

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DA DUREZA SUPERFICIAL DE CONCRETOS EMPREGADOS EM PISOS

Contribution to the study of mechanical properties and surface hardness of
concrete used in floors

Francine Padilha¹; Marinês Langoski¹; Beatriz Schimelfenig¹; Cristina Vitorino da Silva¹.

¹ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim. Departamento de Engenharias e Ciência da Computação. *E-mail*: cristina@uricer.edu.br

Data do recebimento: 30/01/2018 - Data do aceite: 24/05/2018

RESUMO: Por ser o concreto um material altamente empregado pela construção civil, é importante realizar pesquisas no intuito de buscar diretrizes seguras para empregar com qualidade esse material. Quando se refere a pisos de concreto, devem ser consideradas a dureza superficial e resistências mecânicas. Dessa forma, o desenvolvimento de estudos que buscam avaliar a influência do proporcionamento de materiais que constituem o traço de concreto empregado em pisos frente às propriedades mecânicas e à dureza superficial é extremamente relevante. Portanto, o presente estudo avaliou fatores como relação água/aglomerante (0,40; 0,50; 0,60), teor de substituição de sílica ativa (0%; 5%; 10%) e idade de cura (7; 28; 91 dias) em concretos. Foram realizados os ensaios de resistência à compressão uniaxial, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade, exsudação e dureza superficial por esclerometria. Verificou-se inicialmente que o teor de substituição de sílica ativa melhorou significativamente as propriedades estudadas, com exceção do ensaio do módulo de elasticidade. Quanto à relação água/aglomerante, observou-se que este fator promoveu efeito significativo nas propriedades mecânicas e na dureza superficial, porém não se mostrou significativo na exsudação. Os resultados evidenciaram a importância do controle da relação água/aglomerante, uma vez que acima de 0,5 ocorreu redução expressiva nas propriedades mecânicas e na dureza superficial.

Palavras-chave: Pisos de Concreto. Resistência Mecânica. Dureza Superficial.

ABSTRACT: Considering that concrete is a highly used material by the civil construction, it is important to conduct researches in order to find safe guidelines to use it with quality. Surface hardness and mechanical strength should be considered when referring to concrete floors. Thus, the development of studies that seek to evaluate the influence of the concrete mixture proportioning that constitutes the concrete used in floors considering mechanical properties and surface hardness is extremely relevant. Therefore, the present study evaluated factors such as water binder ratio (0.40; 0.50; 0.60), replacement of silica fume (0%, 5%, 10%) and curing age (7; 28; 91 days) in concretes. Uniaxial compressive strength, flexural tensile strength, modulus of elasticity, bleeding and surface hardness by Rebound Hammer tests were performed. Initially, it was verified that the replacement content of silica fume significantly improved the studied properties, except the modulus of elasticity essay. It was observed that the water binder ratio factor caused a significant effect on the mechanical properties and surface hardness, but it was not significant in bleeding. The results showed the importance of water binder ratio control, given that above 0.5 there was an expressive reduction in the mechanical properties and surface hardness.

Keywords: Concrete Floors. Mechanical Strength. Surface Hardness.

Introdução

Pisos de concreto são elementos de grande importância em obras de engenharia, o que ressalta a importância de algumas propriedades, como dureza superficial e resistência mecânica. No entanto, tais propriedades acabam muitas vezes comprometidas, principalmente em função de problemas vinculados ao projeto, à execução e à dosagem do concreto dessas estruturas (SILVA, 2011). 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 (SENISSE, 2010).

Segundo o manual americano 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. Diversos materiais, como fibras sintéticas ou metálicas, aditivos e adições minerais, estão presentes nos traços atualmente empregados em pisos de concreto, fazendo com que haja a necessidade dos profissionais que atuam no setor estarem familiarizados com as consequências desses materiais no desempenho do concreto e do piso como um todo. A escolha de materiais apropriados é um dos aspectos de extrema importância para a produção de um concreto que atenda às especificações requeridas de resistência e durabilidade da estrutura (CHODOUNSKY; VIECILI, 2007).

Uma das metas principais da pesquisa é avaliar a influência de alguns materiais constituintes do concreto frente a ensaios mecânicos e de dureza superficial, buscando uma melhora na qualidade dos compósitos a fim de minimizar a tendência ao aparecimento de manifestações patológicas. Além disso, busca-se investigar a influência da adição de sílica ativa no proporcionamento dos materiais constituintes do traço do concreto, uma vez que o uso dessa adição minimiza o fenômeno da exsudação, podendo ser a exsudação uma das principais causas da redução da dureza superficial e, por consequência, da resistência à abrasão dos pisos de concreto (SILVA, 2011). Serão avaliados dois teores de substituição desse material (5% e 10%), além da dosagem de referência, sem sílica ativa.

Material e Métodos

Materiais Utilizados

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

- cimento: Portland CP II-Z, com massa específica igual a 2,81 g/cm³;
- agregado miúdo: areia natural, dimensão máxima característica (DMC) igual a 1,18 mm, com módulo de finura (MF) igual a 1,98 e massa específica igual a 2,62g/cm³;
- agregado graúdo: brita de origem basáltica, denominada comercialmente como brita 1, com as seguintes características: MF (6,8)

e DMC (19 mm) e massa específica igual a 2,88 g/cm³;

d) sílica ativa: com massa específica igual a 2,15 g/cm³;

e) aditivo: superplastificante à base de éter policarboxílico;

f) água foi proveniente da rede pública de abastecimento de Erechim (RS).

Dosagem Experimental

Para esta pesquisa adotou-se o método de dosagem do IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian (1992). Neste método, os parâmetros utilizados são a obtenção de um abatimento de tronco de cone de 100 ± 20 mm. O teor de argamassa de 52% foi determinado experimentalmente. A Tabela I apresenta a dosagem experimental para o cimento CII Z – 32.

Métodos de Ensaio

Para o ensaio de resistência à compressão foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm, sendo os mesmos corpos de prova utilizados para os ensaios de dureza superficial e módulo de elasticidade. Para o ensaio de resistência à tração na flexão foram moldados corpos de prova nas dimensões de 15x15x50 cm. No ensaio de exsudação foi utilizado molde cilíndrico, e o adensamento foi feito manualmente, em duas camadas.

Os ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão e resistência à compressão foram realizados conforme a NBR 12142 (2010) e NBR 5739 (2007), respectivamente.

Tabela I - Resultados da dosagem experimental para o cimento CP II-Z

Traço unitário (1:m)	Relação água/aglomerante	Resistência potencial - 28 dias (MPa)	Consumo de cimento (kg/m ³)	H (%)	Abatimento (mm)
1:3,5	0,40	47,71	486,45	8,89	105
1:5	0,50	31,47	367,77	8,33	100
1:6,5	0,64	22,22	292,18	8,53	110

m – teor de agregados (areia + pedra); H (%) – relação água/materiais secos.

Nesses ensaios, foi verificada a resistência dos concretos aos 7, 28 e 91 dias (resistência à compressão uniaxial) e aos 7 e 28 dias (resistência à tração na flexão), sendo que a moldagem dos corpos de prova seguiu as recomendações da NBR 5738 (2003), para todos os ensaios realizados.

O método de ensaio por esclerometria segue as determinações da norma brasileira NBR 7584 (2013). Como este é um método não destrutivo, foi efetuado nos corpos de prova destinados aos ensaios de resistência à compressão. O método mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para avaliação da qualidade do concreto endurecido, tendo como parâmetro de controle o índice esclerométrico. O princípio de funcionamento é baseado na ação de um martelo que, ao ser impulsionado por uma mola, se choca através de uma haste com a superfície de ensaio; o aparelho então registra a energia pelo recuo do martelo.

O método de ensaio de exsudação segue as prescrições da norma brasileira NBR 15558 (2008). O ensaio é efetuado no concreto em estado fresco, logo após a moldagem do cilindro. Como no programa experimental tem-se 9 combinações ou traços de concreto, foram ensaiados um total de 9 corpos de prova.

Quanto ao ensaio de módulo de elasticidade, o método empregado segue as prescrições da norma brasileira NBR 8522 (2008). Tal ensaio foi efetuado nas idades de 7 e 28 dias.

Resultados e Discussões

Resistência à Compressão Uniaxial e à Tração na Flexão

Nesta pesquisa, os ensaios de resistência à compressão uniaxial e de resistência à tração na flexão tiveram como objetivo apenas caracterizar e avaliar a qualidade do concreto produzido. Por não ser o foco da pesquisa, serão apenas apresentadas as resistências médias e potenciais para essas propriedades. As Tabelas II e III apresentam os resultados da resistência à compressão uniaxial e à tração na flexão, respectivamente.

Módulo de Elasticidade

A Tabela IV apresenta os resultados médios do ensaio de módulo de elasticidade de todos os traços estudados, para as idades de 7 e 28 dias.

Os resultados foram analisados estatisticamente por meio do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou ava-

Tabela II - Resultados médios em MPa para o ensaio de resistência à compressão uniaxial

Traço	Fatores controláveis		Idade de ensaio								
	Rel. a/agl	Tsa (%)	7 dias			28 dias			91 dias		
			Média	CV (%)	DV	Média	CV (%)	DV	Média	CV (%)	DV
1	0,40	0	30,30	12,29	3,85	41,42	11,66	4,65	59,21	14,85	8,73
2	0,40	5	37,80	7,28	2,55	37,30	16,67	6,54	58,42	9,54	5,63
3	0,40	10	32,01	17,51	5,27	38,72	14,14	5,36	62,61	15,41	9,19
4	0,50	0	26,08	11,32	2,84	31,22	13,35	4,12	43,56	10,81	4,44
5	0,50	5	25,65	8,08	2,04	28,53	10,69	3,11	45,39	4,56	2,04
6	0,50	10	25,67	12,56	3,20	36,07	9,76	3,54	51,74	3,84	1,99
7	0,60	0	15,59	12,71	2,01	21,35	13,77	3,07	31,32	4,10	1,30
8	0,60	5	17,82	9,25	1,69	31,18	9,15	2,80	32,64	7,07	2,31
9	0,60	10	18,99	12,81	2,43	26,90	5,79	1,58	36,86	9,64	3,51

Rel. a/agl – Relação água/aglomerante; Tsa – Teor de substituição de sílica ativa; CV – Coeficiente de variação; DV – Desvio Padrão.

liar se os fatores de controle (relação a/agl, teor de substituição de sílica ativa – Tsa – e idade) e se as suas interações causam efeito significativo na variável de resposta (módulo de elasticidade) medida. O efeito isolado do Tsa não se mostrou significativo na variável de resposta. O mesmo ocorreu com o efeito de 2ª ordem entre Tsa e idade e a relação a/agl e idade.

A Figura 1 mostra a influência isolada da relação a/agl sobre o módulo de elasticidade dos concretos. Tal figura foi obtida por meio dos resultados do ensaio de módulo de elasticidade dos traços estudados, nas idades de 7 e 28 dias, na análise de variância (ANOVA).

Pela análise da Figura 1 verifica-se uma significativa influência da relação a/agl no módulo de elasticidade. É possível perceber que houve decréscimo nos valores de módulo de elasticidade conforme houve aumento da relação a/agl, demonstrando uma tendência clara de comportamento, fato este que já era esperado.

Fazendo-se uma análise estatística pelo Método do Teste de Fischer, verificou-se que os resultados de módulo de elasticidade para relações a/agl 0,5 e 0,6 não foram significativamente diferentes entre si. Os resultados obtidos para as relações a/agl 0,4 e 0,5 foram significativamente diferentes entre si, sendo

Tabela III - Resultados potenciais em MPa para o ensaio de resistência à tração na flexão

Traço	Fatores controláveis		Idade de ensaio	
	Relação a/agl	Tsa (%)	7 dias	28 dias
1	0,40	0	3,96	4,78
2	0,40	5	4,16	5,52
3	0,40	10	3,72	5,34
4	0,50	0	3,24	4,07
5	0,50	5	3,11	4,89
6	0,50	10	3,35	5,52
7	0,60	0	2,61	3,30
8	0,60	5	3,12	4,06
9	0,60	10	3,01	4,65

Tsa – Teor de substituição de sílica ativa.

Tabela IV - Resultados médios em GPa para o ensaio de módulo de elasticidade

Traço	Fatores controláveis		Idade: 7 dias			Idade: 28 dias		
	Rel. a/agl	Tsa (%)	Média	CV (%)	DV	Média	CV (%)	DV
1	0,40	0	29,99	19,41	5,99	33,51	4,29	1,43
2	0,40	5	30,75	4,90	1,51	33,81	13,19	4,55
3	0,40	10	27,63	9,22	2,62	33,91	10,85	3,71
4	0,50	0	27,88	15,34	4,18	31,69	6,99	2,23
5	0,50	5	25,41	7,86	2,05	33,49	3,70	1,24
6	0,50	10	29,47	17,75	4,89	31,83	6,91	2,26
7	0,60	0	26,61	25,51	7,11	28,28	7,26	2,06
8	0,60	5	28,11	15,44	4,14	28,73	8,75	2,60
9	0,60	10	26,89	13,18	3,53	34,16	14,74	5,12

Rel. a/agl – Relação água/aglomerante; Tsa – Teor de substituição de sílica ativa; CV – Coeficiente de variação; DV – Desvio Padrão.

verificado decréscimo de 7% no módulo de elasticidade, da relação 0,5 para a relação 0,4.

A Figura 2 mostra a influência isolada da idade sobre o módulo de elasticidade dos concretos. Tal figura foi obtida por meio dos resultados do ensaio de módulo de elasticidade dos traços estudados, na análise de variância (ANOVA).

De acordo com o gráfico, nota-se um aumento significativo no módulo de elasticidade na idade de 28 dias, em comparação com os valores obtidos em ensaio realizado na idade de 7 dias. Tal acréscimo nos resultados se deve às propriedades do cimento utilizado na pesquisa, que reage ao longo do tempo, apresentando, portanto, acréscimo nos resultados de outras propriedades, como resistência à compressão uniaxial e tração na flexão.

O efeito combinado da interação entre o Tsa e a relação a/agl no módulo de elasticidade está demonstrado na Figura 3.

Pela Figura 3 observa-se que não existe uma tendência de comportamento clara entre os resultados encontrados no ensaio. Nos valores de módulo de elasticidade para a relação a/agl 0,4 verificou-se, por meio de análise estatística realizada pelo Método de Fischer, que os valores obtidos para os três teores de substituição (0%, 5% e 10%) não foram significativamente diferentes entre si. Cabe salientar que esse fato também foi detectado para a relação a/agl 0,5.

A análise realizada para a relação a/agl 0,6, pelo mesmo método citado anteriormente, demonstrou que os resultados obtidos para os traços com 5% de substituição de sílica ativa não foram significativamente diferentes aos valores dos traços sem substituição desse material. Já os resultados dos traços com 10% de substituição demonstraram-se significativamente diferentes aos resultados obtidos para os traços com 5% de substituição dessa adição mineral.

Figura 1 - Efeito isolado da relação água/aglomerante no módulo de elasticidade

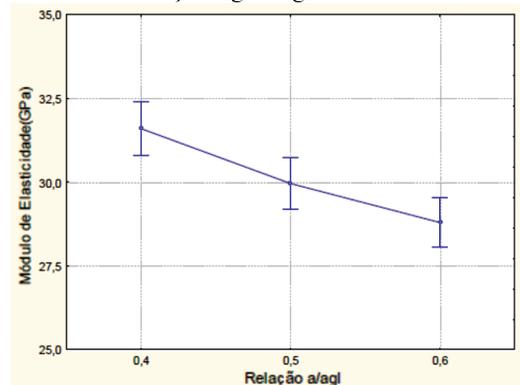


Figura 2 - Efeito isolado da idade (dias) no módulo de elasticidade

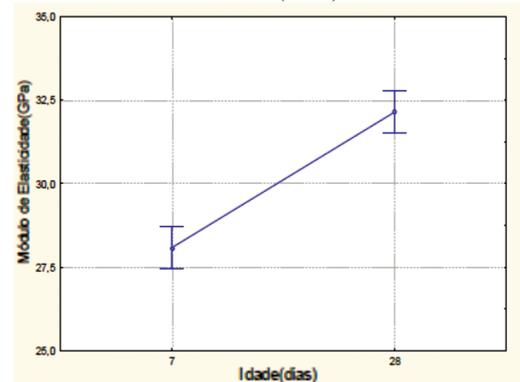


Figura 3 - Efeito combinado do teor de substituição de sílica ativa (Tsa) e da relação água/aglomerante no módulo de elasticidade

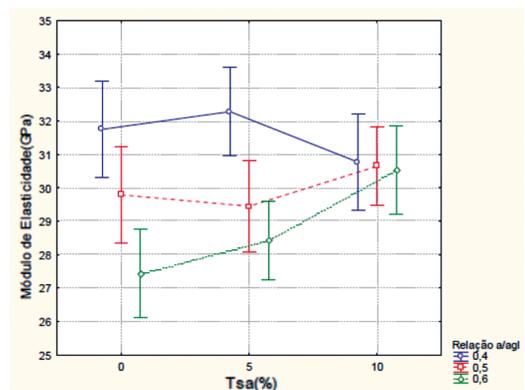


Tabela V - Resultados médios em MPa para o ensaio de dureza superficial

Traço	Fatores controláveis		Idade de ensaio					
	Rel. a/agl	Tsa (%)	7 dias			28 dias		
			Média	CV (%)	DV	Média	CV (%)	DV
1	0,40	0	42,53	4,06	1,72	47,58	1,96	0,94
2	0,40	5	44,25	5,00	2,23	50,38	1,25	0,63
3	0,40	10	42,54	0,91	0,39	49,84	4,50	2,21
4	0,50	0	31,86	3,21	1,01	42,37	2,78	1,18
5	0,50	5	37,84	2,80	1,07	39,39	2,32	0,90
6	0,50	10	36,73	4,46	1,64	42,82	1,45	0,62
7	0,60	0	27,67	4,96	1,37	36,08	5,23	1,90
8	0,60	5	29,95	3,42	1,02	39,75	3,24	1,29
9	0,60	10	34,22	2,16	0,75	36,15	3,05	1,10

Rel. a/agl – Relação água/aglomerante; Tsa – Teor de substituição de sílica ativa; CV – Coeficiente de variação; DV – Desvio Padrão.

Dureza Superficial por Esclerometria

Nesta pesquisa a dureza superficial foi medida por meio de ensaio de esclerometria, nas idades de 7 e 28 dias. Os resultados da dureza superficial média para os concretos encontram-se na Tabela V.

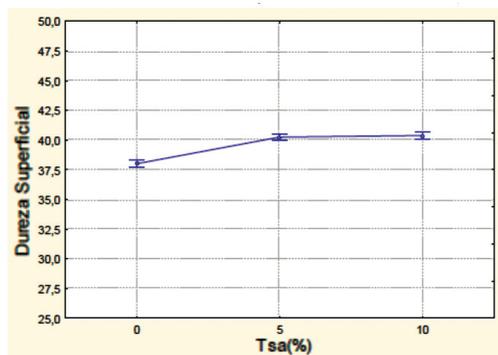
Os resultados foram analisados estatisticamente pelo método de análise de variância (ANOVA). Grande parte dos efeitos das variáveis de controle foram significativos na variável de resposta, com exceção ao efeito combinado entre a relação água/agl e a idade. As discussões que seguem analisam os efeitos isolados e as interações significativas, verificadas por meio da análise de variância (ANOVA), sendo que os efeitos de 3ª ordem não serão abordados.

A Figura 4 mostra a influência isolada do Tsa sobre a dureza superficial dos concretos. Tal figura foi obtida pelos resultados do ensaio de dureza superficial dos traços estudados, nas idades de 7 e 28 dias, na análise de variância (ANOVA).

Analisando-se estatisticamente a Figura 4, é possível perceber que, com teores de substituição de 5% de sílica ativa, verificaram-se ganhos na dureza dos concretos. Conforme

análise pelo Método de Fischer, verificou-se que os resultados obtidos para os teores de substituição de 5% e 10% não foram significativamente diferentes entre si.

Figura 4 - Efeito isolado do teor de substituição de sílica ativa (Tsa) na dureza superficial

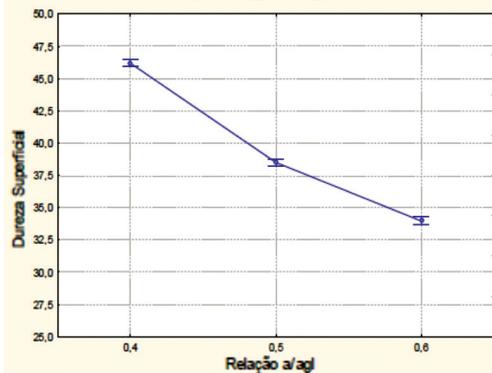


A Figura 5 mostra a influência isolada da relação a/agl sobre a dureza superficial dos concretos. Tal figura foi obtida por meio dos resultados da dureza superficial dos traços estudados, na análise de variância (ANOVA).

De acordo com a Figura 5, é possível observar uma diminuição significativa da dureza superficial para relações água/aglo-

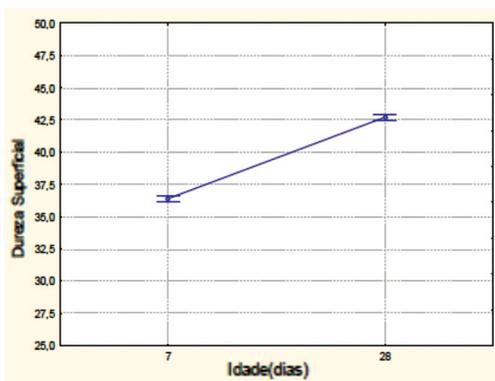
merantes mais altas (0,5; 0,6). Tal resultado está correlacionado com as outras propriedades medidas, dentre elas a resistência à compressão uniaxial, na qual uma redução dos valores obtidos conseqüentemente reduz os valores de dureza superficial.

Figura 5 - Efeito isolado da relação água/aglomerante na dureza superficial



Comportamento semelhante foi verificado nas análises dos resultados de resistência à tração na flexão, resistência à compressão uniaxial e módulo de elasticidade, no qual os resultados obtidos para as relações a/agl estudadas apresentaram uma tendência clara de comportamento, sendo verificados decréscimos acentuados em todas as propriedades analisadas com relações a/agl mais altas.

Figura 6 - Efeito isolado da idade na dureza superficial

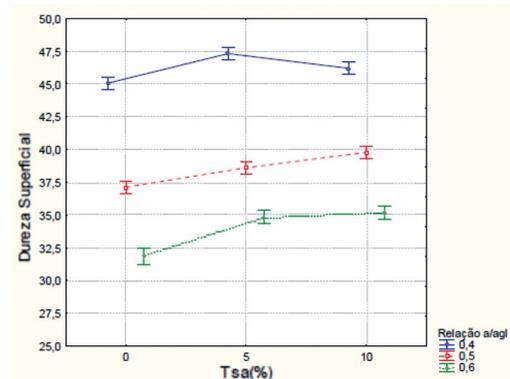


A Figura 6 mostra a influência isolada da idade sobre a dureza superficial dos concretos. Pela Figura 6 percebe-se aumento significativo da dureza superficial na idade de 28 dias, em comparação aos valores obtidos para os ensaios realizados aos 7 dias.

Conforme análise estatística realizada pelo Método de Fischer, constatou-se que os resultados encontrados são significativamente diferentes entre si, sendo que para a idade de 28 dias verificou-se acréscimo de 18,7% nos valores de dureza superficial, em comparação aos 7 dias.

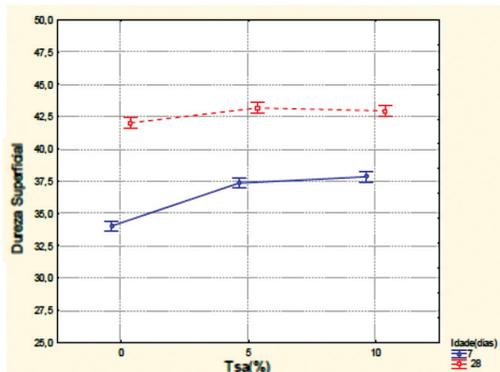
O efeito combinado da interação entre o Tsa e a relação a/agl na dureza superficial está demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Efeito combinado da relação água/aglomerante e do teor de substituição de sílica ativa (Tsa) na dureza superficial



Analisando-se a Figura 7 verifica-se que, para os três teores de substituição de sílica ativa, os resultados obtidos demonstraram uma tendência clara de comportamento, sendo verificada variabilidade nos resultados com 10% de substituição de sílica ativa e relação a/agl 0,4. Comportamento semelhante foi verificado nas análises dos resultados de módulo de elasticidade.

O efeito combinado da interação entre o Tsa e a idade na dureza superficial está demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Efeito combinado da idade (dias) e do teor de substituição de sílica ativa (Tsa) na dureza superficial

De acordo com a Figura 8, verifica-se que os valores obtidos para o ensaio de dureza superficial, com diferentes Tsa, nas idades de ensaio adotadas para essa pesquisa, apresentaram uma tendência clara de comportamento.

Foi possível verificar que, para a idade de ensaio de 7 dias, houve acréscimo nos valores de dureza superficial, sendo percebido acréscimo de 8,6% nos traços com 5% de substituição de sílica ativa em relação aos traços sem substituição desse material. Foi registrado, também, acréscimo de 2,2% nos valores encontrados para os traços com 10% de substituição de sílica ativa em relação aos traços com 5% de substituição desse material.

Para os ensaios realizados aos 28 dias, constatou-se, pelo Método de Fischer, que os resultados encontrados para os teores de 5% e 10% de substituição de sílica ativa não são estatisticamente diferentes entre si. Comportamento similar foi constatado nos resultados de resistência à compressão uniaxial.

Exsudação

A exsudação é uma propriedade de extrema importância na avaliação do dimensionamento dos compostos cimentícios, uma vez que exerce influência direta na durabilidade dos materiais. Quando em excesso leva a um enfraquecimento da ligação entre a matriz de cimento e a superfície dos agregados (zona de transição), reduzindo a resistência do concreto e propiciando a formação de vazios capilares, o que compromete a durabilidade do material (SILVA, 2011).

Um concreto com alta relação a/c pode levar à segregação dos materiais constituintes e promover exsudação excessiva, carregando material mais frágil para a superfície (ACI 302.1R, 2004).

Essa propriedade é muito importante na execução de pisos de concreto, uma vez que a camada exsudada que se forma na superfície do piso pode permitir o desgaste acentuado

Tabela VI - Resultados do ensaio de exsudação

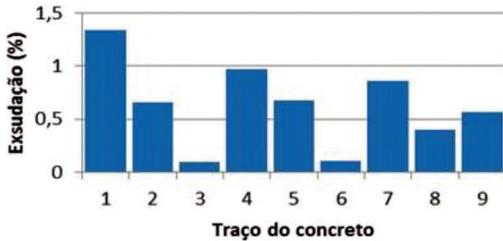
Traço	Fatores Controláveis		Quantidade de água exsudada (%)
	Rel. água/agl	Tsa (%)	
1	0,40	0	1,34
2	0,40	5	0,66
3	0,40	10	0,10
4	0,50	0	0,97
5	0,50	5	0,68
6	0,50	10	0,11
7	0,60	0	0,86
8	0,60	5	0,40
9	0,60	10	0,57

Rel. a/agl – Relação água/aglomerante; Tsa – Teor de substituição de sílica ativa.

dos concretos (SILVA, 2011). Os resultados de exsudação dos concretos estudados encontram-se na Tabela VI.

A Figura 9 demonstra um comparativo entre os percentuais de exsudação obtidos para cada traço estudado.

Figura 9 - Resultados ensaio de exsudação



Uma questão relevante na análise dos resultados obtidos é o fato de que todos os percentuais de exsudação ficaram abaixo do máximo recomendado para pisos de concreto (3%), a fim de evitar problemas de delaminação (ACI, 2004).

Analisando-se os resultados de exsudação em relação ao percentual de substituição de sílica ativa, é possível observar uma diminuição da taxa de exsudação em traços que possuem substituição de sílica ativa em sua composição: quanto maior o teor de sílica ativa, menor a porcentagem de exsudação registrada.

Pode-se concluir, de acordo com Neville (1997), que a redução da exsudação para os traços produzidos com Tsa de 5% e 10% pode ser explicada em função da grande finura da sílica ativa, fato que aumenta a coesão das misturas e minimiza a exsudação, o que, por sua vez, reduz a porosidade na zona de transição entre a pasta de cimento e os agregados, trazendo ganhos de resistência e de durabilidade aos compósitos.

Variabilidade ocorreu para relação a/agl 0,6 e teor de substituição de sílica ativa de 10%, em que verificou-se acréscimo no percentual de água exsudada, fato este que não

era esperado. De acordo com Cristelli (2010), um processo de vibração inadequado (de longa duração ou recorrente no mesmo local), promove a exsudação excessiva, fazendo com que a água e o teor de finos migrem para a superfície. Fato este que pode estar relacionado com a variabilidade observada.

Conclusões

As conclusões verificadas para a influência de cada um dos fatores, escolhidos frente aos ensaios de resistência à compressão uniaxial, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade, dureza superficial e exsudação estão apresentadas a seguir:

- o Tsa exerceu influência direta na resistência à compressão uniaxial, sendo que verificou-se acréscimo de 7,9% e 9,4%, respectivamente, para os traços com 5% e 10% de substituição de sílica ativa, em relação aos traços sem substituição desse material;
- a relação a/agl exerceu influência direta na resistência à compressão uniaxial, sendo que em análise dos resultados obtidos verificou-se decréscimo de 19,18% nos resultados obtidos para os traços com relação a/agl 0,5 em relação aos resultados obtidos para os traços com relação a/agl 0,4. Nos resultados obtidos para os traços com relação a/agl 0,6 verificou-se decréscimo de 27,0% nos valores de resistência à compressão uniaxial, em relação aos valores obtidos nos traços com relação a/agl 0,5;
- a idade acarretou aumento significativo nos valores de resistência à compressão uniaxial em idades de ensaio mais avançadas (28 e 91 dias) em relação à idade de 7 dias, fato já esperado;
- o Tsa ocasionou acréscimo nos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão, sendo que os traços com teor de

substituição de 5% e 10% de sílica ativa maximizaram a resistência à tração na flexão em 13,1% e 16,7%, respectivamente, em relação aos traços sem substituição de sílica ativa;

- e) a relação a/agl acarretou redução gradual na resistência à tração na flexão, para diferentes relações água/aglomerantes estudadas, sendo que relações a/agl de 0,5 e 0,6 minimizaram a resistência à tração na flexão em 12,0% e 24,4%, em relação aos traços com relação a/agl 0,4, fato já esperado;
- f) a idade ocasionou acréscimo significativo na resistência à tração na flexão, quando a idade de ensaio variou de 7 para 28 dias, fato já esperado;
- g) o efeito isolado do Tsa não causou influência significativa no módulo de elasticidade;
- h) a relação a/agl mostrou-se significativa nos resultados do módulo de elasticidade, onde para a relação 0,5 verificou-se uma redução de 7% em relação aos resultados obtidos para a relação 0,4;
- i) a idade ocasionou um aumento significativo no módulo de elasticidade, sendo observados valores superiores para o ensaio na idade de 28 dias, em comparação aos valores obtidos na idade de 7 dias;
- j) o efeito isolado do Tsa ativa causou influência significativa na dureza superficial;

l) a relação a/agl apresentou grande influência nos resultados de dureza superficial, sendo observado decréscimos significativos de dureza com relações água/aglomerantes mais altas;

- m) a idade ocasionou acréscimo significativo na dureza superficial, sendo que para as análises aos 28 dias foi possível constatar aumento de 18,7% nos valores em comparação aos obtidos na idade de 7 dias;
- n) o Tsa ocasionou decréscimo acentuado nos percentuais de exsudação.

Portanto, o “traço ideal” para um piso de concreto seria executado com relação a/agl 0,4 e Tsa de 10%, sendo, porém, inviável em função do seu custo. Além disso, percebe-se que para teores Tsa de 5% e 10%, os resultados obtidos não apresentaram grandes variações, sendo que em algumas situações não foi verificada diferença significativa entre ambos. Por sua vez, a relação a/agl, em variações de 0,4 e 0,5 apresenta decréscimos expressivos de seus resultados.

De acordo com os resultados obtidos no decorrer dessa pesquisa, pode-se concluir que o “traço ideal” para um piso de concreto seria executado com relação a/agl 0,4 e Tsa de 5%. Essa afirmação se baseia em condições adequadas de execução, levando-se em consideração, principalmente, questões de custo.

REFERÊNCIAS

- ACI Committee 302.1R-04 – **Guide for Concrete Floor and Slab Construction**. American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 7584:** Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 8522:** Concreto – Determinação do módulo de deformação elástica e diagrama – Tensão x Deformação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **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.

CHODOUNSKY, M. A.; VIECILI, F. A. **Pisos Industriais de Concreto – Aspectos Teóricos e Executivos.** São Paulo: Reggenza, 2007.

CRISTELLI, R. **Pavimentos Industriais de Concreto – Análise do sistema construtivo.** 2010. 161 f. Monografia (Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

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

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Tradução de Salvador E. Giamusso. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

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. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre.