



## AVALIAÇÃO DO EFEITO DO CONSUMO DE ÁGUA SOBRE CONCRETOS DE MESMA RESISTÊNCIA, FRENTE AO FENÔMENO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM

**Juliana A. de L. Senisse (1); Denise C. C. Dal Molin (2); Ana Luiza R. Abitante (3)**

- (1) Núcleo Orientado para Inovação na Edificação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: julianasenisse@gmail.com
- (2) Núcleo Orientado para Inovação na Edificação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: 00006726@ufrgs.br
- (3) Núcleo Orientado para Inovação na Edificação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: ana.abitante@ufrgs.br

### RESUMO

**Proposta:** A retração por secagem do concreto, decorrente das variações volumétricas presentes na matriz cimentícia devido ao processo de secagem do material, é uma propriedade altamente preocupante. Durante este processo, altas tensões de tração e de compressão são geradas, provocando uma tendência de fissuração no compósito cimentício. Fatores relacionados com o proporcionamento dos materiais constituintes do traço do concreto, bem como às características físico-químicas dos materiais empregados na mistura, influenciam na magnitude deste fenômeno. Neste sentido, esta pesquisa teve por objetivo avaliar a influência do fator consumo de água ( $175 \text{ l/m}^3$ ,  $190 \text{ l/m}^3$  e  $205 \text{ l/m}^3$ ) frente à retração por secagem, em concretos proporcionados para pisos, com níveis de resistência semelhantes. **Método de pesquisa/Abordagens:** Resistência à compressão uniaxial, Resistência à tração na flexão, Retração por secagem livre e Retração por secagem restringida. **Resultados:** Os ensaios correspondentes às propriedades mecânicas demonstraram que para os compósitos cimentícios analisados, com mesma relação a/c, a variação do consumo de água da mistura não influenciou na resistência do concreto, desta forma, evidenciou-se a semelhança entre os níveis de resistência dos concretos estudados. No ensaio de retração por secagem livre, os resultados demonstraram uma deformação unidimensional livre mais acentuada para os concretos com maior consumo de água, porém tal diferença não se demonstrou significativa, quando analisada estatisticamente. Diferentemente do observado no ensaio de retração por secagem restrinida, onde os resultados mostraram uma maior tendência de fissuração dos compósitos cimentícios com elevados consumos de água. Logo, pode-se concluir que a magnitude da deformação unidimensional livre do concreto foi pouco influenciada pela variável consumo de água. Contudo, no ensaio de retração por secagem restrinida, tal fator controlável influenciou diretamente na idade de aparecimento da primeira fissura. **Contribuições/Originalidade:** Uso do ensaio de retração restrinida para avaliar a tendência de fissuração devido ao fenômeno da retração por secagem em concretos proporcionados para pisos.

Palavras-chave: retração por secagem livre; retração por secagem restrinida; tendência de fissuração.

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados em todo o mundo. Devido a sua elevada empregabilidade, este material está sujeito a deparar-se com diferentes situações, principalmente relacionadas à escolha de seus materiais constituintes, com o meio em que está inserido e com a natureza do elemento estrutural. Contudo, a interação inadequada entre estes parâmetros pode gerar diversos tipos de manifestações patológicas, as quais prejudicam severamente a durabilidade das estruturas.

Em elementos como pisos de concreto, a presença de manifestações patológicas é recorrente, podendo estas estarem relacionadas com inúmeros fatores, como por exemplo, o proporcionamento incorreto dos materiais constituintes do traço do concreto ou, com as características próprias do elemento estrutural, como a sua grande área superficial, a qual favorece a troca de umidade entre o concreto e o ambiente externo. Neste sentido, a união destes dois fatores pode auxiliar na geração de manifestações patológicas, como a fissuração, causada pelas mudanças volumétricas decorrentes do fenômeno da retração.

O fenômeno da retração é definido como uma deformação de contração da matriz cimentícia, iniciada imediatamente após a mistura dos materiais secos com a água, isto é, a partir do início do processo de hidratação do cimento (HOLT, 2001). A ocorrência do mesmo, nos materiais cimentícios, é considerada inevitável, uma vez que durante o processo de endurecimento do material, o calor gerado pelas reações de hidratação do cimento, conjuntamente com o seu processo de secagem e com as variações térmicas do ambiente externo, podem originar uma tendência de fissuração (BANTHIA; YAN; MINDESS, 1996; NEVILLE, 1997; HOSSAIN; WEISS, 2006; ALY; SANJAYAN; COLLINS, 2008).

Ao longo do tempo, mesmo quando o material já adquiriu certo grau de resistência, as variações volumétricas provenientes da retração continuam presentes. Segundo Kaufmann, Winnefeld e Hesselbarth (2004) os principais processos relacionados às mudanças de volume são a contínua hidratação do cimento (auto-dessecação) e o constante transporte de líquido e de vapor de água. De uma forma geral, é possível dizer que a deformação da matriz cimentícia ocorre devido a fatores relacionados com a perda de água para o ambiente externo, variações de temperatura e reações químicas de hidratação.

Neste período, diferentes tipos de retração ocorrem nas matrizes cimentícias, contudo, optou-se em estudar a retração por secagem, devido a sua elevada contribuição na retração total do concreto. Segundo Bissonnette, Pierre e Pigeon (1999), a retração por secagem pode ser considerada a principal responsável pela deterioração das estruturas de concreto.

A retração por secagem pode ser definida como a ocorrência de deformações volumétricas, oriundas do processo de secagem do material. Por este processo ocorrer lentamente e de forma não homogênea na estrutura, é formado um gradiente de umidade. Este gradiente ou diferencial de secagem decorre das diferenças na obtenção do equilíbrio hídrico da estrutura com a umidade relativa do ambiente externo, onde na camada superficial ocorre rapidamente, enquanto no interior do material, dependendo de suas dimensões, o processo ocorre de forma mais branda (COLINA; ACKER, 2000; HOLT, 2001; BENBOUDJEMA; MEFTAH; TORRENTI, 2007; SA et al., 2008; WITTMANN; BELTZUNG; ZHAO, 2009).

Como consequência da evaporação inicial da água, é formada uma rede complexa de meniscos, a qual origina pressões negativas, devido ao aumento na tensão superficial dos capilares, levando a contração do volume da pasta de cimento. Em outras palavras, à medida que ocorre o processo de secagem do material, meniscos esféricos são formados dentro dos poros capilares. Tal formação é seguida por uma redução progressiva do raio de curvatura ( $r$ ) deste menisco, o qual proporciona um equilíbrio entre a fase líquida e a fase gasosa do mesmo. Assim sendo, a fase líquida é tracionada, induzindo pressões negativas sobre as paredes dos capilares, tendendo a aproximá-las. Por sua vez, esta pressão da fase líquida tem de ser equilibrada por uma mudança de volume do sólido poroso, portanto, gerando o fenômeno da retração (HUA; ACKER; EHRLACHER, 1995; ACKER; ULM, 2001; VAN DAM et al., 2005; BENBOUDJEMA; MEFTAH; TORRENTI, 2007; SILVA, 2007).

Deformações provenientes deste fenômeno como contrações ou expansões do material, originam tensões de tração. Quando estas tensões excedem a capacidade que o material pode suportar, na

maioria dos casos, o fenômeno da retração por secagem vem acompanhado pela formação de fissuras superficiais (WITTMANN; BELTZUNG; ZHAO, 2009). Neste sentido, este estudo tem por objetivo avaliar a influência do consumo de água frete ao fenômeno da retração por secagem, em concretos proporcionados para pisos, com níveis de resistência semelhantes.

## 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a produção dos concretos avaliados foram cimento pozolânico (CP IV-32), agregado graúdo de origem basáltica, com módulo de finura de 6,67, agregado miúdo de origem quartzosa, com módulo de finura de 2,54, e água.

### 2.2 Produção dos concretos

Inicialmente foi realizada uma dosagem experimental através do método do IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian (1992). A partir dos resultados desta dosagem experimental, foram definidos os parâmetros de mistura dos concretos avaliados.

Como o consumo de água dos concretos foi variável (175 l/m<sup>3</sup>, 190 l/m<sup>3</sup> e 205 l/m<sup>3</sup>), optou-se em modificar o consumo de cimento das misturas, a fim de manterem-se constantes a relação a/c (0,53) e o teor de argamassa (55%). Desta forma, a única e principal diferença percebida durante a produção dos concretos refere-se ao aumento significativo do abatimento (slump), realizado segundo a NBR 7223 (1992).

Tal comportamento era esperado, uma vez que o aumento do volume de pasta de cimento da mistura acarretaria uma redução do atrito entre os grãos, assim majorando a trabalhabilidade do concreto. A tabela 1 demonstra as características dos concretos estudados, bem como os parâmetros das misturas.

**Tabela 1 – Características e parâmetros das misturas**

Traço	Tipo de cimento	Consumo de água (l/m <sup>3</sup> )	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Traço unitário				Parâmetros da mistura			
				cim	a	p	m	a/c	$\alpha$ (%)	H (%)	Abatimento (mm)
1	CP IV	175	330,2	1	2,56	2,92	5,48		8,18	80	
2		190	359,0	1	2,30	2,70	5,00	0,53	55	8,83	120
3		205	386,8	1	2,03	2,48	4,51		9,62		180

## 3 MÉTODOS DE ENSAIO

### 3.1 Propriedades mecânicas

A avaliação das propriedades mecânicas dos concretos estudados foi realizada a partir dos ensaios de resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão. Estes ensaios foram empregados a fim de controlar tecnologicamente os concretos, bem como avaliar a influência da variável consumo de água. É válido lembrar, que a resistência à tração na flexão dos concretos empregados em pisos é um parâmetro de projeto extremamente importante, uma vez que estes elementos estão sujeitos a elevados esforços de tração ao longo de sua vida útil.

O ensaio de resistência à compressão uniaxial seguiu as recomendações da norma brasileira NBR 5739 (1994). Para este ensaio utilizaram-se corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 9,5x19 cm, sendo moldados 9 corpos-de-prova para cada traço de concreto. Já o ensaio de resistência à tração na flexão seguiu as especificações da norma NBR 12142 (1994). Neste ensaio foram empregados corpos-de-prova prismáticos de dimensões 10x10x35 cm, e, igualmente, moldaram-se 9 corpos-de-prova para cada traço de concreto.

O procedimento de ensaio, referente às propriedades mecânicas, foi realizado igualmente para os dois ensaios mencionados acima. Após a concretagem, os corpos-de-prova foram revestidos por um filme plástico transparente, a fim de evitar a evaporação de água da mistura para o ambiente externo, e

foram armazenados em uma superfície rígida e livre da ação de intempéries, durante as primeiras 24 horas. Posteriormente a este período, os corpos-de-prova foram desmoldados e armazenados em uma câmara úmida ( $UR \geq 95\%$  e temperatura de  $23 \pm 2^\circ C$ ) até a idade de execução dos ensaios, sendo estas de 7, 28 e 91 dias. Em cada uma destas idades foram ensaiados três corpos-de-prova, para cada traço de concreto.

### 3.2 Retração por secagem livre

A retração unidimensional livre (variação de comprimento) é uma propriedade extremamente importante na avaliação do proporcionamento dos compósitos cimentícios, uma vez que exerce influência direta sobre as características de durabilidade dos materiais. Cabe ressaltar que o procedimento normalizado pela ASTM C 157 (1991) determina experimentalmente a magnitude do fenômeno da retração por secagem para corpos-de-prova prismáticos não selados.

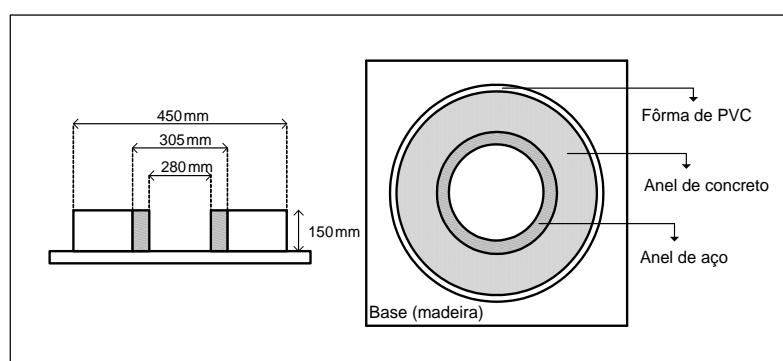
Este ensaio seguiu as recomendações da norma americana ASTM C-157 (1993), sendo empregados moldes prismáticos, com dimensões de  $7,5 \times 7,5 \times 28,5$  cm, sendo moldados 2 corpos-de-prova para cada traço de concreto estudado. Após a moldagem dos corpos-de-prova, os mesmos foram revestidos por um filme plástico transparente e impermeável, a fim de evitar a perda de água para o ambiente externo por evaporação, e armazenados em câmara úmida, com umidade e temperatura controladas ( $UR \geq 95\%$  e temperatura de  $23 \pm 2^\circ C$ ), durante 24 horas.

Posteriormente a este período, os corpos-de-prova foram desmoldados e passaram por um processo de cura submersa durante o período de sete dias, em um recipiente com água, em temperatura ambiente, saturada em cal. Neste processo de cura foram realizadas leituras da variação unidimensional livre aos 1, 4 e 7 dias. A partir do 7º dia, os corpos-de-prova passaram a ser armazenados ao ar, em uma câmara climatizada, com temperatura ( $23 \pm 1,7^\circ C$ ) e umidade ( $50 \pm 4\%$ ) controladas. Neste ambiente, leituras da deformação unidimensional livre foram realizadas nas idades de 14, 28, 56 e 112.

### 3.3 Retração por secagem restringida

A retração por secagem restringida é uma propriedade extremamente importante na avaliação do proporcionamento dos compósitos cimentícios, uma vez que exerce influência direta sobre as características de durabilidade dos materiais. O procedimento utilizado neste ensaio possibilita a reprodução do comportamento do compósito cimentício, quando sujeito a restrições internas e externas.

O ensaio seguiu as especificações da norma americana AASHTO PP34-99 (2005). O molde utilizado para este ensaio foi desenvolvido seguindo as recomendações desta norma. A figura 1 demonstra de forma esquemática as dimensões do molde empregado na pesquisa.



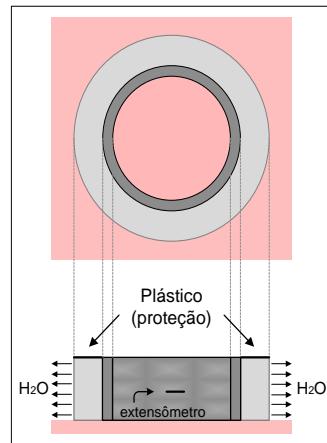
**Figura 1 –** Equipamento utilizado no ensaio de retração por secagem restringida, baseado na norma AASHTO PP34-99 (2005)

Inicialmente, foi realizada a instrumentação do equipamento, com o auxílio de extensômetros elétricos (Figura 2), a qual teve por finalidade auxiliar no processo de aquisição e registro de dados. Com o processo de instrumentação completo, os moldes foram preparados e armazenados ao ar em uma câmara climatizada, com temperatura ( $23 \pm 1,7^\circ C$ ) e umidade ( $50 \pm 4\%$ ) controladas. Tal procedimento foi realizado com o intuito de estabilizar as leituras dos extensômetros elétricos.

Os corpos-de-prova foram moldados na câmara climatizada, assim evitando possíveis erros de leituras devido às variações de temperatura e umidade. O processo de cura inicial consistiu na cobertura do corpo-de-prova por um plástico espesso e por sacas de aniagem úmidas, durante 24 horas, impedindo a ocorrência da evaporação de água para o ambiente externo nas primeiras idades. Após esta fase inicial, o corpo-de-prova foi desmoldado e o plástico espesso foi colado em sua superfície, a fim de limitar o processo de secagem à somente as laterais do corpo-de-prova (Figura 3). Contudo, devido a limitações físicas e econômicas da pesquisa foi empregado 1 corpo-de-prova (anel) para cada traço de concreto estudado.



**Figura 2 – Instrumentação completa do equipamento**



**Figura 3 – Representação esquemática do processo de secagem**

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

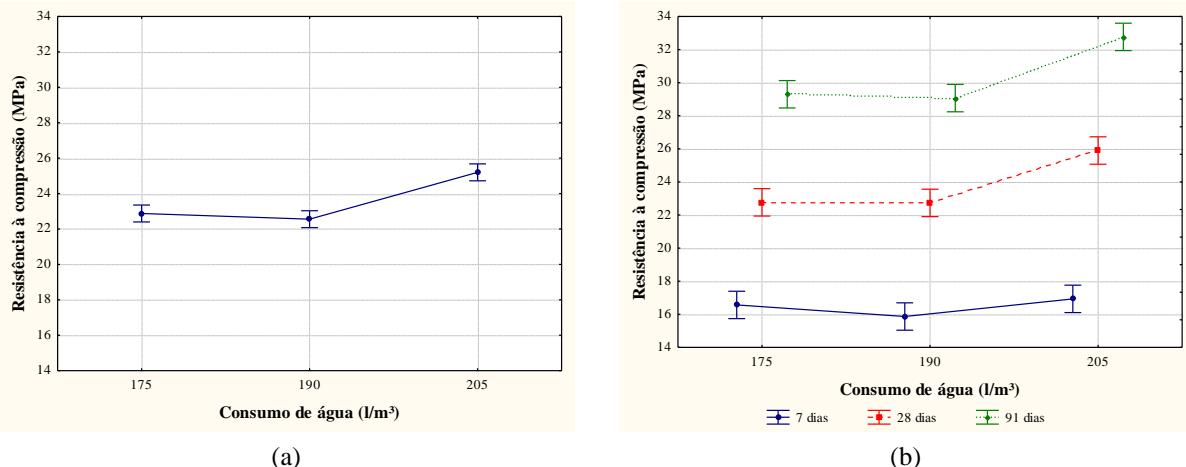
Os resultados obtidos nos ensaios de propriedades mecânicas e de retração por secagem livre e restringida são demonstrados separadamente nos itens abaixo. Todos os dados foram analisados através do método de análise de variância (ANOVA), a fim de avaliar o efeito isolado dos fatores controláveis e de suas interações nas variáveis de resposta analisadas.

### 4.1 Resistência à compressão uniaxial

Através da análise de variância, verificou-se um leve aumento na resistência à compressão uniaxial do concreto com consumo de água de 205 l/m<sup>3</sup> (Gráfico 1(a)). Realizando uma análise pelo teste de Fisher, o qual permite calcular a probabilidade de associação das características que estão em análise, verificou-se uma diferença significativa entre a resistência do concreto com consumo de água elevado em relação aos demais. Contudo, é possível afirmar que os concretos estudados demonstraram níveis semelhantes de resistência à compressão. Este comportamento pode ser explicado pela constância da relação a/c (0,53) dos concretos, modificando somente o consumo de água e o consumo de cimento das misturas.

A partir da análise da interação entre o consumo de água e a idade (Gráfico 1(b)), percebe-se uma tendência de comportamento semelhante para os concretos avaliados, isto é, os resultados apresentaram um aumento da resistência à compressão para o traço dosado com consumo de água de 205 l/m<sup>3</sup>, em todas as idades analisadas. Contudo, aos 7 dias, o aumento da resistência não mostrou-se significativo quando analisado pelo método do teste de Fisher.

Já aos 28 e 91 dias, a resistência à compressão do concreto, produzido com consumo de água elevado, foi majorada em aproximadamente 13%, em ambas as idades. Realizando uma análise estatística pelo teste de Fisher, verificou-se que esta diferença foi significativa. Tal fato pode ter ocorrido em consequência do maior consumo de cimento da mistura, desta forma, a ocorrência das reações de hidratação do cimento, com o passar do tempo, possivelmente, aumentaram a resistência à compressão do concreto.



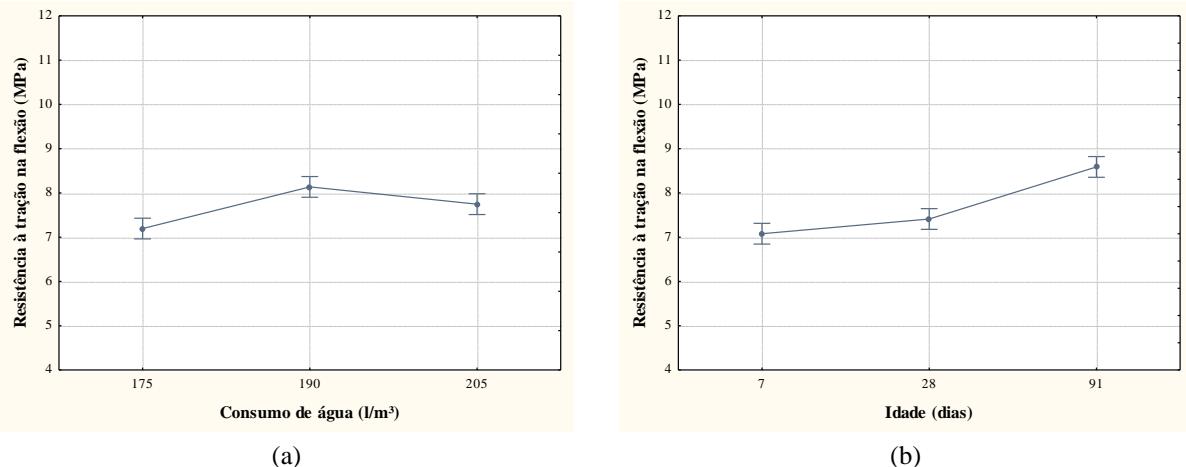
**Gráfico 1** – Análise de variância referente à resistência à compressão uniaxial. (a) efeito isolado do consumo de água (l/m<sup>3</sup>). (b) efeito da interação entre o consumo de água (l/m<sup>3</sup>) e a idade (dias)

Observa-se também uma relação direta entre a resistência à compressão e a idade de análise, conforme esperado. O aumento da resistência dos 7 para os 28 dias foi cerca de 45%, enquanto dos 28 para os 91 dias foi de 28%. De acordo com a análise de variância (ANOVA), a idade de análise foi o fator controlável que influenciou de forma mais significativa esta variável de resposta.

#### 4.2 Resistência à tração na flexão

Os resultados obtidos neste ensaio demonstram um leve crescimento da resistência à tração na flexão para o concreto produzido com consumo de água de 190 l/m<sup>3</sup> (Gráfico 2(a)). A partir de uma análise estatística pelo teste de Fisher, verificou-se a existência de diferença significativa entre os resultados, no entanto, observa-se que os dados obtidos apresentaram níveis de resistência semelhantes para os concretos avaliados, conforme o esperado, uma vez que a relação a/c das misturas foi mantida constante.

Com relação ao efeito isolado da idade sobre a variável de resposta analisada (Gráfico 2(b)), verificou-se uma proporcionalidade direta entre a resistência do concreto e a idade de análise, conforme o esperado. Este crescimento foi de aproximadamente 5% dos 7 aos 28 dias, e de 16% dos 28 para os 91 dias.



**Gráfico 2** – Análise de variância referente à resistência à tração na flexão. (a) efeito isolado do consumo de água (l/m<sup>3</sup>). (b) efeito isolado da idade (dias)

#### 4.3 Retração por secagem livre

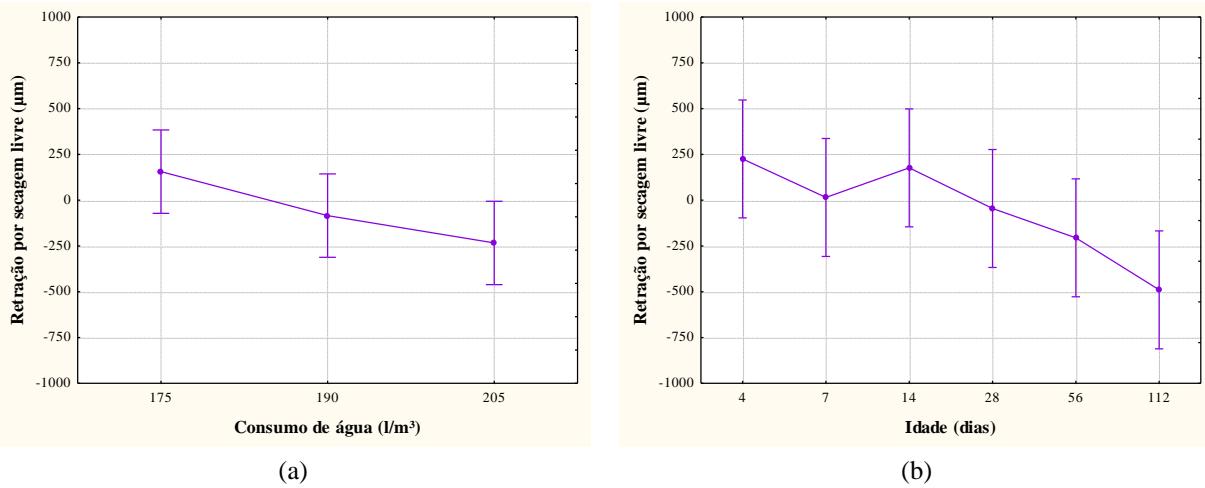
Os resultados médios obtidos no ensaio de retração por secagem livre são apresentados na Tabela 2. Nota-se que a magnitude da retração final foi semelhante para os traços de concreto analisados. No entanto, realizando uma análise de variância (ANOVA), verificou-se um crescimento da magnitude da

retração por secagem livre com o aumento do consumo de água da mistura (Gráfico 3(a)). Comportamento esperado, pois, como a relação a/c foi mantida constante (0,53) para todos os traços estudados, quanto maior o consumo de água, maior o consumo de cimento e o volume de pasta de cimento, e menor a quantidade de agregados no compósito. Assim, a porosidade da mistura majorou, gerando um maior número de meniscos esféricos dentro dos poros capilares e, consequentemente, uma maior intensidade de retração (HUA; ACKER; EHRLACHER, 1995; ACKER; ULM, 2001; BENBOUDJEMA; MEFTAH; TORRENTI, 2007; SILVA 2007).

**Tabela 2** – Resultados médios da retração por secagem livre dos concretos estudados

Traços	Consumo de água (l/m <sup>3</sup> )	Retração por Secagem Livre (μm)					
		Idades (dias)					
		4	7	14	28	56	112
1	175	475	177	417	324	68	-525
2	190	235	154	75	-223	-292	-453
3	205	-34	-286	38	-236	-393	-490

Tal fato também foi evidenciado em pesquisa realizada por Bissonnette, Pierre e Pigeon (1999), onde se evidenciou uma forte influência do volume de pasta de cimento sobre a magnitude da retração por secagem em concretos e argamassas. Logo, neste trabalho foi verificado que se aumentando somente o volume de pasta de cimento, se reduz as restrições impostas pelos agregados.

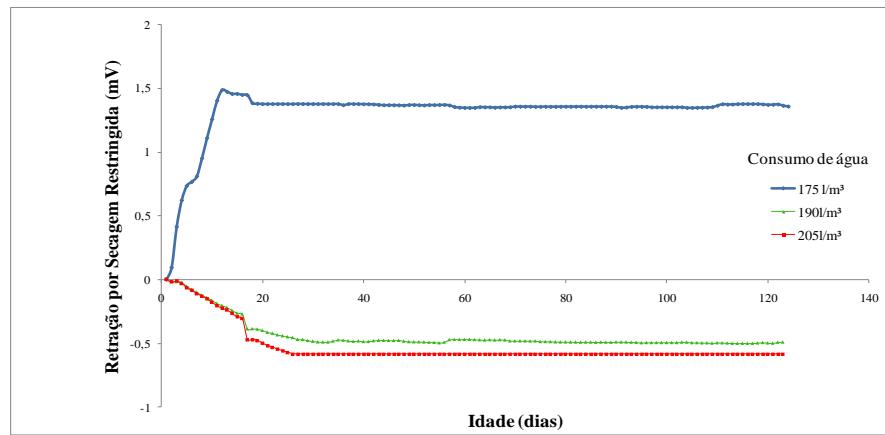


**Gráfico 3** – Análise de variância referente à retração por secagem livre. (a) efeito isolado do consumo de água (l/m<sup>3</sup>). (b) efeito isolado da idade (dias)

O efeito isolado da idade sobre a retração por secagem livre é demonstrado no Gráfico 3(b). Observa-se que a intensidade da variação unidimensional livre é majorada com o passar do tempo, acentuando-se mais significativamente a partir do 14º dia.

#### 4.4 Retração por secagem restringida

Os resultados obtidos no ensaio de retração por secagem restringida (Gráfico 4) representam as tensões médias diárias sofridas pelo anel de aço (núcleo), devido às variações dimensionais do anel de concreto. Estas leituras demonstram a diferença entre o valor referência, isto é, a primeira leitura obtida, em relação as demais realizadas ao longo do tempo.

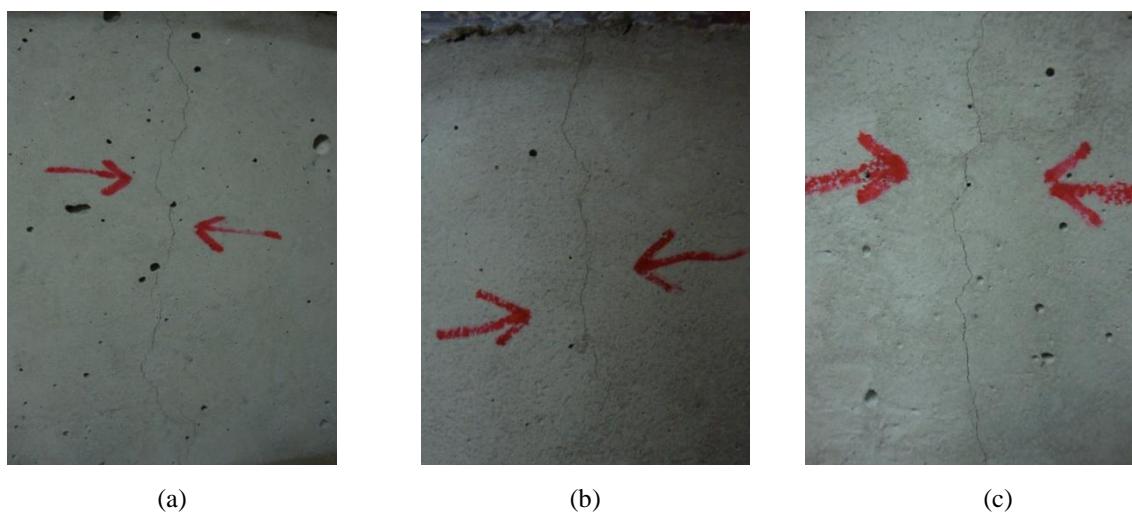


**Gráfico 4** – Valores médios diários da retração por secagem restringida

Analizando o Gráfico 4, percebe-se uma relação direta entre a intensidade da queda de tensão, no núcleo de aço, e o consumo de água da mistura. Em outras palavras, pode-se dizer que o elevado consumo de água da mistura gerou um maior alívio nas tensões sofridas pelo anel de aço. Conjuntamente, nota-se o aumento significativo das tensões geradas pelo concreto dosado com consumo de água de 175 l/m<sup>3</sup>, ou seja, ao longo do tempo, as tensões geradas pelo compósito aumentam até a ocorrência do alívio das mesmas. Já para os concretos dosados com consumos de água mais elevados (190 l/m<sup>3</sup> e 205 l/m<sup>3</sup>), a tensão gerada no momento inicial foi superior a apresentada ao longo do tempo.

Tais variações são balanceadas pelas deformações à tração que ocorrem no compósito cimentício. Assim, quando ocorre a primeira fissura no concreto, as deformações e as tensões geradas sobre o núcleo de aço são aliviadas (MOKAREM; WEYERS, LANE, 2005).

Para todos os concretos avaliados, nota-se que a queda de tensão, a qual evidencia a presença de fissuração no compósito cimentício, ocorreu próximo ao 20º dia, sendo esta mais acentuada para o concreto dosado com consumo de água de 205 l/m<sup>3</sup>. No entanto, nesta mistura, a primeira fissura somente foi encontrada, visualmente, próximo a idade de 56 dias, enquanto, para os demais concretos estudados visualizou-se próximo a idade de 112 dias. A Figura 4 demonstra a abertura das fissuras aos 145 dias.



**Figura 4** – Abertura das fissuras dos concretos. (a) consumo de água de 175 l/m<sup>3</sup>. (b) consumo de água de 190 l/m<sup>3</sup>. (c) consumo de água de 205 l/m<sup>3</sup>

Segundo a Tabela 2, a intensidade da retração por secagem livre, aos 56 dias, para o traço 3 (205 l/m<sup>3</sup>) foi de -393 µm. Desta forma, pode-se dizer que esta intensidade de deformação unidimensional livre corresponde à deformação máxima que este concreto suporta antes da ocorrência de fissuração. Para os traços 1 (175 l/m<sup>3</sup>) e 2 (190 l/m<sup>3</sup>), a deformação máxima que o concreto suportou foi de -525µm e -453 µm, respectivamente.

Logo, percebeu-se que quanto maior foi o consumo de água da mistura, maior a tendência de fissuração da matriz cimentícia. Pode-se dizer ainda que o elevado volume de pasta de cimento presente no concreto originou uma maior tendência de fissuração no material, em menores idades, para taxas de variação unidimensional livre inferiores.

## 5 CONCLUSÕES

Com a realização do estudo, conclui-se que:

- A variação do consumo de água, mantendo-se a relação a/c constante, não alterou significativamente a resistência mecânica dos concretos estudados, isto é, os concretos avaliados possuem níveis de resistência semelhantes, frente aos ensaios mecânicos realizados;
- Existe uma relação direta entre a idade e a resistência mecânica (compressão e tração na flexão) dos concretos estudados;
- O aumento da magnitude da retração por secagem livre foi diretamente proporcional ao aumento do consumo de água da mistura. Tal comportamento pode ser explicado devido ao aumento da porosidade da matriz cimentícia, pois com a relação a/c constante, o aumento do consumo de água e, consequentemente, do consumo de cimento gerou um maior volume de pasta;
- No ensaio de retração por secagem restrinida, a queda da tensão gerada pelo concreto demonstrou-se mais acentuada para o traço com consumo de água elevado ( $205 \text{ l/m}^3$ ).
- A dosagem dos concretos estudados não é a ideal para o emprego em pisos de concreto, uma vez que todos os traços avaliados apresentaram fissuração. Neste sentido, o emprego de materiais que visem reduzir a fissuração do compósito cimentício deveriam ser utilizados, como por exemplo as fibras sintéticas.

## 6 REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS.  
**AASHTO PP34-99:** Standard practice for estimating the cracking tendency of concrete. Washington: 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C157:** Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete. Philadelphia: 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7223:** Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ACKER, P.; ULM, F. J. Creep and shrinkage of concrete: physical origins and practical measurements. **Nuclear Engineering and Design**, v. 203, n. 2-3, p. 143-158, jan. 2001.

ALY, T.; SANJAYAN, J. G.; COLLINS, F. Effect of polypropylene fibers on shrinkage and cracking of concretes. **Materials and Structures**, v. 41, n. 10, p. 1741-1753, jan. 2008.

BANTHIA, N.; YAN, C.; MINDESS, S. Restrained shrinkage cracking in fiber reinforced concrete: A novel test technique. **Cement and Concrete Research**, v. 26, n. 1, p. 9-14, jan. 1996.

BENBOUDJEMA, F.; MEFTAH, F.; TORRENTI, J. -M. A viscoelastic approach for the assessment of the drying shrinkage behavior of cementitious materials. **Materials and Structures**, v. 40, n. 2, p. 163-174, mar. 2007.

BISSONNETTE, B.; PIERRE, P.; PIGEON, M. Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious materials. **Cement and Concrete Research**, v. 29, n. 10, p. 1655-1662, out. 1999.

COLINA, H.; ACKER, P. Drying cracks: Kinematics and scale laws. **Materials and Structures**, v. 33, n. 2, p. 101-107, mar. 2000.

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

HOLT, E. E. Early ages autogenous shrinkage of concrete. **Technical Research Centre of Finland**, ESPOO, 2001.

HOSSAIN, A. B.; WEISS, J. The role of specimen geometry and boundary conditions on stress development and cracking in the restrained ring test. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 1, p. 189-199, jan. 2006.

HUA, C.; ACKER, P.; EHRLACHER, A. Analyses and models of the autogenous shrinkage of hardening cement paste. I. Modelling at macroscopic scale. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 7, p. 1457-1468, out. 1995.

KAUFMANN, J.; WINNEFELD, F.; HESSELBARTH, D. Effect of the addition of ultrafine cement and short fiber reinforcement on shrinkage, rheological and mechanical properties of Portland cement pastes. **Cement & Concrete Composites**, v. 26, n. 5, p. 541-549, jul. 2004.

MOKAREM, D. W.; WEYERS, R. E.; LANE, D. S. Development of a shrinkage performance specifications and prediction model analysis for supplemental cementitious material concrete mixtures. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 5, p. 918-925, mai. 2005.

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

SA, C.; BENBOUDJEMA, F.; THIERY, M.; SICARD, J. Analysis of microcracking induced by differential drying shrinkage. **Cement & Concrete Composites**, v. 30, n. 10, p. 947-956, nov. 2008.

SILVA, E. F. **Variações dimensionais em concretos de alto desempenho contendo aditivo redutor de retração**. 2007. 357 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

VAN DAM, T. J. et al. **Final Report for Early-Opening-to-Traffic Portland Cement Concrete for Pavement Rehabilitation**. NCHRP Web-Only Document 76 (Project 18-4B), 2005. Disponível em: <[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp\\_w76.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_w76.pdf)>. Acessado em: 15 dez. 2009.

WITTMANN, F. H.; BELTZUNG, F.; ZHAO, T. J. Shrinkage mechanisms, crack formation and servicelife of reinforced concrete structures. **International Journal Structures Engineering**, v. 1, n. 1, p. 13-28, 2009.