

## **ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO POR RETRAÇÃO EM VIGAS**

**Camila Forigo<sup>1</sup>**

**Leandro Vanalli<sup>2</sup>**

**Fernanda Assunção Valim<sup>3</sup>**

**Nelci Helena Maia Gutierrez<sup>4</sup>**

### **RESUMO**

Nos últimos tempos o concreto tem sido o material estrutural mais utilizado. É empregável em todos os tipos de construção por ser facilmente moldável, ser resistente ao fogo, aos agentes atmosféricos, ao desgaste mecânico e por ser uma alternativa econômica. Entretanto, o concreto possui um comportamento estrutural complexo, pois vários são os fatores que alteram o seu comportamento. Porém, mesmo diante desse quadro, a maioria dos projetos são elaborados de forma simplificada para a obtenção de respostas mecânicas de estruturas de concreto armado. No entanto a não consideração desses fatores na análise da estrutura pode resultar em deformações excessivas, fissuras espessas e erros de cálculo das reações de apoio por não constatar ou quantificar os efeitos não-lineares de fissuração, fluência e retração. Neste trabalho foi estudado o fenômeno reológico da retração, onde mostra os principais fatores que causam a retração e as quatro principais componentes, sendo elas: retração plástica, retração química ou autógena, retração térmica e retração hidráulica ou por secagem. Baseado nos cálculos de deformação por retração da NBR 6118 (2004) e com o auxílio do software FTOOL 3.0 constatou-se que quanto maior a deformação de retração ocasionará maior tensão de tração no interior do elemento de concreto e resultará em fissuras na peça, o que gera as patologias ou até mesmo a ruína.

**Palavras-chave:** Deformação por retração do concreto. Análise por norma em conjunto com software.

<sup>1</sup> Mestranda, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas-PCV, camila.forigo@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, lvanalli@uem.br

<sup>3</sup> Mestranda, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil-PCV, fernanda\_avalim@hotmail.com

<sup>4</sup> Profª. Drª., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, nhmgutierrez@gmail.com

## **1. INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas o concreto tem sido um material estrutural muito utilizado. É empregado em todos os tipos de construção por ser facilmente moldável, ser resistente ao fogo, aos agentes atmosféricos e ao desgaste mecânico, sendo também uma alternativa econômica, uma vez que é constituído de matéria prima barata (SOUZA; MACHADO, 2013).

Porém o comportamento estrutural do concreto é complexo pela significativa diferença entre as resistências à tração e à compressão, da não-linearidade da relação tensão-deformação para níveis de tensão relativamente baixos, dos fenômenos de fluência e retração que possuem fatores que influenciam (umidade e temperatura ambiente e dimensões do elemento estrutural), da fissuração do concreto, podendo ocorrer já nas primeiras idades, da transmissão de esforços ocasionadas pelas fissuras. Causando então, dificuldades na análise das estruturas executadas com esse material (AURICH, 2008).

A maioria dos projetos são realizados simplificadamente para a obtenção de respostas mecânicas de estruturas de concreto armado, sendo apenas analisadas os carregamentos de serviço e o comportamento instantâneo. Esta análise incompleta, podem levar à deformações excessivas, fissuras espessas e erros de cálculo das reações de apoio por não constatar ou quantificar os efeitos não-lineares de fissuração, fluência e retração (CHONG; FOSTER; GILBERT, 2008).

Segundo Dias (2013) a retração e a fluência geram as deformações diferidas do concreto armado, estas possuindo a mesma ordem de grandeza das deformações elásticas, podendo alterar consideravelmente a distribuição de tensões na estrutura. Desta maneira, deve-se observar atentamente esses fenômenos, a caracterização das propriedades de fluência e retração, assim como a análise estrutural são de suma importância no desenvolvimento de um projeto de grandes estruturas. Para isso, busca-se representar o comportamento do material com o desenvolvimento de modelos constitutivos e métodos numéricos para a análise estrutural.

Por fim, o presente trabalho tem o intuito entender a influencia das propriedades da retração no concreto, simulando a deformação causada por esse fenômeno.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Deformações de ordem reológica do concreto**

Segundo o ACI 435.2R (1996) existem vários fatores que influenciam sobre a ordem de grandeza dos deslocamentos, com maior ou menor significância, como: grandeza e histórico de carregamento, vão e condições de apoio do elemento estrutural, propriedades geométricas de sua seção transversal, propriedades do material, fissuração, retração, fluência do concreto, taxas de armadura de tração e de compressão, processo de execução da estrutura.

Para Souza (2014) uma estrutura de concreto com um carregamento qualquer possui sempre duas parcelas a ser analisada, uma imediata e outra em função do tempo. Ambas devem estar em acordo com as normas técnicas vigentes, atendendo ao ELS (Estado Limite de Serviço) e ao ELU (Estado Limite Último).

Tratando-se das características reológicas do concreto, sendo esta parte da física que estuda as propriedades e o comportamento mecânico dos corpos deformáveis que não se enquadram em um material nem sólido nem líquido, a deformação se dará por uma deformação gradual, causada pela retração e fluência do concreto, mesmo que esse esteja submetido a um carregamento prolongado.

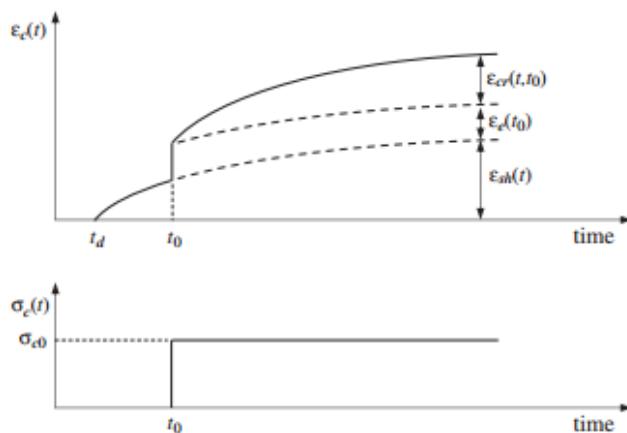
Porém, Souza (2014) afirma que a deformação total de um ponto na estrutura submetido a um carregamento possui 4 parcelas em um determinado tempo  $t$ , sendo: deformação instantânea ( $\varepsilon_e(t)$ ), deformação por fluência ( $\varepsilon_{cr}(t)$ ), deformação por retração ( $\varepsilon_{sh}(t)$ ), deformação por

temperatura ( $\varepsilon T(t)$ ). E apesar de não retratar a realidade física do fenômeno, apenas para simplificação de análises e cálculos, essas quatro parcelas são consideradas separadamente entre si.

Segundo Ranzi, Leoni e Zandonini (2012) em um ponto do elemento de concreto carregado, é conveniente expressar a deformação total em um tempo  $t$  com uma temperatura constante, como a soma da deformação instantânea  $\varepsilon_e(t)$ , representando a deformação elástica que ocorreu no momento do carregamento  $t_0$ , da deformação por fluência  $\varepsilon_{cr}(t, t_0)$  e deformação por retração  $\varepsilon_{sh}(t)$ :

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_e(t) + \varepsilon_{cr}(t, t_0) + \varepsilon_{sh}(t) \quad (1)$$

Para melhor entendimento, têm-se os gráficos na Figura 1, onde apresentam deformação versus tempo ( $\varepsilon$  x  $t$ ) e tensão versus tempo ( $\sigma$  x  $t$ ).



**Figura 1 – Fenômenos de deformação produzida por um carregamento prolongado**

Fonte: Ranzi, Leoni e Zandonini-2012.

É possível verificar que a deformação causada por retração começa imediatamente após a cura do concreto ( $t = \sigma_c$ ), mas antes da aplicação do carregamento ( $t < \sigma_0$ ), sendo notório que esta propriedade independente do estado de tensões aplicado (carregamento externo).

Com análise do gráfico, percebe-se que as deformações resultantes das propriedades reológicas do concreto tendem a uma assíntota horizontal quando o tempo de análise tende ao infinito, portanto possui um valor limite quando o horizonte de projeto é de longo prazo.

A deformação por retração independe de um carregamento aplicado, já a deformação por fluência está ligada diretamente com o estado de tensões do concreto. Essas deformações podem gerar aumento de flechas e curvaturas, perdas de protensão e redistribuições de tensões (SOUZA, 2014).

Segundo Reis (2003) para análise de vigas compostas simplesmente apoiadas quanto aos efeitos ao longo do tempo deve-se avaliar a peça descarregada e a peça carregada. Conforme El Debs (2000) apud Reis (2003) isso se deve pelo motivo de que quando não existe carregamento, ocorre retração do concreto gerando compressão na parte superior do elemento composto. Em oposição, o concreto também fica sujeito a tensões de tração devidas à restrição do movimento. Porém, existe a deformação por fluência que é oposta à deformação por retração gerada pelos esforços internos de tração. Podendo-se então concluir que o fenômeno da fluência tende a reduzir os esforços de retração.

Pode-se observar os fenômenos da retração e fluência se sobrepor quando a capa de concreto é no bordo superior da viga composta, pois neste material atuam esforços de compressão. Porém, observa-se os efeitos de retração e fluência opostos quando a capa de concreto é acrescentada ao bordo inferior, pelo motivo da fluência ocorrer por consequência aos esforços de

tração, o que ocasiona um efeito benéfico já que deformação diferencial na junta fica minimizada. Esta análise é para um elemento composto com carregamento atuante.

Adicionando-se uma capa de concreto, ela tende a se encurtar, causando aumento das flechas, por consequência do aumento da curvatura da peça ocasionado pelas deformações devida a retração diferencial em vigas compostas (REIS, 2003).

### 2.1.1 Retração

Conforme Barbosa (2010) a retração do concreto é definida por vários autores como sendo a diminuição do volume de um elemento em consequência da perda de água e na ausência de solicitações normais, provocando o surgimento de deformações e esforços adicionais na estrutura. Os valores de deformações são mais significativos em peças com grandes superfícies. No primeiro ano do início do processo desse processo, a deformação atinge aproximadamente 80% do valor total ao longo da vida útil do elemento.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) deformações por retrações do concreto manifestam-se como tensões de tração contribuindo para uma maior fissuração quando restringidas. Catai (2005) afirma que a magnitude da deformação por retração deve-se a diversos fatores, como: Forma geométrica da peça: peças com elevada relação entre superfície exposta e o volume total da peça, tais como pisos, pavimentos e lajes de concreto, a perda de água se dá muito rápida, sofrendo mais com a retração do concreto, não deixando de sofrer danos outras peças de concreto, porém menos que essas. Idade do concreto: com o passar do tempo a retração tende a não aumentar mais, devido ao aumento da resistência do concreto. Traço do concreto, uma vez que diversos fatores relacionados aos materiais que compõem o concreto e suas combinações podem influenciar a retração do concreto, principalmente a retração por secagem. O traço por si só influencia, a relação água-cimento, quantidade de água de amassamento, granulometria e a dimensão do agregado, utilização de aditivos químicos. Para menor grau de retração devem-se utilizar agregados com maior módulo de deformação, menor quantidade de água de amassamento possível, granulometria continua ao invés da combinação de agregados miúdos e graúdos inadequada, evitar agregados com excesso de material pulverulento e argila. Composição química do cimento: a utilização de cimentos mais resistentes e com secagem rápida, aumentam a retração. Quantidade de armadura: armaduras específicas ajudam a combater a retração. Processo de cura: hidratação constante aumenta a resistência da pasta, diminuindo a retração, consequentemente combate a fissuração. Condições ambientais de temperatura e umidade, pois a retração do concreto está relacionada à perda de água para o ambiente. A alta temperatura, baixa umidade do ar e altas velocidades do vento que incidem sobre a peça recém concretada são os principais fatores climáticos que causam perda da água do concreto.

#### 2.1.1.1 Componentes da retração

Segundo Gilbert e Ranzi (2011) a deformação por retração pode ser dividida em quatro componentes, sendo a retração plástica, retração química ou autógena, retração térmica e retração hidráulica ou por secagem. Porém para Mehta e Monteiro (1994) é muito difícil diferenciar cada uma dessas retrações na prática, pois ocorrem ao mesmo tempo e possuem durações diferentes.

##### 2.1.1.1.1 Retração Plástica

É denominada de retração plástica por ocorrer na fase em que o concreto ainda se encontra em estado plástico. Contudo, a evaporação da água do concreto inicia-se ainda na fase de mistura dos componentes, no transporte, lançamento e adensamento, não ocorrendo prejuízos se for uma evaporação moderada. A secagem rápida do concreto ainda fresco provoca retração quando a taxa

de perda de água (evaporação) excede a taxa disponível de água de exsudação. Por fim, as fissuras podem ocorrer fissuras nessa fase, pois o concreto apresenta baixíssima resistência à tração (CHODOUNSKY E VIECILI, 2007).

De acordo com Rodrigues (2006) as fissuras causadas pela retração plástica são bem características, se originam em grupos com linhas paralelas entre si, com abertura elevada e baixa profundidade, da ordem de milímetros. Normalmente surgem em pisos, lajes, pavimentos não submetidos ao desempenho após o início da pega e deficiente no sistema de cura inicial. Para a não ocorrência destas fissuras o correto é o uso de cura química, impedindo a perda de água nas primeiras idades.

Conforme Chodounsky e Viecili (2007) para tentar impedir ou minimizar as fissuras plásticas o correto é combinar diversos aspectos executivos para o controle da evaporação, diminuindo a temperatura do concreto com adição de água gelada, gelo ou resfriamento dos agregados; bloquear o vento sobre o elemento de concreto; concretar em horários de temperaturas mais baixas, evitar incidência de sol e vento; adição de fibras sintéticas; aplicação de agentes redutores de evaporação; reduzir a janela de acabamento (definido como o tempo entre o lançamento e o início dos serviços de acabamento); utilização de cura química.

#### 2.1.1.1.2 Retração química ou autógena

Conforme Neville (1997) a retração autógena é a redução de volume do material cimentício na hidratação do cimento após o início de pega. Esse acontecimento não se dá pela perda ou ganho de umidade para o ambiente, variação de temperatura ou restrições, e sim por consequência da remoção de umidade dos poros capilares para hidratação do cimento ainda não hidratado.

A reação química entre o cimento e a água se dá com redução de volume, tendo a água quimicamente combinada contração de 25% de seu volume original (KALINTZIS (2000) apud KATAOKA (2010)).

#### 2.1.1.1.3 Retração Térmica

Segundo Balbo (2009) a deformação de retração térmica ocorre pelo fato da lentidão do concreto em transferir calor, que causa expansão (absorvida pela fluênciça da massa fresca) devido à temperatura em seu núcleo ser mais elevada comparada à superfície. Entretanto, o concreto continua suas reações apesar da expansão, ganhando resistência e aumento do módulo de elasticidade, vindo a se manifestar por meio de fissuras profundas e lineares, por causa das tensões de tração internas que podem ser muito elevadas. Sendo então a retração térmica caracterizada pela contração que a massa endurecida do concreto sofre por bruscas variações de temperatura ao longo do ano.

Para se evitar a retração térmica, deve-se evitar a perda de calor pela superfície, o que resulta em uma diminuição diferencial de temperatura entre esta e o núcleo do concreto. Sendo assim a cura adequada também pode-se dizer que é um agente de controle desse fenômeno.

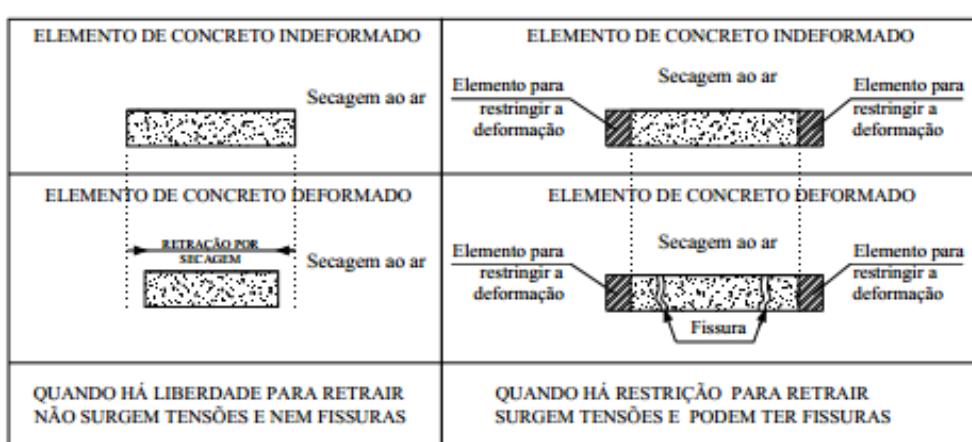
#### 2.1.1.1.4 Retração hidráulica ou por secagem

Segundo Aurich (2008) a retração hidráulica ou por secagem, é resultado da secagem do concreto. Esse fenômeno inicia-se após o fim da pega do cimento, ocorre devido à redução de volume pela perda de água livre que existe dentro dos poros do material para o meio ambiente, associado ao uso de água na mistura durante a fase inicial de hidratação dos ligantes hidráulicos. Conforme KALINTZIS (2000) esse fenômeno pode ter um papel importante na durabilidade do concreto.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) a perda de água do concreto inicia-se pela água livre retida nas grandes cavidades, imediatamente após da umidade relativa do ar abaixar de 100%. Essa perda de água não seria acompanhada de retração significativa, já que a água livre perdida não está presa a estrutura dos produtos hidratados por ligações físico-químicas fortes, porém prosseguindo a secagem, uma perda adicional de água passa a resultar em retração considerável. A retração por secagem ou hidráulica se dá principalmente à perda de água adsorvida e de água retida em pequenos capilares, estando então diretamente ligada ao teor de água do concreto.

Existem diversos fatores que podem interferir na retração por secagem, sendo o módulo de deformação do agregado, granulometria e dimensão máxima do agregado, relação água/cimento (a/c), emprego de adições minerais e aditivos químicos, geometria do elemento de concreto (CHODOUNSKY E VIECILI, 2007).

Porém, se o elemento de concreto tiver as deformações restrinvidas, surgem as tensões de tração que causa a fissuração como exemplificado na Figura 2 (AMARAL, 2011).



**Figura 2 – Efeito da retração por secagem ao ar em elementos de concreto**

Fonte: Amaral-2011.

### 2.1.2 Modelo de previsão de retração

Segundo Bažant e Baweja (2000) é muito difícil à previsão realística da retração do concreto por serem resultados da interação de muitos mecanismos físicos e vários parâmetros influenciar.

Kataoka (2010) comenta que diversos modelos foram estudados com o propósito de prever a retração, começando em 1982. Os modelos que se destacam são: ACI209R (2008) – ACI, Eurocode 2 (2003) – EC2, Bažant e Baweja (2000) - B3, Gardner e Lockman (2001) - GL e NBR6118 (2004) – NBR. O principal problema deles esta na complexidade e quantidade de dados de entrada (dimensões de corpo de prova, propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, condições ambientais, condições de carregamento). Pressupõem-se que quanto mais dados de entrada são utilizados pelo modelo, mais próximos serão os resultados experimentais.

#### 2.1.2.1 NBR 6118 (2004)

Segundo a NBR 6118 (2004) para cálculo do valor da retração em elementos de concreto entre os instantes  $t_0$  e  $t$ :

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{cs\infty} [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)] \quad (2)$$

Onde,

$$\varepsilon_{cs\infty} = \varepsilon_{1s} \varepsilon_{2s} \quad (3)$$

$\varepsilon_{cs\infty}$  é o valor final da retração;

$\varepsilon_{1s}$  é o coeficiente dependente da umidade relativa do ambiente e da consistência do concreto, Quadro 1;

$\varepsilon_{2s}$  é o coeficiente dependente da espessura fictícia da peça:

$$\varepsilon_{s2} = \frac{33+2h_{fic}}{20,8+3h_{fic}} \quad (4)$$

Onde:

$h_{fic}$  é a espessura fictícia, em centímetros (será explicado mais abaixo);

$\beta_s(t)$  ou  $\beta_s(t_0)$  é o coeficiente relativo à retração, no instante  $t$  ou  $t_0$ , Figura 3;

$t$  é a idade fictícia do concreto no instante considerado, em dias;

$t_0$  é a idade fictícia do concreto no instante em que o efeito da retração na peça começa ser considerado, em dias.

Ambiente	Umidade $U$ %	Fluência $\varphi_{1c}$ <sup>1) 3)</sup>		Retração $10^4 \varepsilon_{1s}$ <sup>2) 3)</sup>			$\gamma$ <sup>4)</sup>
		Abatimento de acordo com a ABNT NBR NM 67					
		0 - 4	5 - 9	10 - 15	0 - 4	5 - 9	10 - 15
Na água	-	0,6	0,8	1,0	+ 1,0	+ 1,0	+ 1,0
Em ambiente muito úmido imediatamente acima da água	90	1,0	1,3	1,6	- 1,0	- 1,3	- 1,6
Ao ar livre, em geral	70	1,5	2,0	2,5	- 2,5	- 3,2	- 4,0
Em ambiente seco	40	2,3	3,0	3,8	- 4,0	- 5,2	- 6,5

<sup>1)</sup>  $\varphi_{1c} = 4,45 - 0,035U$  para abatimento no intervalo de 5 cm a 9 cm e  $U \leq 90\%$ .  
<sup>2)</sup>  $10^4 \varepsilon_{1s} = - 6,16 - (U/484) + (U^2/1590)$  para abatimentos de 5 cm a 9 cm e  $U \leq 90\%$ .  
<sup>3)</sup> Os valores de  $\varphi_{1c}$  e  $\varepsilon_{1s}$  para  $U \leq 90\%$  e abatimento entre 0 cm e 4 cm são 25% menores e para abatimentos entre 10 cm e 15 cm são 25% maiores.  
<sup>4)</sup>  $\gamma = 1 + \exp(-7,8 + 0,1 U)$  para  $U \leq 90\%$ .

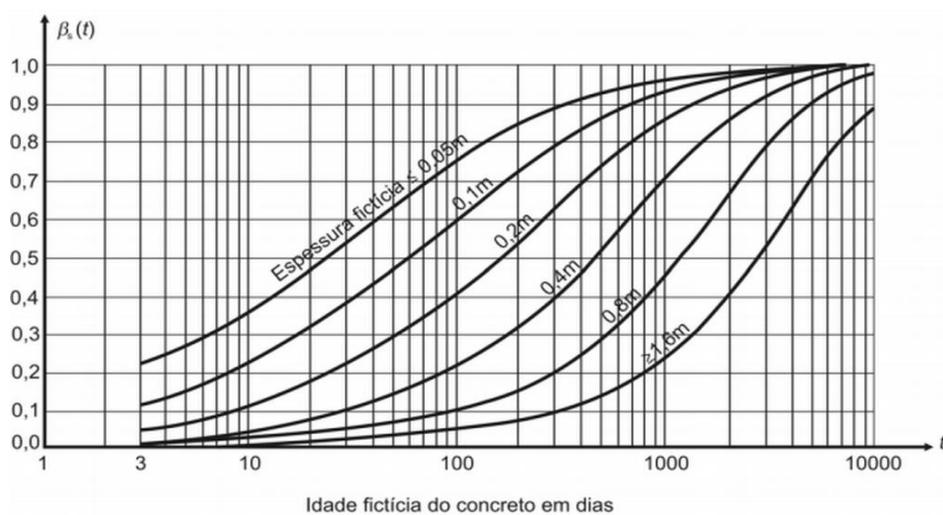
NOTAS

1 Para efeito de cálculo, as mesmas expressões e os mesmos valores numéricos podem ser empregados no caso de tração.

2 Para o cálculo dos valores de fluência e retração, a consistência do concreto é aquela correspondente à obtida com o mesmo traço sem a adição de superplasticantes e superfluidificantes.

**Quadro 1- Valores numéricos usuais para a determinação da fluência e da retração**

Fonte: NBR 6118-2004.



**Figura 3 – Variação de  $\beta_s(t)$**

Fonte: NBR 6118-2004.

$$\beta_S(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A\left(\frac{t}{100}\right)^2 + B\left(\frac{t}{100}\right)}{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + C\left(\frac{t}{100}\right)^2 + D\left(\frac{t}{100}\right) + E} \quad (5)$$

Onde:

A = 40;

B =  $116h^3 - 282h^2 + 220h - 4,8$ ;

C =  $2,5h^3 - 8,8h + 40,7$ ;

D =  $-75h^3 + 585h^2 + 496h + 6,8$ ;

E =  $-169^4 + 88h^3 + 584h^2 - 39h + 0,8$ ;

h é a espessura fictícia em metros; para valores de h fora do intervalo ( $0,05 \leq h \leq 1,6$ ), adotam-se os extremos correspondentes;

t é o tempo, em dias ( $t \geq 3$ ).

Ainda segundo a NBR 6118 (2004) para consideração da idade utiliza-se a idade fictícia ( $\alpha_{ef}$ ), em dias, quando o endurecimento ocorre à temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$  e, em outros casos, que não ocorrer cura a vapor, a idade a ser considerada é a idade fictícia dada por:

$$t = \alpha \sum_i \frac{T_i + 10}{30} \Delta t_{ef,i} \quad (6)$$

Onde:

t é a idade fictícia, em dias;

$\alpha$  é o coeficiente dependente da velocidade de endurecimento do cimento; na falta de dados experimentais permite-se o emprego dos valores do Quadro 2;

$T_i$  é a temperatura média diária do ambiente, em graus Celsius;

$\Delta t_{ef,i}$  é o período, em dias, durante o qual a temperatura média diária do ambiente,  $T_i$ , pode ser admitida constante.

Cimento Portland (CP)	$\alpha$	
	Fluênciā	Retraçāo
De endurecimento lento (CP III e CP IV, todas as classes de resistência)	1	
De endurecimento normal (CP I e CP II, todas as classes de resistência)	2	1
De endurecimento rápido (CP V-ARI)	3	
Onde:		
CP I e CP I-S - Cimento Portland comum;		
CP II-E, CP II-F e CP II-Z - Cimento Portland composto;		
CP III - Cimento Portland de alto forno;		
CP IV - Cimento Portland pozolânico;		
CP V-ARI - Cimento Portland de alta resistência inicial;		
RS - Cimento Portland resistente a sulfatos (propriedade específica de alguns dos tipos de cimento citados).		

**Quadro 2 – Valores da fluênciā e da retraçāo em função da velocidade de endurecimento do cimento**

Fonte: NBR 6118-2004.

E para cálculo da espessura fictícia a NBR 6118 (2004) recomenda a seguinte equação:

$$h_{fic} = \gamma \frac{2A_C}{\mu_{ar}} \quad (7)$$

Onde:

$\gamma$  é o coeficiente dependente da umidade relativa do ambiente (U%), conforme Quadro 1, onde:  $\gamma = 1 + \exp(-7,8 + 0,1U)$

$A_c$  é a área da seção transversal da peça;

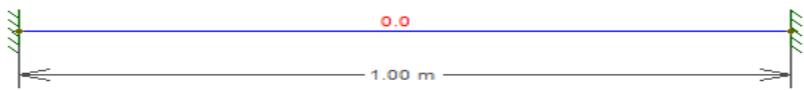
$\mu_{ar}$  é a parte do perímetro externo da seção transversal da peça em contato com o ar.

## 2.2 Simulação

Portanto, para simulação da retração da viga da Figura 4, que não possui carregamento, portanto não apresenta forças normais (Figura 5), foi-se realizado o cálculo da retração por secagem conforme a NBR 6118 (2004), considerando seção de 20x40cm, umidade relativa do ar de 70%, com abatimento de 10-15cm, cimento Portland composto e um valor de  $t = 3000$ dias, conforme adotado por Amaral (2011), cujo é o tempo para a estabilização da deformação com diversas variações de dados.



**Figura 4 – Viga simulada para retração do concreto**



**Figura 5 – Força normal nula na viga sem a consideração de retração**

Resultando em uma deformação  $\varepsilon_{cs}(t, t_0) = -3,84 \cdot 10^{-4}$ .

A partir do valor da deformação por retração, podemos encontrar o deslocamento que causará na viga em análise, sendo então,  $\Delta l = -0,384$ mm.

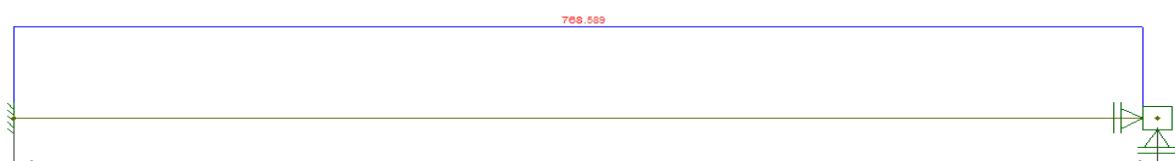
Para análise das tensões que ocorre no interior da viga, foi utilizado o software Ftool 3.0, entretanto, como o programa só admite valores com até uma casa decimal, realizou-se interpolações entre os vãos das vigas analisadas e as forças de tração obtidas.

Lançou no programa uma viga com vão igual a 999,616mm (valor do  $l$  final, após ocorrido o deslocamento) e deslocamento igual +0,384 mm (Figura 6), para continuar com o vão de 1metro inicial.



**Figura 6 – Primeiro modelo em que a viga foi lançada no software FTOOL 3.0**

Foi assim considerado, por ser um elemento biengastado que restringe o deslocamento, não podendo variar este 1m, por isso esta consideração. Para que ocorra essa restrição dos engastes, surge no concreto as forças de tração, com valor de 768,589kN conforme mostrado pelo programa FTOOL 3.0 (Figura 7), que por consequência ocorre a tensão de tração que gera as fissuras, segundo afirmado por Amaral (2011).

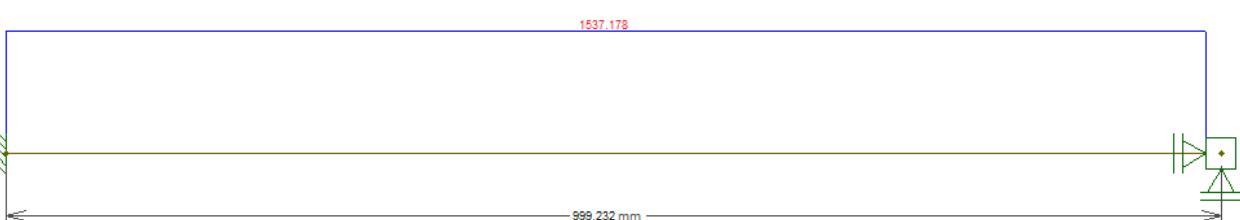


**Figura 7 – Força de tração gerada pela deformação de retração  $\varepsilon_{cs}(t, t_0) = -3,84 \cdot 10^{-4}$**

Apenas com o intuito de exemplificar a conclusão de Amaral (2011) que  $\sigma_{cs}$  é proporcional a  $\varepsilon_{cs}$  e consequentemente é influenciado pelos parâmetros nas mesmas magnitudes. Usando-se os mesmos cálculos de deformação por restrição da NBR 6118 (2004), mas o valor da deformação fosse o dobro do exemplo anterior, com deslocamento =  $7,68 \cdot 10^{-4}$ , utilizando agora um  $l = 999,216\text{mm}$  (Figura 8) a força de tração dobraria, assim como a deformação, passando a ser  $1537,118\text{kN}$  (Figura 9).



**Figura 8 – Segundo modelo em que a viga foi lançada no software FTOOL 3.0**



**Figura 9 – Força de tração gerada pela deformação de retração  $\varepsilon_{cs}(t, t_0) = -7,68 \cdot 10^{-4}$**

### 3. CONCLUSÃO

O concreto possui um comportamento estrutural complexo, por existir diversos fatores que alteram o seu comportamento, a maioria dos projetos são realizados simplificadamente para a obtenção de respostas mecânicas de estruturas de concreto armado, porém esta análise incompleta, podem levar à deformações excessivas, fissuras espessas e erros de cálculo das reações de apoio por não constatar ou quantificar os efeitos não-lineares de fissuração, fluência e retração.

Com o estudo realizado para este trabalho foi possível perceber a complexidade da deformação por retração e como o material se comporta, com os resultados de força normal de tração obtida através do software FTOOL 3.0 contatou-se o que muitos autores falam sobre o surgimento de tensão de tração no concreto devido a este fenômeno estudado, concluindo que quanto maior a deformação de retração, maior será a tensão de tração no interior do elemento de concreto, ocasionando então as fissuras na peça, que gera as patologias ou até mesmo a ruína.

### REFERÊNCIAS

AMARAL, J. C. Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restrinuida considerando-se o efeito da fluência. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1966). ACI 435.2R – Deflections of reinforced concrete flexural members (reapproved 1989). In: (1994). ACI manual of concrete practice. Detroit, ACI. Part 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2004). NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos. São Paulo.

AURICH, M. Simulação computacional do comportamento do concreto nas primeiras idades. 2008. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.

BARBOSA, M. D. A. **Análise de flechas em vigas de concreto armado**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

BAŽANT, Z.P., BAWEJA, S., Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures (Model B3), In: **ADAM NEVILLE SYMPOSIUM: CREEP AND SHRINKAGE OF CONCRETE - STRUCTURAL AND DESIGN EFFECTS, ACI SPECIAL PUBLICATION SP194**, Michigan, USA, Farmington Hills, 2000.

CATAI, E. **Análise dos efeitos da retração e fluência em vigas mistas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

CHODOUNSKY, M. A. & VIECILI, F. A. **Pisos industriais de concreto: Aspectos teóricos e executivos**. São Paulo, Regenza, 2007.

CHONG, K. T.; FOSTER; S. J.; GILBERT, R. I. Time-dependent modelling of RC structures using the cracked membrane model and Solidification Theory. **Computers & Structures**, v. 86, p. 1305-1317, 2008.

DIAS, M. M. **Análise numérica de vigas mistas aço-concreto pelo método dos elementos finitos: efeitos de longa duração**. 2013. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

KALINTZIS, C. A. A. **Estudo da fluência do concreto de elevado desempenho**. 2000. 146 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Pini, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo, Pini, 1997.

RANZI, G.; LEONI, G.; ZANDONINI, R. State of the art on the time-dependent behavior of composite steel-concrete structures. **Journal of Constructional Steel Research**, 2012.

REIS, A. P. A. **Reforço de vigas de concreto armado submetidas a pré-carregamento e ações de longa duração com aplicação de concretos de alta resistência e concretos com fibras de aço**. Tese (Doutorado Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

RODRIGUES, P. P. F. **Projetos e critérios executivos de pavimentos industriais de concreto armado**. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS). São Paulo, 2006.

SOUZA, L. A. F.; MACHADO, R. D. **Análise numérico-computacional de estruturas de concreto armado considerando o dano, a fratura e critério de falha**. Rev. IBRACON Estrut. Mater. 2013, vol.6, n.1, pp. 101-120.

SOUZA, M. L. M. **Estudo da fluência e retração na análise de um tabuleiro em vigas múltiplas de uma ponte rodoviária**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.