição de silicato de lítio. Dos corpos de prova em que foram aplicados os produtos, pode se destacar os CP's com adição de silicato de sódio/lítio e silicato de lítio, que obtiveram resultado com maior eficácia, ficando com resistências a compressão de 36,70 MPa e 36,80 MPa, respectivamente.

O mesmo pode ser dito do ensaio de resistência a tração na flexão, que também obteve resistências superiores na ordem de 10,7%, em relação aos corpos de prova sem adição de produto. Porém, neste caso houve uma pequena diferença, no ensaio de resistência a compressão o produto que apresentou melhor resultado foi o silicato de lítio, já no ensaio de resistência a tração na flexão, o produto com melhor resultado foi o silicato de sódio/lítio, isso quando observadas as médias de suas resistências.

No ensaio de desgaste a abrasão, que é o principal aspecto do produto desenvolvido, no percurso de 500 metros o resultado do desgaste não houve variação significativa, mas já no resultado do percurso de 1000 metros, houve variação dos CP's sem adição e os CP's com adição de silicato de sódio/lítio de 0,3 milímetros, resultado que parece pouco, mas que representa acréscimo de 10,7% em entre o CP sem adição e o CP com adição do silicato de sódio/lítio. O produto que apresentou melhor resultado foi o silicato de lítio, com resultado de 2,6 milímetros de desgaste, isso traduz um resultado de 19,2% de resistência ao desgaste em relação ao CP sem adição, com resultado de 3,1 milímetros de desgaste.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros seria interessante avaliar outras possíveis proporções dos mesmos produtos analisados neste trabalho, para que seja avaliado outros resultados. Tomando como base os resultados alcançados e aproveitando os melhores desempenhos de cada produto, almejando atingir um resultado semelhante ou superior apresentado neste trabalho, com uma composição de 30% de silicato de lítio e 70% de silicato de sódio.

No mercado existem alguns outros tipos de endurecedores de superfície e poderiam ser testados outras possibilidades com a interação destes a fim de se obter quem sabe um novo produto com melhor desempenho.

Entre os produtos disponíveis no mercado hoje está o endurecedor de superfície à base de Fluorsilicato de Magnésio, e pouco se estudou sobre este composto quando aplicado aos pavimentos e submetidos a abrasão.

Poderiam ser testados o Fluorsilicato de Magnésio com o silicato de sódio, também com uma porcentagem de 30% de Fluorsilicato de Magnésio e 70% de silicato de sódio, devido ao fato de tornar o endurecedor de superfície economicamente mais acessível, porém almejando resultados melhores do que o apresentado na aplicação do silicato de sódio puro.

9 REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS : NBR 11801: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS : NBR 12042: Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR12655: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5738: Moldagem e Cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5739: Concreto -Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7211: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR9778: Absorção de Água por Índice de Vazios. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM67: Ensaio de Abatimento do Concreto. Rio de Janeiro - 2003.

AGUIAR, BARROSO ; CAMÕES, AIRES ; FANGUEIRO, RAUL ; EIRES, RUTE ; KHERADMAND, MOHAMMAD - Materiais de Construção Sustentáveis Volume 2 – ISSN 2183 - 1986 - Universidade do Minho, 2014.

Balbo, José Tadeu – Pavimentos de concreto / José Tadeu Balbo. – São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BOTELHO, M.; Marchetti, O. Livro de Concreto: Concreto Eu Te Amo. 7ª ed., São Paulo: Editora Blucher Ltda., 2012, 726p.

CALLISTER JR, W. D. Ciência e engenharia de materiais. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007.

DNER, BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Manual de pavimentação. - 2 ed. -Rio de Janeiro, 1996.

JIANG, LIHONG; XUE, XIAO; ZHANG, WEIDONG ZHANG; YANG, JINGNA; ZHANG, HONGQIANG, et al, The investigation of factors affecting the water impermeability of inorganic sodium silicate-based concrete sealers, Construction and Building Materials, 93, p. 729-736, 2015.

MULLER, LEONARDO – Manifestações patológicas em pisos de concreto: Avaliação em garagens de edifícios residenciais da Grande Florianópolis / Leonardo Muller; orientador, Wellington Longuini Repette – Florianópolis, SC, 2014.

PAN, XIAOYING; SHI, ZHENGUO; SHI, CAIJUN; LING, TUNG-CHAI; LI, NING, A review on surface treatment for concrete – Part 2: Performance, Construction and Building Materials, 133, p. 81-90, 2017.

PAN, XIAOYING; SHI, ZHENGUO; SHI, CAIJUN; LING, TUNG-CHAI; LI, NING, A review on surface treatment Part I: Types and mechanisms, Construction and Building Materials, 132, p. 578-590, 2017.

Rodrigues, Públio Penna Firme – Manual de pisos industriais: fibras de aço e protendido / Públio Penna Firme Rodrigues. – São Paulo: Pini, 2010.

Rodrigues, Públio Penna Firme – Manual Gerdau de pisos industriais / Públio Penna Firme Rodrigues, Silvia Maria Botacini, Wagner Edson Gaspareto. – São Paulo: Pini, 2006.

Rodrigues, Públio Penna Firme – Parâmetros de dosagem do concreto. 2 edição, Associação brasileira de cimento Portland – São Paulo: 1995.

Senço, Wlastermiller de, 1929 – Manual de técnicas de pavimentação: volume 1/ Wlastermiller de Senço. – 2 de. Ampl. – São Paulo: Pini, 2007.

SILICATOS – SILVA, ANDRÉ LUIS SILVA DA Link:
<http://www.infoescola.com/quimica/silicatos/> - Acessado em: 09/10/2016 – 6:30

SILVA, CRISTINA VITORINO DA – Contribuição ao estudo do desgaste superficial por abrasão em concretos empregados em pisos – Cristina Vitorino da Silva, 2011.

SILVA, CRISTINA VITORINO DA - Estudo da influência das propriedades relacionadas à superfície e à matriz na resistência à abrasão de concretos para pisos / Cristina Vitorino Silva, 2015.

SMITH, F. L. Effects of various surface treatment using magnesium and zinc fluorsilicate crystals on abrasion resistance of concrete surfaces. Concrete laboratory report C-819. Bureau of reclamation, 1956.

SONG, ZHONGNAN; XUE, XIAO; LI, YANWEN; YANG, JINGNA; HE, ZHONGYU, et al, Experimental exploration of the waterproofing mechanism of inorganic sodium silicate-based concrete sealers, Construction and Building Materials, 104, p. 276-283, 2016.

VIECILI, FÁBIO ANDRÉ; CREMONINI, RUY ALBERTO - Influência da utilização dos endurecedores de superfície na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto - Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto, 2010.