ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ENDURECEDORES LÍQUIDO E CIMENTÍCIO NA DUREZA SUPERFICIAL DE CONCRETOS PARA PISOS

F. PADILHA
Bolsista de Iniciação Científica
URI – Campus de Erechim
Erechim/RS; Brasil
francine.padilha1609@gmail.com

C. V. SILVA
Professora Doutora
URI – Campus de Erechim
Erechim/RS; Brasil
cristina@uricer.edu.br

B. SCHIMELFENIG
Bolsista de Iniciação Científica
URI – Campus de Erechim
Erechim/RS; Brasil
beatrizschimelfenig@gmail.com

RESUMO

As patologias manifestadas nos pisos de concreto, são resultados, muitas vezes, da escassez de conhecimento técnico para a elaboração dos mesmos. O estudo sobre os materiais e a dosagem dos pisos é de suma importância para obter-se um produto de total desempenho. Diante disto, o desenvolvimento de estudos que buscam avaliar a influência do proporcionamento e tipo de alguns materiais que constituem o traço de concreto e o acabamento superficial comumente empregado em pisos, frente às propriedades mecânicas e à dureza superficial, é considerado extremamente relevante. Para tanto, este estudo irá avaliar alguns fatores como a relação água/cimento (0,40; 0,50; 0,60), o emprego de endurecedor superficial (cimentício e líquido) e dois tipos de cimento (CP V-ARI e CP II-Z). Foram realizados ensaios de resistência à compressão uniaxial, resistência à tração na flexão, exsudação e dureza superficial por esclerometria e os resultados indicam, como esperado, que as maiores relações a/c resultam em um concreto mais fraco. Os compósitos que apresentaram melhor desempenho, em todos os parâmetros avaliados, foram as misturas com o cimento CP V-ARI e com as menores relação a/c. Segundo os resultados da dureza superficial, o uso dos endurecedores superficiais, cimentício e líquido, tendem a aumentar a resistência superficial dos compósitos, diminuindo assim, as chances de ocorrerem manifestações patológicas nessas estruturas. Entretanto, o endurecedor cimentício mostrou-se ser mais eficaz que o endurecedor líquido.
Palavras-chave: Patologias. Dureza Superficial. Endurecedor Superficial.

ABSTRACT

The pathologies manifested in concrete floors are often the result of a lack of technical knowledge for the elaboration of the same. The study of materials and the dosage of floors is of paramount importance in order to obtain a product of total performance. In the light of this, the development of studies that seek to evaluate the influence of the proportion and type of some materials that constitute the concrete trait and the surface finish commonly used on floors, against the mechanical properties and surface hardness, is considered extremely relevant. This study will evaluate some factors such as water/binder ratio (0.40, 0.50, 0.60), the use of surface hardener (cement and liquid hardener) and two different types of cement (CP V- ARI and CP II-Z). Uniaxial compression strength, flexural tensile strength, exudation, and surface hardness were evaluated by sclerometry and the results indicate, as expected, that the higher water/binder ratios result in a weaker concrete. The composites presented the best performance in all the evaluated parameters, were the mixtures with the cement CP V-ARI and with the lowest water/binder ratio. According to the results of surface hardness, use of surface hardeners, cement and liquid hardeners tend to increase the surface resistance of the composites, thus reducing the chances of pathological manifestations in these structures. However, the cementitious hardener proved to be more effective than the liquid hardener.
Keywords: Pathologies. Surface Hardness. Surface Hardener.

1. INTRODUÇÃO

Por ser o concreto um material altamente empregado pela indústria da construção civil, é de suma importância realizar novas pesquisas tecnológicas no intuito de buscar diretrizes seguras para o emprego e aproveitamento com qualidade deste material cimentício. Como consequência da elevada empregabilidade, o concreto pode enfrentar diferentes condições de utilização, sendo estas responsáveis por mudanças relacionadas à composição e proporcionamento dos materiais que o compõem. Cabe salientar que a dosagem inadequada dos constituintes de um concreto frente aos mecanismos de degradação pode ocasionar o aparecimento de manifestações patológicas, prejudicando a durabilidade e reduzindo a vida útil das estruturas.

Quando a aplicação se refere a pisos de concreto, devem ser consideradas algumas propriedades, como a dureza superficial e as propriedades mecânicas. Entretanto, tais propriedades acabam muitas vezes comprometidas, principalmente, em decorrência de problemas vinculados ao projeto, à execução e à dosagem do concreto destas estruturas. Em virtude do exposto, podem ocorrer manifestações indesejáveis, dentre as quais encontram-se o desgaste superficial por abrasão e fissuração do compósito (SILVA, 2011).

Segundo Senisse (2010), no ano de 2008, dos 35 milhões de m² de pisos e pavimentos de concreto produzidos no Brasil, em torno de 22,5 milhões de m² apresentaram alguma manifestação patológica vinculada a falhas, tanto no projeto de pisos como na execução destes. Portanto, aproximadamente 65% dos pisos e pavimentos de concreto produzidos em 2008 apresentaram algum tipo de manifestação patológica.

Segundo o manual americano ACI 302.1R (ACI, 2004), direcionado para pisos de concreto, geralmente uma manifestação patológica não está relacionada a um único fator, mas sim a diversos fatores, que podem influenciar no desenvolvimento de uma imperfeição, como condições de cura, fatores meteorológicos e propriedades dos materiais utilizados.

Segundo Almeida (2000), a resistência dos concretos ao desgaste por abrasão é regida por vários fatores, tais como a natureza do aglomerante, a relação água/aglomerante, as características do agregado graúdo, dosagem e aderência entre os agregados e a pasta de cimento. Interferem também as características do concreto no estado fresco (segregação, exsudação, trabalhabilidade e teor de ar incorporado), a compactação, a cura e o acabamento e tratamento superficial.

Considerando que o aspecto estrutural do dimensionamento de pisos não é tão problemático como o desempenho superficial, este estudo tem como objetivo principal buscar uma melhoria na qualidade dos compósitos e na dureza superficial a fim de minimizar a tendência do aparecimento de manifestações patológicas, como o desgaste por abrasão. Por conseguinte, avaliar a influência do uso de tratamentos superficiais com endurecedores e a influência de diferentes relações água/cimento (a/c), frente a ensaios mecânicos e de dureza superficial. Para isso, serão avaliados dois tipos de endurecedores superficiais (líquido; cimentício) e três relações água/cimento (0,40; 0,50; 0,60) em concretos produzidos com CP V-ARI e CP II-Z.

2. METODOLOGIA

A escolha dos cimentos dos tipos CP II-Z e CP V-ARI baseou-se em alguns fatos preponderantes. Primeiramente, questões relacionadas com especificações de projeto de pisos de concreto, disponibilidade destes materiais no mercado cimenteiro da região e sua grande empregabilidade em obras de construção deixam evidente a necessidade de obtenção de um maior conhecimento científico relacionado com estes cimentos por parte do meio técnico. Conjuntamente a estes fatos, a composição química dos cimentos foi considerada extremamente relevante. Procurou-se escolher cimentos com características químicas, físicas e mecânicas diferenciadas. Assim, optou-se em estudar o cimento do tipo CP V-ARI, o qual apresenta o menor teor de adições minerais e a capacidade de atingir alta resistência inicial; e o cimento do tipo CP II-Z, o qual apresenta teores elevados de materiais pozolânicos e aumento do ganho de resistência à compressão em idades avançadas.

Quanto ao fator de controle água/cimento, sabe-se que 0,50 é uma relação comumente utilizada em especificações de projetos de pisos de concreto. Por isso, julgou-se interessante avaliar este parâmetro utilizando um intervalo, no qual o valor especificado em projeto estivesse contido, sendo este o valor intermediário, os demais valores foram definidos como 0,40 e 0,60.

Com relação à aplicação de endurecedores superficiais, existem alguns estudos (VIECILI, 2004; GARCÍA, FRESNO, POLANCO, 2008) que mencionam que a utilização de tais materiais promove melhoras significativas na qualidade da superfície dos compósitos, por exemplo, na resistência à abrasão. Nessa pesquisa serão testados dois tipos de endurecedores: endurecedor cimentício (base de agregados minerais) e endurecedor líquido químico (base de silicato de lítio, silicato de sódio e nanosílica), fornecidos por um mesmo fabricante. A aplicação desses materiais seguiu recomendações do fabricante. A aplicação do endurecedor líquido é feita através de pulverizador costal de baixa pressão ou regador, diretamente sobre a superfície cimentícia em movimentos simétricos e com ligeira sobreposição de camadas, com consumo médio de 200L/m². No endurecedor cimentício a aplicação é feita por aspersão manual, e a taxa de aplicação recomendada varia de 4 a 9 kg/m².

2.1 Materiais utilizados

A caracterização dos materiais utilizados na produção dos concretos, obtida segundo as suas respectivas normas, é a seguinte:

- Cimento: Portland CP V-ARI com massa específica igual a 3,06 g/cm³ (NBR NM 23/2000) e cimento Portland CP II-Z com massa específica igual a 2,87 g/cm³ (NBR NM 23/2000);
- Agregado miúdo: areia natural, com composição granulométrica (NBR NM 248/2003) sendo a dimensão máxima característica (DMC) igual a 1,18 mm, com módulo de finura (MF) igual a 1,47 e massa específica (NBR NM 52/2002) igual a 2,62g/cm³;
- Agregado graúdo: brita de origem basáltica, denominada comercialmente como brita 1, com as seguintes características: composição granulométrica (NBR NM 248/2003) sendo MF (6,91) e DMC (19 mm) e massa específica (NBR NM 53/2003) igual a 2,57 g/cm³;
- Aditivo: superplastificantes baseado em uma cadeia de éter policarboxílico;
- A água utilizada para a produção dos concretos foi proveniente da rede de abastecimento pública de Erechim (RS).

2.2 Dosagem experimental

O método de dosagem utilizado para este estudo foi o IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian (1992), onde os parâmetros utilizados foram a obtenção de um abatimento de tronco de cone de 100 ± 20 mm, definido com base em especificações de projeto para pisos de concreto. Através deste método determinou-se experimentalmente um teor de argamassa de 54% como sendo o ideal. A tabela 1 especifica os valores da dosagem experimental realizada para o cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI) e para o cimento composto com pozolana (CP II-Z).

Tabela 1 - Resultados da dosagem experimental para o CP V-ARI e CP II-Z

Tipo de Cimento	Traço unitário (1:m)	Relação a/c	Resistência potencial – 28 dias (Mpa)	Consumo de cimento (kg/m³)	Teor de materiais secos - H (%)	Abatimento (mm)
CP V-ARI	1:3,5	0,45	39,28	470,171	0,100	100
	1:5	0,56	30,78	355,110	0,093	90
	1:6,5	0,78	19,93	276,713	0,104	110
CP II-Z	1:3,5	0,44	33,35	464,915	0,099	80
	1:5	0,64	28,19	341,871	0,107	120
	1:6,5	0,76	20,43	276,031	0,101	100

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

2.3 Métodos de ensaio

Os ensaios que embasarão as análises da dureza superficial serão os ensaios de dureza superficial por esclerometria e exsudação. Para análise da resistência e controle tecnológico dos concretos serão realizados os ensaios de resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão.

Os ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão e resistência à compressão serão realizados conforme a NBR 12142 (ABNT, 2010) e NBR 5739 (ABNT, 2007), respectivamente. Nestes ensaios, será verificada a resistência dos concretos aos 28 dias, após a moldagem, sendo que a moldagem dos corpos de prova seguirá as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2003), para todos os ensaios realizados. Para a resistência à tração foram ensaiados 2 corpos de prova e para a resistência à compresão 4 corpos de prova.

Os ensaios de exsudação foram realizados com o concreto no estado fresco conforme NBR 15558 (ABNT, 2008), sendo realizadas duas repetições para cada traço analisado. A fôrma utilizada é de PVC com dimensões reduzidas, porém respeitando-se o proporcionamento entre diâmetro e altura especificados na norma. Salienta-se que o adensamento do molde para todos os traços ensaiados foi manual. O ensaio de exsudação foi realizado em câmera climatizada com temperatura e umidade constantes (UR 70 ± 10 % e temperatura de 23 ± 2ºC).

O método de avaliação da dureza superficial por esclerometria fornece elementos para avaliação da qualidade do concreto endurecido através do índice esclerométrico. Este tem como princípio de funcionamento a ação de uma massa ou martelo, que impulsionada por uma mola se choca com o concreto, o esclerômetro então registra a energia remanescente do impacto (SILVA, 2011).

Para o ensaio de dureza foram produzidas placas de concreto de 250 mm x 250 mm x 100 mm de espessura, sendo utilizado formas de compensado plastificado para a moldagem das placas. Foram moldadas duas placas para cada tipo de tratamento superficial aplicado, sendo que em cada uma das placas foram realizados 16 impactos, sendo estes, distribuídos de forma homogênea na superfície conforme NBR 7584 (ABNT, 1995).

3. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes aos ensaios de resistência à compressão uniaxial, resistência à tração na flexão, exsudação e dureza superficial por esclerometria.

3.1 Resistência à compressão uniaxial e à tração na flexão

Os ensaios de resistência à compressão uniaxial e de resistência à tração na flexão tiveram como objetivo apenas de caracterizar e avaliar a qualidade do concreto produzido. Por não ser o foco da pesquisa, serão apenas apresentadas as resistências médias dos corpos de prova moldados de ambas as propriedades, sendo 4 corpos de prova para resistência à compressão e 2 corpos de prova para tração na flexão. A tabela 2 apresenta os resultados médios da resistência à compressão uniaxial e a resistência à tração na flexão.

Tabela 2 - Resultados médios para o ensaio de compressão uniaxial e tração na flexão

Tipo de Cimento	Relação a/c	Resistência à compressão uniaxial			Resistência à tração na flexão		
		Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
CP V-ARI	0,4	44,83	2,61	5,83	5,55	0,04	0,63
	0,5	37,67	0,83	2,20	5,13	0,06	1,17
	0,6	33,86	1,51	4,45	4,46	0,03	0,67
CP II-Z	0,4	43,09	2,39	5,54	4,21	0,05	1,19
	0,5	33,73	1,53	4,53	3,74	0,13	3,48
	0,6	21,54	1,12	5,18	3,45	0,28	8,12

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Conforme mostrado na tabela 2, verifica-se que em todas as combinações, os concretos produzidos nesta pesquisa apresentam viabilidade técnica, com resistência média à compressão uniaxial superior a 20 MPa, e mantiveram coerência em todos os resultados. Na resistência à tração na flexão, os resultados seguiram a mesma tendência que os valores encontrados para a compressão uniaxial, sendo que em todas as combinações, os valores da resistência à tração na flexão atingiram resistências superiores a 10% do valor da resistência à compressão da mesma combinação, como esperado.

3.2 Exsudação

Os resultados obtidos no ensaio de exsudação encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados médios para o ensaio de exsudação

Tipo de Cimento	Relação a/c	Médias (%)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variância (%)
CP V-ARI	0,4	1,27	0,07	5,51
	0,5	2,36	0,11	4,46
	0,6	3,26	0,09	2,61
CP II-Z	0,4	1,77	0,20	11,30
	0,5	5,52	0,03	0,54
	0,6	10,31	0,26	2,52

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Conforme mostrado na tabela 3, os percentuais de água exsudada no cimento CP V-ARI ficaram dentro do permitido para pisos industriais de concreto, que não deve exceder 4% (ACI 302.1R, 2004). Porém para o cimento CP II-Z, apenas a relação a/c 0,4 ficou dentro do limite permitido. Verifica-se que para as misturas produzidas com cimento de alta resistência inicial, comparativamente às com cimento composto com pozolana, ocorreu uma redução na exsudação. Esse comportamento deve-se pelo fato que o cimento CP V-ARI é um material mais fino que o cimento CP II-Z, sendo assim, retém mais a água utilizada na mistura, o que diminui a quantidade de água a ser exsudada. Na relação a/c 0,4 com o cimento CP II-Z, a exsudação não foi tão elevada quanto nas outras relações a/c com mesmo tipo de cimento, pois essa relação é a mais rica por ter menor relação a/c, e como esperado, as menores relações a/c apresentaram menores percentuais de exsudação.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se a relação a/c e o tipo de cimento, e suas interações causam efeito significativo na exsudação dos compósitos. A análise de variância feita através da ANOVA dos dados experimentais obtidos para a exsudação dos concretos estudados encontra-se na tabela 4.

Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) – Exsudação

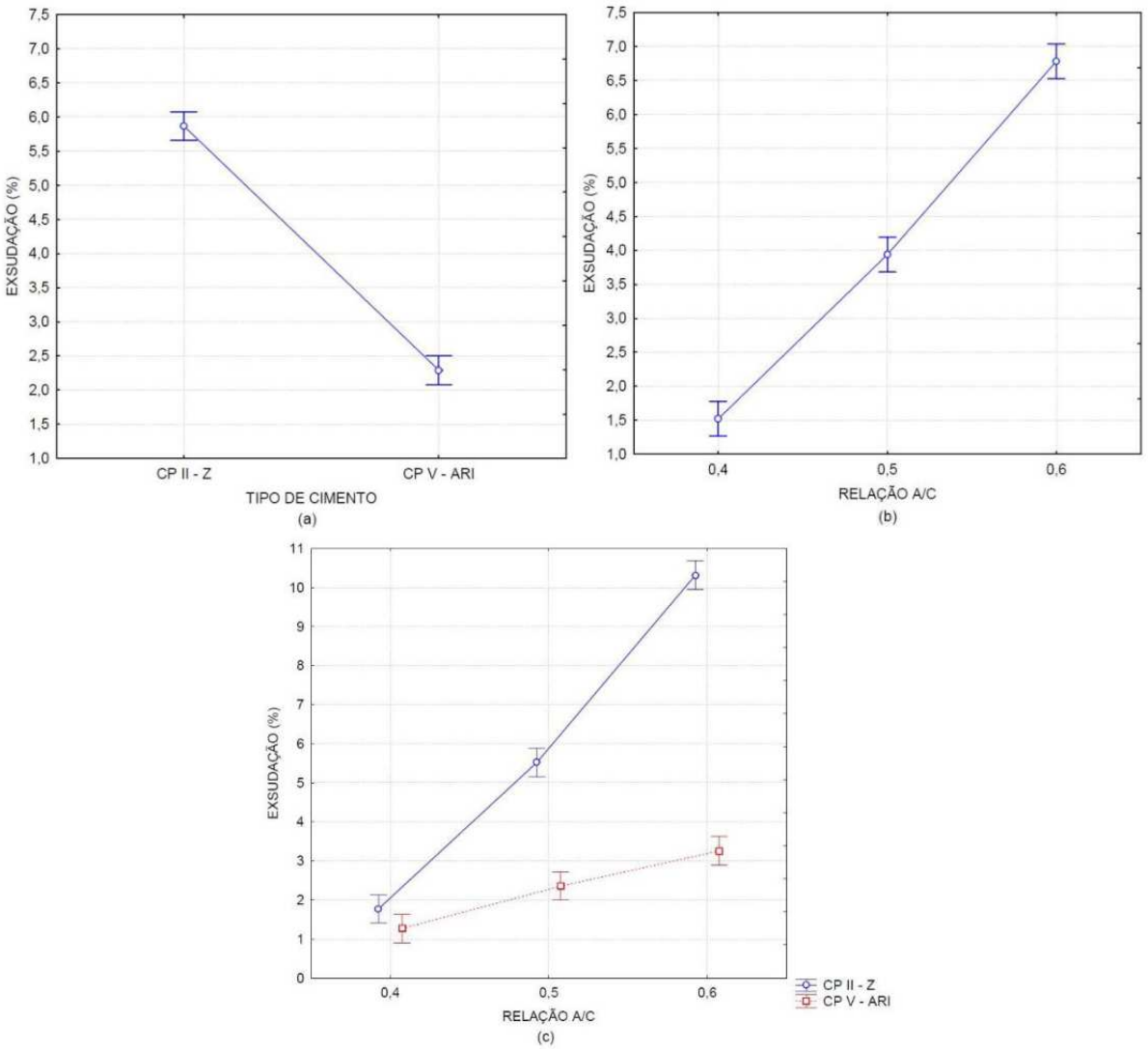
	SS	GDL	MS	F (calc)	P	SIGNIFICÂNCIA
Tipo de Cimento (1)	38,3061	1	38,3061	872,908	0,000000	S
Relação a/c (2)	55,5096	2	27,7548	632,468	0,000000	S
(1)*(2)	21,7341	2	10,8671	247,635	0,000002	S
Error	0,2633	6	0,0439			

GDL: graus de liberdade (n-1); MS: média simples; F(calc): valor calculado de F; P: nível de significância; S: valor significativo; NS: valor não significativo; Se P<5% valor significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

De acordo com a tabela 4, observa-se que os efeitos isolados e suas interações foram significativos na variável de resposta (exsudação). A figura 1 mostra o efeito isolado do tipo de cimento em (a), o efeito isolado da relação a/c em (b) e o efeito da interação entre a relação a/c e o tipo de cimento em (c) na exsudação dos concretos ensaiados.

Figura 1 - Efeito isolado do tipo de cimento em (a), efeito isolado da relação a/c em (b) e efeito da interação entre a relação a/c e o tipo de cimento em (c) na exsudação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O comportamento obtido no ensaio de exsudação foi o esperado, apresentando um acréscimo na quantidade de água exsudada para relações a/c maiores e para os compósitos com CP II-Z como mostra a figura 1. Um concreto com alta relação a/c pode levar a segregação dos materiais constituintes e promover exsudação excessiva, carreando material mais frágil para a superfície (ACI 302.1R, 2004).

Conforme verificado na figura 1c, para ambos os cimentos, a relação a/c que apresentou menores valores de exsudação foi a relação a/c 0,4. Esse comportamento deve-se por essa relação ter menor quantidade de água que as demais, diminuindo assim a possibilidade de ocorrer esse fenômeno. Verifica-se também, que o cimento CP II-Z apresentou valores superiores nos percentuais de exsudação ao comparar com os compósitos com CP V-ARI, deve-se pelo fato do cimento composto com pozolana tem menor capacidade de reter a água da mistura, em virtude de ter seus grãos maiores que os do cimento de alta resistência inicial.

3.3 Dureza superficial por esclerometria

Os resultados médios da dureza superficial para os concretos estudados encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados médios para o ensaio de dureza superficial por esclerometria

Tipo de cimento	Relação a/c	Tipo de Tratamento	Médias (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variância (%)
CP V-ARI	0,4	Sem Endurecedor	45,51	0,29	0,63
		End. Cimentício	49,15	0,04	0,09
		End. Líquido	45,77	0,05	0,11
	0,5	Sem Endurecedor	42,08	0,25	0,61
		End. Cimentício	44,18	0,30	0,68
		End. Líquido	42,95	0,48	1,11
	0,6	Sem Endurecedor	33,38	0,52	1,57
		End. Cimentício	40,34	0,70	1,74
		End. Líquido	35,79	0,61	1,70
CP II-Z	0,4	Sem Endurecedor	42,04	0,07	0,17
		End. Cimentício	44,16	0,08	0,18
		End. Líquido	43,04	0,12	0,28
	0,5	Sem Endurecedor	36,70	0,02	0,04
		End. Cimentício	38,12	0,21	0,54
		End. Líquido	36,82	0,17	0,46
	0,6	Sem Endurecedor	33,04	0,94	2,86
		End. Cimentício	35,66	0,15	0,41
		End. Líquido	34,25	0,91	2,67

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se o tipo de cimento, a idade, o tipo de tratamento e a relação a/c, e as suas interações causam efeito significativo na dureza superficial por esclerometria medida. A análise de variância feita através da ANOVA dos dados experimentais obtidos para a dureza superficial dos concretos estudados encontra-se na tabela 6.

Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) - Dureza Superficial por Esclerometria

	SS	GDL	MS	F (calc)	P	SIGNIFICÂNCIA
Tipo de Cimento (1)	138,61	1	138,61	361,4	0,000000	S
Tipo de Tratamento (2)	62,15	2	31,07	81,0	0,000000	S
Relação a/c (3)	545,70	2	272,85	711,3	0,000000	S
(1)*(2)	8,09	2	4,05	10,5	0,000929	S
(1)*(3)	20,34	2	10,17	26,5	0,000004	S
(2)*(3)	9,63	4	2,41	6,3	0,002408	S
(1)*(2)*(3)	4,96	4	1,24	3,2	0,036507	S
Error	6,90	18	0,38			

GDL: graus de liberdade (n-1); MS: média simples; F(calc): valor calculado de F; P: nível de significância; S: valor significativo; NS: valor não significativo; Se P<5% valor significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

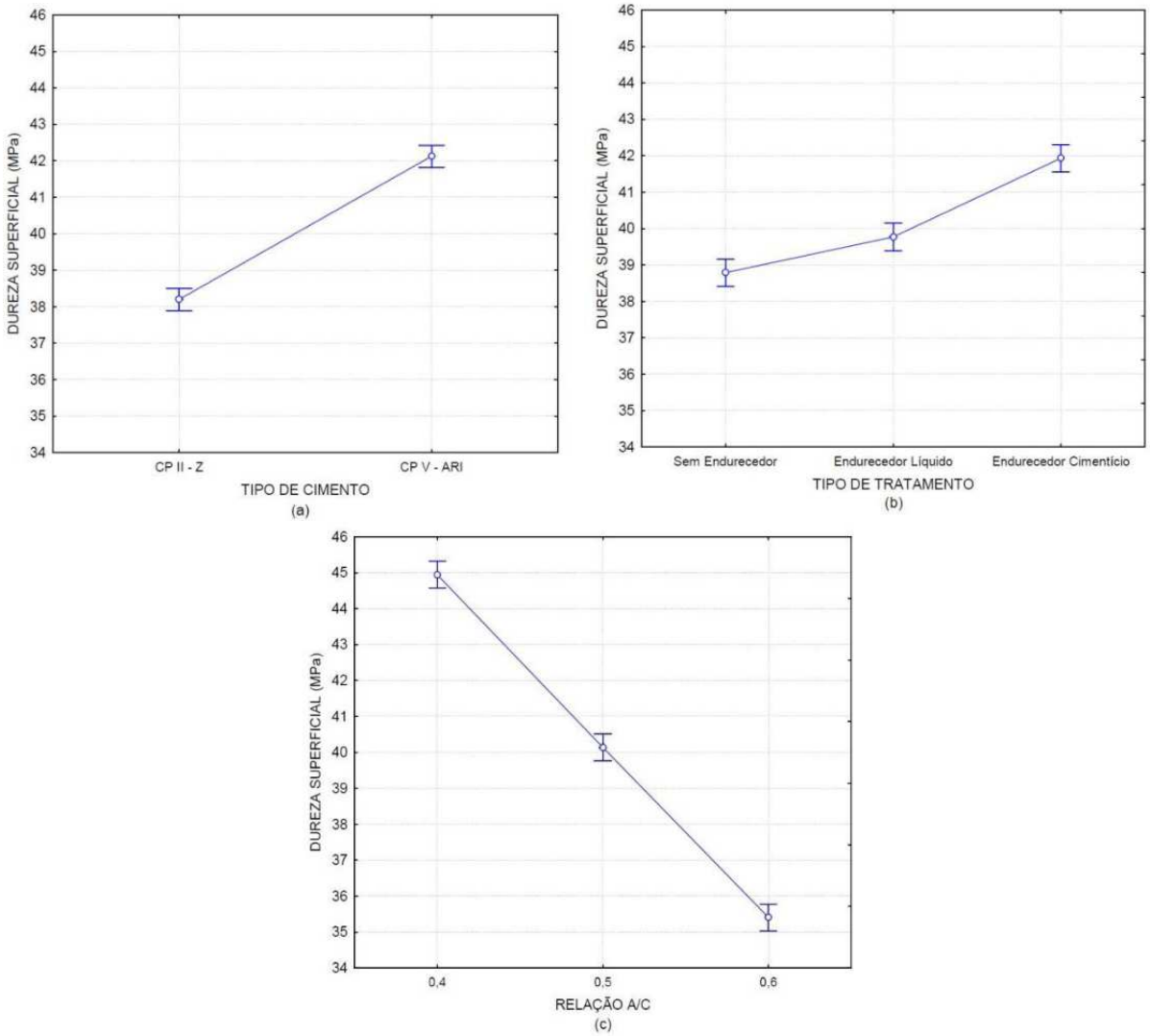
De acordo com a tabela 6, observa-se que todos os efeitos isolados foram significativos na variável de resposta (dureza superficial). Com relação aos efeitos de 2ª ordem, todas as interações se mostraram significativas, bem como o efeito de terceira ordem. Os itens que seguem analisam separadamente os efeitos isolados, os efeitos de segunda e terceira ordem que apresentaram influência significativa nos resultados obtidos na dureza superficial.

3.3.1 Efeitos isolados

A figura 2 mostra a influência isolada do tipo de cimento em (a), a influência isolada do tipo de tratamento em (b) e a influência isolada da relação a/c em (c) sobre a dureza superficial dos concretos. Estes gráficos

foram obtidos através dos resultados da dureza superficial dos traços estudados, na análise de variância (ANOVA).

Figura 2 - Efeito isolado do tipo de cimento em (a), efeito isolado do tipo de tratamento em (b) e efeito isolado da relação a/c em (c) na dureza superficial



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Através da análise da figura 2a, verifica-se a influência do tipo de cimento na variável de resposta analisada, conforme esperado. Os resultados da dureza superficial para os concretos produzidos com cimento de alta resistência inicial foram significativamente maiores se comparados com os produzidos com o cimento composto com pozolana, conforme mostram os índices esclerométricos analisados pelo método ANOVA. Como esta é uma propriedade do concreto que está relacionada com a sua resistência, tal comportamento pode ser explicado através das características dos cimentos. A resistência dos concretos com cimento de alta resistência inicial foi superior, principalmente, por conta da velocidade das reações de hidratação, que afeta a porosidade do compósito e da maior quantidade de clínquer em sua composição comparando com o cimento composto, que tem um percentual substituído por pozolanas.

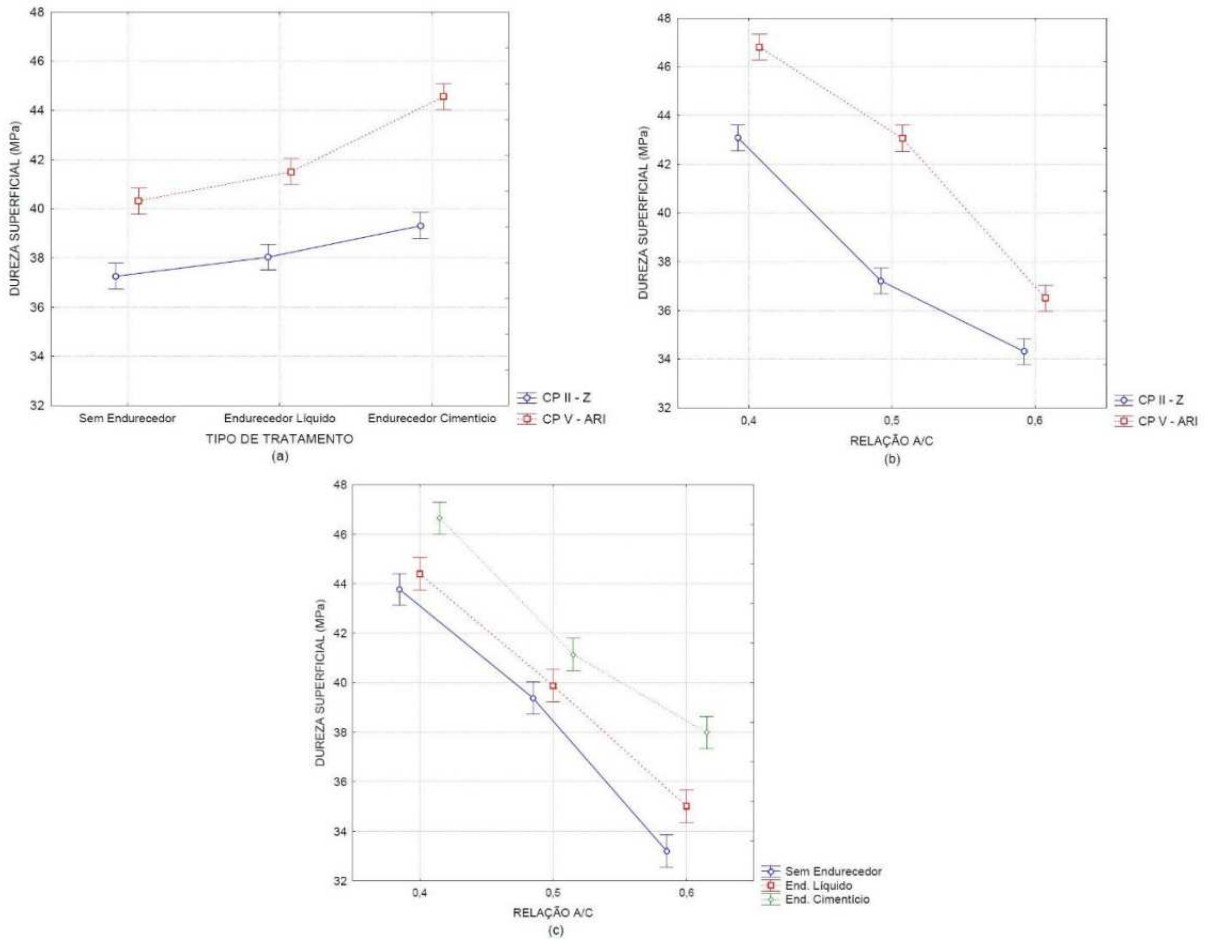
A figura 2b apresenta o comportamento da dureza superficial com aplicação de endurecedores superficiais. Percebe-se que há uma tendência no aumento da dureza superficial com a utilização destes produtos, sendo que tal acréscimo é mais acentuado quando utilizado o endurecedor cimentício do que o endurecedor líquido. Segundo Viecili (2004), a utilização dos endurecedores cimentícios reduz a relação a/c superficial, pela incorporação no concreto dos aglomerantes presentes, melhorando a matriz superficial deste concreto e principalmente a zona de transição, tornando a superfície dos pisos mais resistente à abrasão. O

endurecedor cimentício é rico em sílica ativa, logo esse aglomerante possivelmente promoveu a melhora na porosidade da camada exposta, assim aumentando a resistência superficial.
Conforme a figura 2c, é possível observar um decréscimo significativo da dureza superficial para relações água/cimento mais altas (0,5 e 0,6). Tal resultado está correlacionado com as outras propriedades medidas, dentre elas a resistência à compressão uniaxial, na qual uma redução dos valores obtidos nessa propriedade consequentemente diminui os valores de dureza superficial. Outra propriedade que tem grande influência na dureza superficial é a exsudação, quanto maior a quantidade de água exsudada, como ocorrido nos compósitos com as maiores relações a/c, mais fraca poderá ser a camada superficial, diminuindo assim a resistência da superfície. Essa redução ocorre em virtude do concreto ser mais poroso e menos coeso quando produzido com maiores relações a/c.

3.3.2 Efeitos de segunda ordem

Os gráficos das interações de segunda ordem que mostraram influencia significativa na dureza superficial apresentam-se na figura 3, sendo em (a) a interação entre o tipo de cimento e o tipo de tratamento, em (b) a interação entre o tipo de cimento e a relação a/c e em (c) a interação entre o tipo de tratamento e a relação a/c.

Figura 3 - Efeito da interação entre o tipo de cimento e tipo de tratamento em (a), a interação entre o tipo de cimento e a relação a/c em (b), e a interação entre o tipo de tratamento e a relação a/c em (c)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

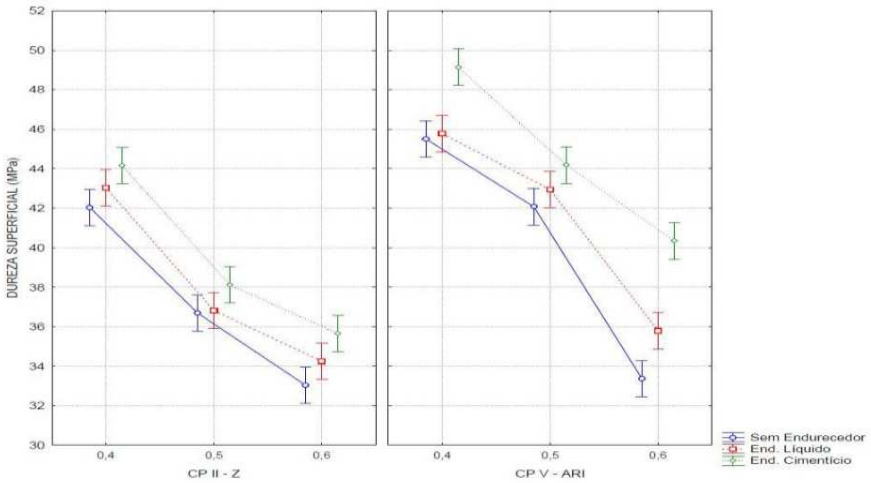
Conforme mostrado na figura 3a, para todos os tipos de tratamento superficial, os concretos com o cimento CP V-ARI obtiveram valores superiores na dureza superficial em comparação com os concretos com o cimento CP II-Z. Este comportamento também foi observado anteriormente, dado que o cimento CP V-ARI apresentou maiores valores em todas as resistências analisadas em decorrência de suas características. Em relação os tipos de tratamento superficial, ambos mostraram-se eficiente no aumento da dureza

superficial, porém o endurecedor cimentício apresentou um acréscimo maior que o endurecedor líquido, comportamento obtido para os dois tipos de cimento.
Observa-se um decréscimo na dureza superficial para as relações a/c maiores, esse comportamento é reproduzido tanto na interação da relação a/c com o tipo de cimento e com o tipo de tratamento. Para ambos os cimentos e para todos os tipos de tratamento superficial, quanto maior a relação a/c menor foi o índice esclerométrico dos compósitos ensaiados, conforme esperado e de consenso no meio acadêmico.
De acordo com a figura 3b é possível verificar, que para todas as relações a/c, houve um acréscimo significativo na dureza superficial dos concretos produzidos com cimento CP V-ARI em relação aos produzidos com cimento CP II-Z.
Analisando a figura 3c, verifica-se a influência significativa da interação entre a relação a/c e o tipo de tratamento superficial dos concretos. Conforme análise estatística, os concretos sem o uso de endurecedores superficiais atingiram menores valores na dureza superficial comparando com os concretos com o uso de tratamento superficial, tanto com endurecedor líquido quanto com o endurecedor cimentício. Na relação a/c 0,6, o aumento na dureza superficial com o uso de endurecedores superficiais foi mais evidente, pois nessa relação a porosidade superficial é maior, ou seja, tem mais vazios para que os endurecedores possam agir, apresentando uma maior eficácia. Por isso, nessa relação, obteve-se os maiores acréscimos na dureza superficial para cada tipo de endurecedor. Nessa relação a/c por ocorrer maior exsudação, o endurecedor cimentício obteve maior hidratação na camada externa, além disso, a própria utilização deste material reduziu a quantidade de água na superfície, evitando assim o enfraquecimento excessivo da mesma. Para o endurecedor líquido, o aumento na dureza superficial deve-se pelo fato da superfície externa ser mais porosa nesta relação a/c, do que nas relações menores, assim a superfície apresenta mais poros para serem preenchidos, obtendo uma maior eficácia.

3.3.3 Efeitos de terceira ordem

O efeito de terceiro ordem resultado da interação entre o tipo de cimento, o tipo de tratamento e a relação a/c está demonstrado na figura 4.

Figura 4 - Efeito da interação entre o tipo de cimento, o tipo de tratamento e a relação a/c na dureza superficial



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Percebe-se que o endurecedor cimentício, em todas as relações a/c e para ambos os cimentos, apresentou influência significativa na dureza superficial. Analisando os diferentes tipos de tratamento superficial e as três relações a/c, para ambos os cimentos, percebe-se uma eficácia mais significativa dos endurecedores superficiais nos concretos com o cimento de alta resistência inicial e na relação a/c 0,6, entretanto sendo mais significativo a influencia do endurecedor cimentício.

De acordo com a análise estatística feita pelo Método de Fischer (ferramenta da ANOVA, que permite verificar se há ou não diferença significativa entre os resultados), verificou-se que as combinações apresentadas na tabela 7 não apresentaram valores diferentes entre si no efeito de terceira ordem.

Tabela 7 - Combinações com resultados estatisticamente iguais segundo o Método de Fischer

Combinação 1			X	Combinação 2		
Tipo de cimento	Tipo de Tratamento	Relação a/c		Tipo de cimento	Tipo de Tratamento	Relação a/c
CP II-Z	End. Líquido	0,4	=	CP II-Z	Sem Endurecedor	0,4
CP II-Z	End. Líquido	0,5	=	CP II-Z	Sem Endurecedor	0,5
				CP II-Z	End. Cimentício	0,6
CP II-Z	End. Líquido	0,6	=	CP II-Z	Sem Endurecedor	0,6
CP II-Z	End. Cimentício	0,4	=	CP II-Z	End. Líquido	0,4
CP II-Z	End. Cimentício	0,5	=	CP II-Z	End. Líquido	0,5
CP II-Z	End. Cimentício	0,6	=	CP II-Z	Sem Endurecedor	0,5
CP V-ARI	Sem Endurecedor	0,5	=	CP II-Z	Sem Endurecedor	0,4
				CP II-Z	End. Líquido	0,4
CP V-ARI	Sem Endurecedor	0,6	=	CP II-Z	Sem Endurecedor	0,6
				CP II-Z	End. Líquido	0,6
CP V-ARI	End. Líquido	0,4	=	CP V-ARI	Sem Endurecedor	0,4
CP V-ARI	End. Líquido	0,5	=	CP II-Z	Sem Endurecedor	0,4
				CP II-Z	End. Líquido	0,4
				CP II-Z	End. Cimentício	0,4
				CP V-ARI	Sem Endurecedor	0,5
CP V-ARI	End. Líquido	0,6	=	CP II-Z	Sem Endurecedor	0,5
				CP II-Z	End. Líquido	0,5
				CP II-Z	End. Cimentício	0,6
CP V-ARI	End. Cimentício	0,5	=	CP II-Z	End. Líquido	0,4
				CP II-Z	End. Cimentício	0,4
				CP V-ARI	End. Líquido	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Por meio da Tabela 7, observa-se que a interação dos fatores da combinação 1 não apresentam valores diferentes da interação dos fatores da combinação 2, isto para os fatores da mesma linha.

4. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo avaliar tanto a influência da relação água/cimento dos compósitos cimentícios, quanto do uso de endurecedores superficiais, quanto diferentes idades de cura, e diferentes tipos de cimento para confecção dos concretos, frente a dureza superficial. Dentro desse contexto, foram analisadas diferentes relações a/c (0,4; 0,5; 0,6), diferentes tipos de tratamentos superficiais (sem endurecedor; endurecedor líquido; endurecedor cimentício), e dois tipos de cimento (CP V-ARI e CP II-Z). Para tal avaliação realizaram-se alguns ensaios relacionados às propriedades de superfície (exsudação e dureza superficial por esclerometria) e às propriedades da qualidade do concreto (resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão).

Para avaliar a influência de cada fator nas propriedades estudadas nesta pesquisa, foram efetuadas análises estatísticas através do software Statistica 7.0. As conclusões verificadas quanto ao comportamento das propriedades analisadas, frente às relações a/c, os tipos de tratamentos superficiais, os tipos de cimento e as idades de cura serão explanadas em seguida.

A relação água/cimento influenciou significativamente em todos os ensaios realizados. Na resistência à compressão uniaxial, na resistência à tração na flexão e na dureza superficial, verificou-se uma redução das resistências em todos os casos ensaiados para as maiores relações a/c. No ensaio de exsudação, quanto o maior a relação a/c maior a água exsudada. Ou seja, quanto menor a proporção de água na mistura do concreto, melhor será o desempenho dos compósitos. O melhor desempenho pode-se verificar nos compósitos com o cimento CP V-ARI, onde obteve-se os melhores resultados para a resistência à compressão uniaxial, resistência à tração na flexão, exudação e para a dureza superficial, comparando com os resultados dos mesmos ensaios para os compósitos com CP II-Z.

Quanto à dureza superficial, a relação a/c manteve o mesmo comportamento mencionado anteriormente, as maiores relações a/c apresentaram os menores valores para a dureza superficial. Quanto ao tratamento superficial, ambos os endurecedores apresentaram melhora na dureza superficial, porém foi mais eficaz quando utilizado o endurecedor cimentício do que o endurecedor líquido, comparando com concreto sem tratamento superficial. Quando analisada a interação da relação a/c e o tipo de tratamento, observou-se uma tendência de melhora na camada externa dos compósitos com a aplicação dos endurecedores, porém esse aumento na dureza superficial ficou mais evidente na relação a/c 0,6, pois nessa relação a porosidade superficial é maior, ou seja, tem mais vazios onde os endurecedores podem agir, apresentando maior eficácia.

Com esta pesquisa concluiu-se, então, que menores relações a/c tendem a proporcionar um concreto com menor exsudação, maiores resistências mecânicas e dureza superficial, assim como os compósitos confeccionados com o cimento CP V-ARI. Os endurecedores superficiais analisados proporcionaram um aumento no índice esclerométrico, desempenhando seu papel, porém devem ser levados em conta todos os fatores que poderiam interferir nesse desempenho para poder afirmar que sua eficiência é realmente significativa. Para tal afirmação há a necessidade de mais estudos nesta área, uma vez que tais resultados estão relacionados a compósitos que apresentam características específicas, com materiais, proporcionamentos e parâmetros de dosagem.

6. REFERÊNCIAS

ACI Committee 302. **ACI 302.1R-04 - Guide to Concrete Floor and Slab Construction**. American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan, 2004.

ALMEIDA, I. R. **Influência da resistência à abrasão do agregado graúdo na resistência à abrasão de concretos de alto desempenho**. In: REIBRAC-IBRACON, 42, Fortaleza/CE, 2000.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR-12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR-15558**: Concreto – Determinação da exsudação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR-7584**: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

GARCÍA, A.; FRESNO, D. C.; POLANCO, J. A**. Effect of dry-shaking treatment on concrete pavement properties. Construction and Building Materials**. v. 22, n. 11, p. 2202-2211, nov. 2008.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349p.

SENISSE, J. A. L. **Influência do consumo de água, da adição de microfibras de polipropileno e do tipo de cimento nas variações dimensionais de concretos empregados em pisos**. 2010. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, C. V. **Contribuição ao estudo do desgaste superficial por abrasão em concretos empregados em pisos**. 2011. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

VIECILI, F. A. **Influência da utilização dos endurecedores superficiais cimentícios na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto**. 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Mestrado Profissionalizante, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.