

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JÚLIA SENGER MARIN
KARINE FERNANDES BRASIL**

**CONTROLE DA RETRAÇÃO PLÁSTICA EM LAJES DE COBERTURA
DE CONCRETO ARMADO**

**PATO BRANCO
2016**

**JÚLIA SENGER MARIN
KARINE FERNANDES BRASIL**

**CONTROLE DA RETRAÇÃO PLÁSTICA EM LAJES DE COBERTURA
DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho.

PATO BRANCO

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

CONTROLE DA RETRAÇÃO PLÁSTICA EM LAJES DE COBERTURA DE CONCRETO ARMADO

JÚLIA SENGER MARIN

E

KARINE FERNANDES BRASIL

No dia 21 de junho de 2016, às 8h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 07-TCC/2016.

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. NORMÉLIO VÍTOR FRACARO (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradecemos a Deus por ter nos dado oportunidades e nos guiado em todos os caminhos que escolhemos, agradecemos também por todas as pessoas que Ele colocou em nossas vidas.

Agradeço profundamente aos nossos pais, por nos apoiarem sempre em nossas decisões, acreditarem em nós e nos darem forças para que pudéssemos concluir nossa formação acadêmica.

Aos nossos amigos pelo apoio e motivação, ao professor orientador José Ilo Pereira Filho por nos orientar e aos membros da banca de defesa do TCC.

Reverenciamos todos os professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - *Campus* Pato Branco, por todo o empenho e dedicação.

Por fim, gratificamos a todos que de alguma forma colaboraram para a realização desse trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

MARIN, Júlia S.; BRASIL, Karine F. **Controle da retração plástica em lajes de cobertura de concreto armado**. 2016. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

A retração plástica ocorre pela evaporação da água na superfície do concreto recém adensado e é influenciada pelas condições climáticas, as quais o concreto estará exposto. Sua incidência é recorrente em superfícies com área muito maior que sua espessura, como lajes. Essa patologia é prejudicial para lajes de coberturas, pois as mesmas não recebem revestimento, logo estarão expostas a agentes agressivos. Neste trabalho propomos prever e sanar a retração plástica em lajes pré-moldadas de cobertura de concreto armado, utilizando duas linhas de pesquisa. A previsão foi feita através da metodologia de Snell (2008) em lajes pré-moldadas. Os resultados obtidos foram comparados, a fim de verificar a eficiência do método adotado na prevenção da ocorrência de retração plástica. Com a análise do processo de concretagem, das condições climáticas e da temperatura do concreto, foi possível indicar a melhor solução para diminuir ou sanar a retração plástica, com eficácia nas lajes pré-moldadas de cobertura estudadas. Diversos tipos de cura foram sugeridos, dependendo de cada caso no dia de concretagem da laje. A segunda etapa consistiu na análise em laboratório de lajes de pequenas dimensões, com o objetivo de verificar a relação entre retração plástica e os processos de cura.

Palavras-chave: Lajes, concreto armado, patologia, retração plástica.

ABSTRACT

The plastic shrinkage occurs by the evaporation of water on the newly hardened concrete surface and it is influenced by climatic conditions of the concrete exposition. Its incidence is recurrent in surfaces with an area much larger than the thickness, as slabs. This pathology is harmful for the roof slabs, because they do not receive coating and will be exposed to aggressive agents. In this paper, we propose to predict and solve the plastic shrinkage in precast roof slabs of coverage reinforced concrete, using two lines of research. The prediction was made through Snell (2008) methodology in precast slabs. The results found were compared verifying the efficiency of Snell study, in prevention of the plastic shrinkage occurrence. With the concreting process analysis, the climatic conditions and the temperature of concrete, it was possible to indicate the best solution to solve or reduce the plastic shrinkage, efficiently in the researched precast roof slabs, with different types of cure, each case depending of the slab concreting day. The second stage consisted in laboratory analysis of slabs of small dimensions. The aim was verify the relation between the plastic shrinkage and the healing process.

Keywords: Slabs, reinforced concrete, pathology, plastic shrinkage.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Taxa de Evaporação da água na superfície de concreto.....	25
Gráfico 2 - Curva típica tempo versus taxa de exsudação	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados obtidos com a previsão do tempo.....	49
Tabela 2 - Resultados obtidos com valores encontrados em campo	50
Tabela 3 - Resultados dos ensaios de retração plástica	59
Tabela 4 - Valores de resistência dos corpos de prova do 1º experimento.....	60
Tabela 5 - Valores de resistência dos corpos de prova do 2º experimento.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ilustração computacional da aglomeração das partículas de cimento em pasta isenta de dispersante (esquerda) e com o aditivo adsorvido na superfície (direita)	21
Figura 2 - Ilustração esquemática do conceito abrangente de trabalhabilidade, envolvendo as etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.....	27
Figura 3 - Parâmetros geométricos usados para caracterizar uma fissura	31
Figura 4 - Fissuração em lajes armadas	32
Figura 5 - a) Cura com água por molhagem direta b) Cura com lâmina de água c) Cura por aspersão.....	36
Figura 6 - Cura com película química.....	37
Figura 7 - Cura por recobrimento com manta.....	38
Figura 8 - Aferição da temperatura do concreto na superfície de concreto recém-lançado.....	42
Figura 9- Aparato utilizado no experimento.....	43
Figura 10- Molde acoplado ao relógio comparador	43
Figura 11-a)Obtenção dos resultados através do valor inicial no relógio comparador b) Obtenção dos resultados através do final no relógio comparador	44
Figura 12- Concreto utilizado para preencher os moldes.....	45
Figura 13- Mensuração da umidade relativa do ar através de termômetro digital.....	45
Figura 14- Molde concretado e regularizado exposto às condições climáticas	46
Figura 15- Molde 1 com cura úmida.....	47
Figura 16- Concretados e regularizado exposto às condições climáticas	48
Figura 17- Molde 3 com cura com lona	48
Figura 18-Processo da Concretagem 1.....	52
Figura 19- Fissuras causadas pela retração plástica na Concretagem 1	52
Figura 20- Início da Concretagem 2	54
Figura 21- Fissuras causadas pela retração plástica na Concretagem 2	55
Figura 22- Ausência de proteção solar na obra da Concretagem 2	55
Figura 23- Processo da Concretagem 3.....	57
Figura 24- Fissuras causadas pela retração plástica na Concretagem 3.....	57
Figura 25- Superfície da laje da Concretagem 3.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	RETRAÇÃO PLÁSTICA	16
2.1	FATORES QUE INFLUENCIAM NA RETRAÇÃO PLÁSTICA	16
2.1.1	Composição do concreto	17
2.1.1.1	Relação água/cimento	17
2.1.1.2	Tipo e a granulometria dos agregados	17
2.1.1.3	Adições minerais	19
2.1.1.4	Presença de aditivos	20
2.1.1.4.1	Uso de dispersantes	20
2.1.1.4.2	Uso de incorporadores de ar	21
2.1.1.5	Características do cimento	21
2.1.1.6	Temperatura do concreto	22
2.1.2	Condições climáticas	23
2.1.2.1	Temperatura do ar	23
2.1.2.2	Umidade do ar	24
2.1.2.3	Velocidade do vento	24
2.1.2.4	Relação entre temperatura e umidade do ar e velocidade do vento	24
2.1.3	Processos de concretagem	26
2.1.3.1	Dosagem do concreto e misturas	27
2.1.3.2	Transporte	28
2.1.3.3	Lançamento	29
2.1.3.4	Adensamento	29
2.2	AÇÃO DA RETRAÇÃO PLÁSTICA EM LAJES DE COBERTURA	30

2.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	32
2.3.1	Estado fresco	32
2.3.2	Estado endurecido	33
2.4	PROCESSOS DE CURA	34
2.4.1	Cura úmida.....	36
2.4.2	Cura química.....	37
2.4.3	Cura com lonas impermeáveis	37
2.4.4	Cura térmica.....	38
2.4.5	Cura com modificação na composição do concreto	38
2.4.6	Cura à vapor.....	39
3	MÉTODOS DE TRABALHO	40
3.1	ACOMPANHAMENTO DA CONCRETAGEM DE LAJES	41
3.2	EXPERIMENTOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO	42
3.2.1	Experimento 1 – Data 11/março/2016.....	46
3.2.2	Experimento 2 – Data 08/abril/2016	47
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
4.1	ACOMPANHAMENTO DA CONCRETAGEM DE LAJES	49
4.1.1	Concretagem 1 – Rua Padre Anchieta.....	50
4.1.2	Concretagem 2 – Rua Luiz Detoni	53
4.1.3	Concretagem 3 – Rua Natalino Dartora	56
4.2	EXPERIMENTO REALIZADO EM LABORATÓRIO	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Segundo Neville e Brooks (2013) hoje o concreto armado é um dos materiais mais consumidos no mundo, consiste na junção do concreto e aço em seu interior e com ele são feitas as principais estruturas de moradias e edifícios, isso se deve ao fato dos materiais que o compõem serem encontrados facilmente na natureza, sua trabalhabilidade e capacidade de obter várias formas e também seu custo benefício. Por ser um material utilizado em grande escala os requisitos de qualidade devem ser atendidos. Segundo a NBR 6118 (2014) – Projeto de estruturas de concreto - as estruturas de concreto armado devem apresentar resistência, desempenho em serviço e durabilidade, não podendo apresentar defeitos e patologias, pois essas minoram sua qualidade.

De acordo com Azevedo (2011), essas estruturas podem apresentar defeitos conhecidos como patologias. Uma das principais patologias são as fissuras que são indesejáveis por questões estéticas, econômicas e por poder comprometer a estrutura. A retração que é uma variação no volume do concreto é a principal causadora das rachaduras. Esta ocorre na superfície do concreto recém-adensado e sua incidência é recorrente em superfícies com área muito maior que sua espessura, como lajes e pavimentos.

Segundo Romano, Cardoso e Pilleggi (2011), um dos principais fatores que indicam a ocorrência da retração plástica são as condições meteorológicas durante a concretagem. A temperatura e umidade do ambiente, a velocidade do vento durante a concretagem e também a temperatura do concreto são determinantes na ocorrência ou não de fissuras.

A ocorrência da retração plástica foi estudada por Carl Menzel da Associação de Cimento Portland, que simplificou estudos anteriores e estabeleceu as taxas de evaporação da água na superfície do concreto recém-lançado que resultariam na formação de fissuras. Esse trabalho foi exposto na ACI 305(1954) – American Concrete Institute. Segundo Snell (2008), novas equações foram oferecidas que tornam mais fácil calcular a taxa de evaporação da água na superfície recém-lançada de concreto. Para isso é preciso informar as características climáticas e a temperatura do concreto. Esses valores podem ser coletados na hora da concretagem ou através da previsão do tempo.

Sabendo-se o risco ou a iminência de fissuras é necessário tomar providências para evitá-las. A maneira mais eficaz de se obter sucesso é realizando a cura do concreto armado. Segundo Neville e Brooks (2013) cura é o nome dado aos procedimentos utilizados para promover a hidratação do cimento, e com isso, o desenvolvimento da sua resistência. Os procedimentos de cura consistem em controle da temperatura e do movimento de água de dentro para fora do concreto e vice-versa, que afetam não somente a resistência, mas também a durabilidade.

Sendo assim, este trabalho objetiva determinar as características do concreto e do processo de concretagem para evitar ou diminuir a retração plástica em lajes pré-moldadas de cobertura e avaliar o uso da equação disponibilizada por Snell para prever a ocorrência de fissuras causadas pela retração plástica em lajes. Foram escolhidas lajes de cobertura por que estas não recebem revestimento e a longo prazo sofrem mais com a retração plástica. A escolha de lajes pré-moldadas foi devido ao seu uso ser mais comum na cidade de Pato Branco-PR.

Este estudo foi feito em duas etapas a primeira realizando-se observações em campo em concretagens de lajes pré-moldadas de cobertura. Nessa etapa foram consideradas as condições climáticas no momento da concretagem das lajes pré-moldadas de cobertura, e a ocorrência da retração plástica nestas mesmas. A segunda etapa consistiu na análise em laboratório de lajes pré-moldadas de pequenas dimensões para verificação da relação entre retração plástica e os processos de cura.

Com esses resultados objetiva-se responder ao problema proposto: Verificar a aplicabilidade da equação de previsão de retração apresentada no trabalho de Snell, verificar o uso da previsão do tempo para obter dados e verificar a relação entre a retração plástica e os processos de cura.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos gerais e específicos do presente trabalho serão expostos a seguir.

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a aplicação da equação de Snell para previsão da ocorrência da retração plástica no concreto de lajes de cobertura para minimizar ou eliminar essa patologia.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a aplicabilidade da equação apresentada no trabalho de Snell na previsão da retração plástica para medidas de prevenção;
- Analisar a ocorrência da retração plástica nas lajes pré-moldadas de cobertura acompanhadas;
- Analisar em laboratório a verificação da relação entre retração plástica e processos de cura.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o atual crescimento populacional, Neville e Brook (2013) relatam que se estende desde o início do século XX, por isso tem-se a necessidade de mais obras de infraestrutura e de moradias as quais cada vez mais sofisticadas, duradouras e de melhor qualidade. O crescimento do setor da construção civil permitiu que esse avanço se consolidasse, o principal material utilizado foi o concreto armado. O concreto com alta resistência a compressão juntamente com o aço altamente resistente à tração permite a construção de obras de grande porte. Além disso, houve um grande desenvolvimento da ciência e da tecnologia os quais permitiram uma melhoria na produção e execução dessas estruturas.

A grande necessidade de rapidez na construção das obras influencia de forma negativa nas características das estruturas de concreto armado. Diversos

defeitos são constatados em tais estruturas, devido a vários fatores, a esses defeitos são chamados patologias. Um exemplo de patologia recorrente são as fissuras. De acordo com Azevedo (2011, P. 1119), “As fissuras são manifestações patológicas que se manifestam nas estruturas de concreto sempre que ocorram tensões de tração que superem a capacidade resistente do concreto”. Uma das causas da fissuração é a variação de volume devido a retração plástica juntamente às condições climáticas. Esse problema é ainda mais agravante em lajes pré-moldadas de cobertura pois possui grande área de exposição ao ar quando comparada ao seu volume de concreto.

De acordo com Neville e Brooks (2013) a retração plástica é a perda de volume do concreto devido a saída de água por evaporação ser maior que a exsudação, causando fissuras que são prejudiciais em lajes pré-moldadas de cobertura de concreto armado. Sua ocorrência é influenciada pela temperatura e umidade do ar e velocidade do vento. Segundo a NBR 6118 (2014) são requisitos de qualidade da estrutura: A capacidade resistente, desempenho em serviço e a durabilidade. Por isso é de fundamental importância que a retração plástica seja evitada ou minimizada para que as lajes atendam aos requisitos de qualidade da estrutura.

As fissuras são esteticamente indesejáveis e causam um incômodo aos leigos por não passar uma sensação de segurança e a presença das mesmas deve ser tratada gerando um gasto adicional à obra. Outro problema é que a resistência a influências ambientais não terá a mesma capacidade prevista em projeto, proporcionando a deterioração precoce do material. Além disso, podem não levar a estrutura a um estado de falência inicial, porém prejudicam a utilização das lajes durante sua vida útil comprometendo seu uso. Dependendo da profundidade e abertura das fissuras, estas podem comprometer a segurança à ruptura, devido à exposição das armaduras e da diminuição da resistência do concreto. Por estes fatores é importante a prevenção, controle e tratamento da retração plástica, pois a mesma provoca fissuras (AZEVEDO, 2011).

Esse trabalho consiste na pesquisa e desenvolvimento de técnicas para sanar e minimizar a retração plástica em lajes pré-moldadas de cobertura. Por se tratar de um tema recorrente, existe muita informação disponível em livros de concreto armado e em pesquisas acadêmicas. Isso ocorre devido ao grande interesse da indústria da construção civil em busca de melhor qualidade e lucratividade. Esse

interesse proporciona facilidade de acesso à execução de lajes pré-moldadas de cobertura, principal objeto de estudo deste trabalho. Além disso, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco, local de realização dos experimentos, incentiva e apoia pesquisas, disponibilizando seus laboratórios e equipamentos, tornando a mesma viável. Esses fatores tornam possível a realização desse estudo no prazo determinado.

Essa pesquisa pretende associar a retração plástica com as condições climáticas, utilizando-se de métodos e materiais existentes de aferição de temperatura do ar e temperatura de concreto. Embora já existam estudos que preveem a ocorrência de fissuras, ainda não há o conhecimento de pesquisas que unam a detecção, controle e tratamento da retração plástica. Por isso, esse trabalho deve surpreender e possibilitar que os requisitos de qualidade da estrutura sejam atendidos e melhorados. Além de permitir o avanço em pesquisas subsequentes.

2 RETRAÇÃO PLÁSTICA

A retração plástica é uma variação volumétrica a qual, ao longo do tempo, tem seu volume reduzido. Quando o concreto está no estado fresco ocorre a perda da água exsudada para a superfície (NUNES, 2007).

Essa perda forma uma série complexa de meniscos capilares, que criam pressões negativas, provocando a contração volumétrica da pasta de cimento, que gera tensões de tração e conseqüentemente fissuração (NUNES, 2007).

Segundo Sousa (1998, p. 61), “a retração plástica é um processo de fissuramento mais comum em superfícies extensas, como lajes e paredes, com as fissuras sendo normalmente paralelas entre si, e fazendo ângulos de aproximadamente 45° com os cantos”. Possuem abertura entre 0,1 mm e 3 mm, podem ser muito curtas ou com comprimento de até 1 m (NEVILLE, 1981).

De acordo com TANESI (1999), as fissuras por retração plástica podem ser:

- Mapeadas;
- Acompanhando a armadura ou outra inclusão no concreto;
- Acompanhando mudanças de seção;
- Diagonais, formando um ângulo de 45° em relação à borda da laje ou pavimento, com espaçamento de 0,3 m à 1,0 m.

As condições climáticas possuem parâmetros importantes que devem ser controlados para evitar a retração plástica, tais como a velocidade do vento, a umidade relativa do ar e a temperatura. A cura do concreto desde as primeiras horas é o procedimento mais adequado para o controle da retração plástica (NUNES, 2007).

2.1 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RETRAÇÃO PLÁSTICA

A retração plástica é influenciada por alguns fatores como: a composição do concreto, condições climáticas e o processo de concretagem (ROMANO; CARDOSO; PILLEGGI, 2011).

2.1.1 Composição do concreto

Segundo Recena e Pereira (2011), o concreto é um material formado a partir da mistura de cimento, agregados, água e aditivos. Todos eles irão influenciar na ocorrência da retração plástica.

2.1.1.1 Relação água/cimento

Para Leonhardt (1977), o teor de água do concreto fresco é dado pela relação em peso de água/cimento. Como a retração é oriunda da movimentação da água, ela será maior, quanto maior for o fator água/cimento (ROMANO; PILLEGGI, 2011).

A retração plástica ocorre durante a contração da massa do gel, argamassa de alta resistência que se deposita nas partes maiores dos grãos de cimento, por ocasião da evaporação da água não fixada quimicamente no gel de cimento (LEONHARDT, 1977).

2.1.1.2 Tipo e a granulometria dos agregados

Como a retração plástica está relacionada com quantidade de água no concreto, o tipo e a granulometria do agregado estão também relacionadas a ela, por influenciar na quantidade de água presente na mistura (NEVILLE; BROOKS, 2013). Segundo Recena e Pereira (2011), se o concreto tiver maior quantidade de água em seu preparo, ou seja, maior relação de água por materiais secos, a chance de ocorrência de fissuras por retração aumentará. Essa necessidade de mais água na mistura ocorre, geralmente, por necessidade de melhor trabalhabilidade e é influenciada por diferentes razões ligadas aos agregados.

Segundo Neville e Brooks (2013), a forma irregular e textura rugosa de um agregado anguloso exigem mais água no concreto, quando comparadas a um agregado arredondado.

Os agregados podem carecer de mais água na mistura devido à distribuição granulométrica que apresentam. De acordo com Recena e Pereira (2011), a continuidade granulométrica da mistura seca determina quanto de argamassa o concreto deve ter para obter a trabalhabilidade desejada. A mistura irá necessitar de mais argamassa quanto maior for a descontinuidade da distribuição, isto é, quando os agregados tiverem quase o mesmo tamanho. Se esta necessidade de argamassa não for alterada, a massa de concreto terá uma menor trabalhabilidade. Geralmente, em obras, esta correção de trabalhabilidade é feita de forma inadequada, adicionando-se água a mistura, que aumenta a segregabilidade, a exsudação e consequentemente a retração plástica.

Assim, para evitar erros por má distribuição granulométrica e para garantir a trabalhabilidade do concreto, a ABNT NBR 7211 (2009) oferece curvas de distribuição granulométrica equivalentes a zona utilizável e zona ótima determinando os limites granulométricos para concretos convencionais.

Recena e Pereira (2011), explicam a ligação entre o módulo de finura dos agregados com o aumento da demanda de água no traço de concreto. Isso ocorre porque diminuir o módulo finura significa que o material está mais fino e com maior superfície específica, requerendo maior quantidade de água para molhagem.

Assim, segundo Leonhardt e Monnig (1977), o concreto deve possuir um teor de finos controlado para que a trabalhabilidade seja adequada, de modo que é recomendado:

- Agregado de tamanho máximo 8mm: 480kg de finos/m³ de concreto;
- Agregado de tamanho máximo 16mm: 400kg de finos/m³ de concreto;
- Agregado de tamanho máximo 32mm: 350kg de finos/m³ de concreto.

A presença de impurezas nos agregados, recorrente principalmente em agregados artificiais como a rocha britada, geralmente aumentarão a quantidade de água na mistura por serem materiais finos (RECENA; PEREIRA, 2011).

O aumento na relação água/cimento, consequentemente de água na mistura, é ocasionado também pela falta de controle da umidade dos agregados. Visto que o teor de umidade dos agregados deverá influenciar no traço da mistura e alterar a quantidade de água a ser colocada. (RECENA; PEREIRA, 2011). Outros dados que

irão influenciar neste aspecto, segundo Battagin (2011), são os de absorção e absorção efetiva pelo mesmo motivo. Tomando-se devida atenção quando a estocagem dos mesmos estiver sujeita a variações climáticas.

2.1.1.3 Adições minerais

É comum realizar adições ao cimento comum para melhorar ou alterar alguma característica, com o objetivo de aproveitar seu potencial ou melhorar custos (RECENA; PEREIRA, 2011).

Conforme Male (1989), as partículas das adições são pequenas e atuam bloqueando os poros, isto gera um aumento no contato entre os sólidos. Por este motivo, os concretos se tornam mais coesos, com menor segregação e exsudação, favorecendo a não ocorrência da retração plástica.

A influência das adições minerais no consumo de água de concretos está vinculada também a superfície específica das partículas e da quantidade utilizada (MOLIN, 2011).

As adições minerais que mais favorecem o não acontecimento da retração plástica são as pozolanas, sílica ativa, metacaulim, cinza da casca de arroz, cinza volante, uso de escórias granuladas de alto-forno e também de fíler calcário.

De acordo com Recena e Pereira (2011), o uso das pozolanas traz várias vantagens ao concreto em seus dois estados: fresco e endurecido. Os principais motivos para seu uso são o ganho de coesão na mistura e melhora na trabalhabilidade de traços de pouco consumo de cimento.

Molin (2011) enfatiza que a melhoria nas características de coesão e viscosidade do concreto ocorre quando as adições minerais possuem diâmetro inferior ao diâmetro do cimento, como ocorre com a sílica ativa, o metacaulim e a cinza de casca de arroz, ou quando é semelhante ao do cimento. É o caso da cinza volante, que por possuir massa específica menor, aumenta o volume da pasta de cimento. Esta mudança da relação entre volume de sólidos e volume de água gera mais plasticidade e coesão na pasta, além de influenciar positivamente na segregação e exsudação, já que possui mais volume de finos e menor consumo de água.

Por fim, a adição de escórias de alto-forno e de fíler calcário no cimento aumentam a compacidade e trabalhabilidade, por que trabalham como compostos ligantes e formam produtos hidratados (BATTAGIN, 2011). Sendo assim, ao aumentar a trabalhabilidade e a coesão, diminuir a segregação e exsudação as adições minerais podem atuar diretamente na retração plástica.

2.1.1.4 Presença de aditivos

Recena e Pereira (2011), explicam que “Aditivos são produtos químicos que, adicionados intencionalmente ao concreto, tem a finalidade de reforçar ou melhorar certas características facilitando seu preparo e utilização”. Assim, visando a diminuição da retração plástica, é possível o uso de aditivos para a melhoria das características do concreto, uma vez que a retração plástica é influenciada pela trabalhabilidade e quantidade de água no concreto.

2.1.1.4.1 Uso de dispersantes

Oliveira et al (2000), instrui que dispersantes também são chamados de redutores de água ou de plastificantes, e até mesmo de plastificantes de primeira, segunda ou terceiras gerações. Eles atuam na superfície para dificultar ou impedir a aproximação de partículas. Dessa forma, geram um bloqueio para as partículas mais finas, diminuindo o atrito e a energia e conseqüentemente a aglomeração de partículas (RIXON, 1999). Os concretos passam então a apresentar menor viscosidade e tensão de escoamento devido à repulsão entre partículas. Este fato possibilita a redução na quantidade de água e no teor do aglomerante da mistura. Os concretos passam a apresentar grande trabalhabilidade (ROMANO; CARDOSO; PILLEGGI, 2011). A Figura 1 demonstra a atuação do uso de dispersante agindo como desaglomerante da mistura.



Figura 1- Ilustração computacional da aglomeração das partículas de cimento em pasta isenta de dispersante (esquerda) e com o aditivo adsorvido na superfície (direita)
Fonte: Romano, Cardoso e Pileggi (2011, P. 482).

2.1.1.4.2 Uso de incorporadores de ar

Para aumentar a coesão e a trabalhabilidade dos concretos, ainda no estado fresco, os incorporadores de ar são usados. Afinal, a presença de bolhas tende a melhorar o fluxo e o bombeamento sem a separação das fases, garantindo um concreto mais leve e coeso (ROMANO; PILLEGGI, 2011).

2.1.1.5 Características do cimento

Segundo Cincotto (2011), os cimentos devem entrar em contato com a água para aglomerarem partículas e se hidratarem. Desta forma vão progredir a resistência mecânica do concreto e resistir a mesma após o endurecimento da massa, tal interação é chamada de reação de hidratação.

Essa reação é influenciada pela temperatura da mistura, pela finura das partículas, pelo tipo de cimento e pelo consumo (CINCOTTO, 2011). De acordo com Neville e Brooks (2013), evitar a evaporação total após o lançamento do concreto reduz a retração plástica. Afinal a retração plástica será maior quanto maior for o consumo de cimento da mistura, pois necessita de mais água.

Além disso, segundo Romano e Pilleggi (2011), a composição química do cimento também irá influenciar na retração plástica, pois concretos de cimentos com maior resistência ou endurecimento acelerado ocasionam mais retração.

Conforme Battagin (2011), CP V ARI possui capacidade para atingir elevada resistência em pouco tempo. Este cimento necessita de mais água para adquirir a trabalhabilidade e consistência dos outros tipos de cimento. Essa exigência de água pode gerar a retração plástica, caso essa quantidade de água requerida para aumentar a trabalhabilidade seque em condições indesejáveis.

Outro fator influente na retração plástica e relacionado ao tipo de cimento usado é o módulo de finura do cimento, assim como os agregados, se o cimento apresentar alto grau de finura, maior será o teor de água na mistura (BATTAGIN, 2011).

2.1.1.6 Temperatura do concreto

De acordo com Menzel (1954), a temperatura do concreto influencia na taxa de evaporação da água, influenciando diretamente na retração plástica. Neville e Brooks (2013) determinam que a temperatura do concreto a ser usado em obras deve ser controlada em uma faixa de 16 a 32 graus Celsius. A temperatura do concreto fresco é calculada pela temperatura dos elementos constituintes do mesmo.

Por isso uma alternativa para resfriamento do concreto é o resfriamento dos materiais constituintes. Um modo fácil de alcançar essa meta é protegendo os estoques dos agregados da ação do sol e aspergindo água, de maneira controlada, nos mesmos. Pode-se ainda, enterrar a tubulação de água a ser utilizada no concreto ou pintar as tubulações de branco, para protegê-las do calor do sol (NEVILLE E BROOKS, 2013).

A taxa e a quantidade de exsudação também irão aumentar com o aumento da temperatura do concreto. A exsudação geralmente para a cerca de uma hora após o concreto colocado. Se a temperatura do concreto se elevar rapidamente é possível a formação da retração plástica, diminuindo a capacidade do concreto de resistir as tensões (MENZEL, 1954).

2.1.2 Condições climáticas

Após o adensamento do concreto inicia-se o processo de exsudação. Na superfície do concreto existe um microclima definido pela saturação do ar sobre ele, criado pela evaporação da água da mistura. A água livre é absorvida pelo ar até a sua saturação, determinada pela temperatura (RECENA; PEREIRA, 2011).

A qualidade do concreto é influenciada pelas condições às quais estará exposto e pela taxa de evaporação da água da mistura, principalmente quando ainda está na fase de cura. Dependendo da condição climática a que estará submetido, pode ocorrer a retração plástica (SOUZA, 2010).

A NBR 14931 (2004) estabelece que a concretagem não pode ocorrer se a temperatura ambiente for superior a 40 graus Celsius e se a incidência do vento for superior a 60 metros por segundo.

A Associação internacional de Cimento recomenda, na ACI 305 (1954), algumas medidas a serem tomadas no dia da concretagem, tais como: avaliar as condições do local a ser monitorado (temperatura do ar, umidade, velocidade do vento), para verificar a necessidade de medidas de controle de evaporação; continuar monitorando as condições locais em intervalos de 30 minutos ou menos, até que procedimentos de cura estejam sendo realizados e medir a temperatura do concreto fresco durante o lançamento.

Segundo Romano e Pilleggi (2011), os fatores climáticos que influenciam na retirada da água do concreto são a alta temperatura, a baixa umidade relativa do ar e a velocidade do vento que incide sobre a estrutura.

2.1.2.1 Temperatura do ar

A hidratação do cimento Portland é uma reação química e por isso é favorecida pelo aumento da temperatura. Isto ocorre porque um aumento na temperatura acelera a hidratação do cimento (RECENA; PEREIRA, 2011). Entretanto, altas temperaturas aumentam a taxa de evaporação de água na

superfície do concreto fresco, enquanto a hidratação do cimento é acelerada (SOUZA, 2010).

2.1.2.2 Umidade do ar

Conforme Recena e Pereira (2011), a umidade do ar determina a evaporação da água na superfície do concreto. Isso ocorre de maneira que quanto menor a umidade do ar, mais água concreto é roubada pelo ambiente. Assim, se o ambiente já estiver totalmente saturado de água a passagem de água do concreto para o ar não acontecerá.

As retrações plásticas são recorrentes em áreas de baixa umidade do ar. Devido à grande parcela da água evaporada ser roubada pelo ar (SOUZA, 2010).

2.1.2.3 Velocidade do vento

Uma barreira de evaporação da água do concreto forma-se sobre essa superfície após a saturação do ar. Portanto, se houver movimento de ar no local, essa barreira de ar irá ser retirada, desprotegendo a superfície do concreto. Esta evaporação será maior e mais rápida se o vento for seco e veloz (RECENA; PEREIRA, 2011).

Geralmente a retração plástica ocorre com a incidência de ventos superiores a 30 m/s. O ressecamento do concreto acontece ligeiramente com vento seco, alta temperatura ambiente e baixa umidade gerando fissuras nas primeiras idades do concreto (SOUZA, 2010).

2.1.2.4 Relação entre temperatura e umidade do ar e velocidade do vento

A relação entre temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento foram relacionadas no estudo de Menzel em 1954 e apresentadas pela Associação Internacional de Cimento no ACI 305. Ele relacionou as variáveis climáticas e a temperatura do concreto com a taxa de evaporação na associação de gráficos a seguir, adaptado de Snell (2008):

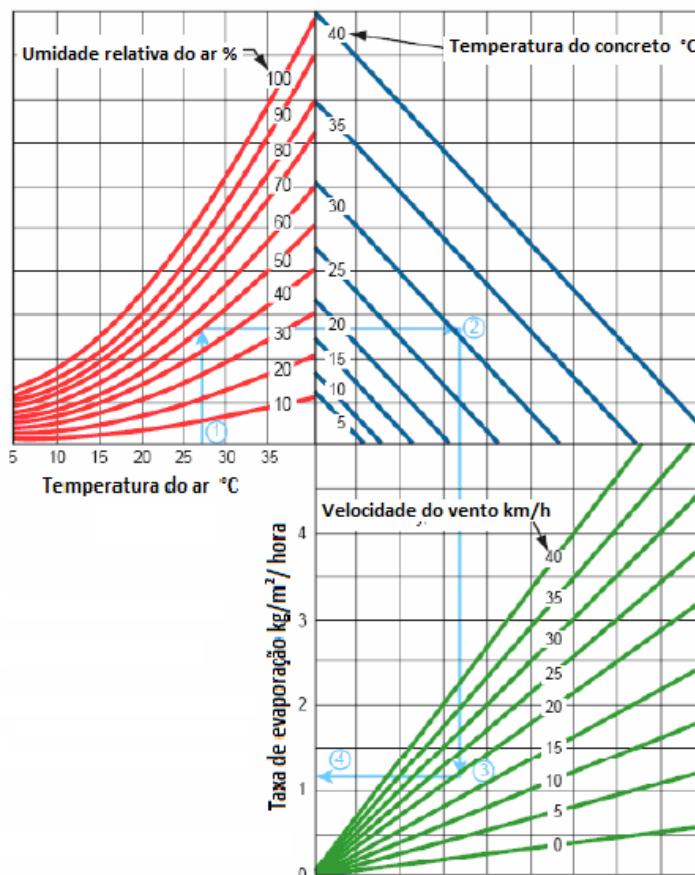


Gráfico 1 - Taxa de Evaporação da água na superfície de concreto
 Fonte: Adaptado de Snell (2008, P.3).

Para usar o Gráfico1 acima deve-se seguir os passos a abaixo (SNELL, 2008):

- 1- Entre com a temperatura do ar e suba até encontrar o valor da umidade relativa do ar.
- 2- Mova para a direita até a temperatura do concreto.
- 3- Mova para baixo para encontrar a velocidade do ar.
- 4- Mova para a esquerda para ler a taxa de evaporação na superfície do concreto.

A taxa de evaporação também pode ser obtida pela fórmula a seguir também adaptada por Snell:

$$E = 5 ([T_c + 18]^{2.5} - r [T_a + 18]^{2.5}) (V + 4) \times 10^{-6} \text{ [unidades SI]}$$

Onde :

E = Taxa de evaporação da água em kg/m²/hr

T_c = Temperatura do concreto em °C

T_a = Temperatura do ar em °C

r = Umidade do ar em porcentagem

V = Velocidade do vento em km/h

Segundo a ACI 305 (1954), nos Estados Unidos da América (EUA), dois valores de taxas de evaporação são usados para prever quando as fissuras de retração plástica irão se formar. Quando as taxas de evaporação forem superiores a 1,0kg/m²/h a retração plástica e as rachaduras são esperadas, devendo-se tomar medidas de controle. Quando a taxa de evaporação estiver situada entre 0,5 e 1,0kg/m²/h, podem ocorrer fissuras por retração plástica. Assim, são recomendadas medidas de precaução. Quando as taxas de evaporação forem de até 0,5kg/m²/h, não é esperada a ocorrência de rachaduras.

De acordo com o PCA (Associação de Cimento Portland) (1957), a velocidade média do vento em km/h deve ser medida em um nível de aproximadamente 510 milímetros acima da superfície de evaporação e a temperatura do ar e umidade relativa do ar devem ser medidas em um nível de cerca de 1,2 a 1,8 m mais elevadas do que a superfície de evaporação no concreto, no lado protegido dos raios do sol.

2.1.3 Processos de concretagem

Segundo Romano, Cardoso e Pilleggi (2011), as características desejáveis do concreto no estado fresco como trabalhabilidade e coesão são influenciadas pelos

processos de concretagem. Esse processo pode ser dividido em etapas, que estão explicitadas na Figura 2.



Figura 2 - Ilustração esquemática do conceito abrangente de trabalhabilidade, envolvendo as etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento
Fonte: Romano, Cardoso e Pilleggi (2011, P. 456).

2.1.3.1 Dosagem do concreto e misturas

Menzel (1954), estudou as causas da retração plástica devido aos movimentos do concreto e determinou que as fissuras ocorrem por: movimentos de construção como o movimento das formas; movimentos após a colocação do concreto tais como: o assentamento da massa de concreto e a vibração; e os movimentos na superfície de concreto devido a finalização e acabamento.

Conforme Romano e Pilleggi (2011), na produção do concreto a mistura é a primeira etapa, ela é essencial no desenvolvimento micro estrutural do concreto. Este processo é feito de forma simples e tende a transformar um sistema em partes num sistema homogêneo e coeso. Para tal, deve ocorrer a desaglomeração do material, pois as partículas tendem a se manter unidas. A mistura deve desaglomerar essas partículas, pois sistemas com unidades menores aumentam a viscosidade e trabalhabilidade da mistura (OLIVEIRA et al; 2000). Essa característica é fundamental no controle da retração plástica.

De acordo com Romano et. al. (2009), para determinar o tempo ideal de mistura deve ser tomado em consideração alguns parâmetros, como tipo de

equipamento utilizado e suas variáveis, também deve ser considerada a sequência de adição dos materiais na mistura (ROMANO; PILLEGGI, 2011).

Segundo Neville e Brooks (2013), se a mistura ocorrer por um período além do ideal, pode ocorrer a formação de fissuras por retração plástica devido à evaporação da água da mistura e da trituração dos agregados, tornando a granulometria mais fina, o que irá exigir mais água na mistura.

2.1.3.2 Transporte

Em obra, o concreto deve ser transportado no menor percurso entre a produção e o local de lançamento, evitando a perda de umidade e a segregação (RECENA; PEREIRA, 2011).

Segundo a NBR 14931 (2004), salvo condições específicas definidas em projeto, ou influência de condições climáticas (elevada temperatura ambiente, alta velocidade de vento, alto índice de umidade do ar) ou de composição do concreto, o máximo de tempo decorrido entre o início de pega do cimento e o final da concretagem é de 2h30min. Em circunstâncias peculiares, adotam-se medidas como o uso de aditivos retardadores, que aumentem o tempo de pega sem prejudicar a qualidade do concreto.

O sistema de transporte empregado também é relevante, pois seja por carrinhos de mão, ou outros meios de transporte, as vibrações impostas no trajeto podem desenvolver um adensamento antecipado ao concreto, com consequente segregação dos constituintes, afetando negativamente as propriedades do concreto (AZEVEDO, 2011). De acordo com a NBR 14931 (2004), o método de transporte deve consentir o lançamento direto do concreto nas fôrmas, quando necessitar de depósitos intermediários devem ser tomadas precauções para evitar a segregação do concreto.

2.1.3.3 Lançamento

A etapa de lançamento do concreto nas formas deve ser empreendida na construção apropriadamente, para que não modifique as características do concreto atingidas na descarga da betoneira (AZEVEDO, 2011).

Conforme a NBR 14931 (2004), no lançamento do concreto alguns cuidados devem ser tomados, tais como: remover os resíduos presentes na forma; não lançar após o início da pega; não lançar caso o concreto esteja contaminado pela presença de outros materiais; lançar o concreto mais próximo possível de sua posição final (altura máxima 2 metros); preencher o molde da fôrma de maneira uniforme e em camadas de altura compatível com o tipo de adensamento. Estas precauções são importantes, pois evitam o aparecimento de defeitos, como incrustação de argamassa nas paredes das fôrmas e nas armaduras, segregação, deformações do sistema de fôrmas e ainda mantém a homogeneidade do concreto.

Ainda segundo ACI 305 (1954), norma americana do Instituto Americano de Concreto, algumas recomendações devem ser seguidas no lançamento do concreto para evitar a retração plástica, tais como: não colocar o concreto contra superfícies absorventes de materiais que estão secos e não o colocar contra superfícies que possuem água livre.

O concreto bombeado (empregado na maioria das obras urbanas) exige características de alta fluidez e elevado teor de pasta e argamassa, que o adequam às condições mais rigorosas de trabalhabilidade, reduzindo os riscos de surgimento de patologias (AZEVEDO, 2011).

2.1.3.4 Adensamento

Segundo a NBR 14931 (2004, p.21), “durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser vibrado ou apiloado contínua e energicamente com equipamento adequado à sua consistência”.

O adensamento é essencial para assegurar a redução do volume de vazios no concreto em seu estado fresco resultante da presença de ar. O efeito da vibração

aplicada ao concreto reduz drasticamente o atrito interno da mistura, permitindo que o concreto sob a ação da vibração, fluidifique e facilite a sua acomodação no interior das fôrmas (RECENA; PEREIRA, 2011).

De acordo com a NBR 14931 (2004), são necessários alguns cuidados na aplicação da vibração, tais como: definir do tempo de vibração e distribuir os pontos de aplicação da agulha em função do raio de vibração; evitar a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor; no adensamento manual, a altura das camadas de concreto não deve ultrapassar 20 cm e o máximo de altura de camada de concreto a ser adensada deve ser 50 cm. Tomando-se estas medidas são evitados problemas como: segregações dos agregados em relação à pasta de cimento, prejudicando a compacidade do concreto; o total preenchimento de todos os recantos das fôrmas; aparecimento de ninhos e formação de vazios ao redor das armaduras, com prejuízos da aderência.

2.2 AÇÃO DA RETRAÇÃO PLÁSTICA EM LAJES DE COBERTURA

Conforme Romano, Cardoso e Pilleggi (2011), quanto maior a área em contato com o ambiente em relação ao volume da peça maior a retração plástica, pois propicia maior evaporação. Em pisos, pavimentos ou lajes, por exemplo, a perda de água para o ambiente ocorre de maneira muito mais rápida, resultando em uma estrutura mais exposta e indefesa à retração plástica.

A espessura da laje também irá influenciar na ocorrência da retração plástica, pois mais água irá se acumular em uma laje de maior espessura por ter mais água disponível. (MENZEL, 1954)

Segundo Timerman (2011, p.1183), “as fissuras causadas por retração plástica sucedem pela secagem precoce do concreto e/ou por existência de armadura próxima da superfície e tem sua origem entre trinta minutos a seis horas após o lançamento do concreto”.

O controle das fissuras é relevante para ter um bom desempenho relacionado à proteção das armaduras quanto à corrosão, onde a abertura máxima característica não deve exceder 0,2 mm a 0,4 mm, as fissuras não devem ser extensas e numerosas para não causar desconforto psicológico aos usuários, ou seja, deve

haver aceitabilidade sensorial por parte dos usuários, mesmo aquelas que não apresentam risco estrutural (NBR 6118, 2014).

Conforme Filho e Helene (2011), as fissuras podem ser caracterizadas por três parâmetros geométricos básicos, que são: abertura, extensão e profundidade, como mostra a Figura 3.

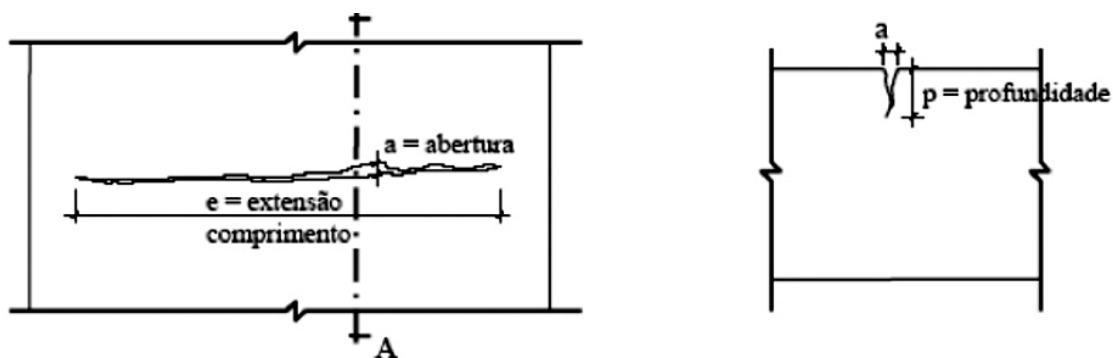


Figura 3 - Parâmetros geométricos usados para caracterizar uma fissura
 Fonte: Filho e Helene (2011, P.1166).

Abertura (a) – distância entre as bordas da fissura, medida de forma perpendicular à direção local de progresso da fissura.

Extensão (e) – comprimento de desenvolvimento da lesão ao longo da superfície do elemento afetado.

Profundidade (p) – distância do ponto mais profundo afetado pela lesão e a superfície do elemento estrutural.

Normalmente as fissuras não tem direção definida e podem ocorrer antes ou após o início da pega, porém em alguns casos de lajes armadas, podem ser observadas direções preferenciais, acompanhando a disposição das barras mais superficiais, quando ocorre associação com o fenômeno de assentamento. São pouco profundas, porém persistindo o fenômeno, podem atingir toda a espessura da peça, especialmente nas lajes pré-moldadas (AZEVEDO, 2011).

De acordo com Isaia (2011), no caso de condições ambientais adversas, pode ocorrer retração plástica com fissuração do tipo mapeamento, que pode chegar a alguns milímetros de abertura. Mesmo com pouca repercussão na segurança estrutural, pode trazer problemas de estanqueidade e desempenho, além de ser também esteticamente desagradáveis (NEVILLE, 2013). Esses fatores devem ser estudados e corrigidos para não diminuir a vida útil das estruturas, como as lajes pré-moldadas de cobertura de concreto armado.

As manifestações patológicas mais comuns decorrentes das fissuras, são a lixiviação do concreto e a corrosão das armaduras através da penetração de agentes agressivos (SOUZA, 2010). Essas fissuras podem facilitar o caminho para a armadura como pode ser visto na Figura 4.

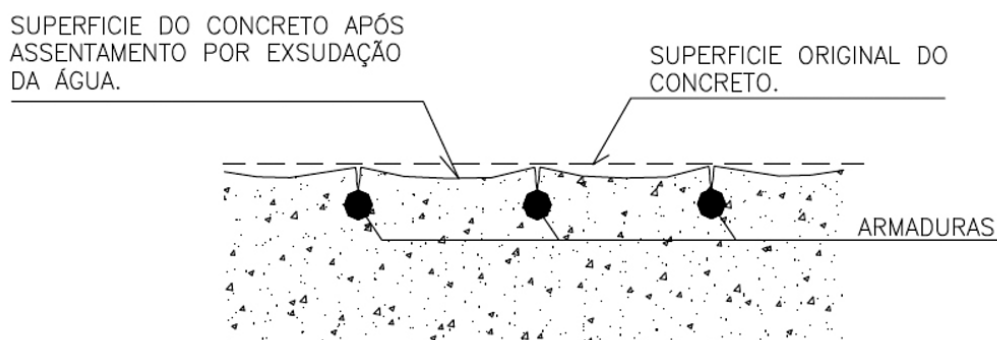


Figura 4 - Fissuração em lajes armadas
Fonte: Azevedo (2011, P. 1120).

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

2.3.1 Estado fresco

Conforme Neville e Brooks (2013), até o início da pega do aglomerante, qualifica-se o concreto como fresco. As propriedades apreciáveis são as que asseguram a obtenção de uma mistura fácil de transportar, lançar e adensar, sem segregação. As principais propriedades do concreto fresco são: trabalhabilidade, plasticidade, consistência e exsudação.

Trabalhabilidade é a propriedade composta de pelo menos dois componentes principais: fluidez, que descreve a facilidade de mobilidade do concreto fresco e a coesão, que descreve a resistência à exsudação ou à segregação. A plasticidade é a propriedade que o concreto fresco possui, definida pela facilidade com que o mesmo pode ser moldado sem se romper. Essa propriedade é inteiramente dependente da consistência e do grau de coesão entre os componentes do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Cardoso e Pilleggi (2011), de maneira geral, consistência tem relação com a facilidade de escoamento do material e com a sua coesão, logo, consistência está contida dentro do conceito maior de trabalhabilidade, sendo relacionada diretamente com as características de lançamento do concreto. A exsudação é uma forma de segregação, na qual parte da água do concreto tende a subir para a superfície da mistura recém-lançada, que é causada pela incapacidade dos componentes sólidos do concreto em reter toda a água de amassamento, quando eles acomodam-se em relação ao fundo (NEVILLE e BROOKS, 2013).

No concreto fresco, com exagero de armadura ou seções com dimensões muito variáveis, pode acontecer o assentamento plástico, que é ocasionado pelo excesso de exsudação da água e/ou sua evaporação precoce, gerando fissuras no estado plástico (ISAIA, 2011).

De maneira geral, os problemas tradicionais mencionados no concreto tais como desperdício de materiais, baixa produtividade operacional e falhas de dosagem ou de moldagem, possuem causas primárias decorrentes da inadequação de suas propriedades ainda no estado fluido em relação às demandas de aplicação (ISAIA, 2011).

De acordo com Azevedo (2011), no concreto fresco a retração plástica ocorrida, caracterizada pela evaporação, diminui de intensidade com a aplicação de eficazes sistemas de cura do concreto, desde o momento de início e duração.

2.3.2 Estado endurecido

As fissuras são manifestações patológicas que surgem nas estruturas de concreto endurecido sempre que ocorram tensões de tração que superam a capacidade resistente do concreto (AZEVEDO, 2011).

O projeto estrutural deve considerar a magnitude dessas ações, de modo a garantir um desempenho dentro dos limites aceitáveis de estabilidade e segurança. Os critérios de dimensionamento de peças fletidas, permitem a fissuração do concreto, limitado a valores que não forneçam condições favoráveis ao seu desgaste, a depender das condições de agressividade do meio ao qual ela estará exposta (AZEVEDO, 2011). A ABNT NBR 6118 (2014), fixa limites para as aberturas

das fissuras, no Estado Limite de Serviço, variando de 0,2mm para estruturas expostas à ambientes de Classe de Agressividade Ambiental (CAA) IV, 0,3mm para CAA II e III, 0,4mm para CAA I.

Segundo Rodrigues, Faria e Silva (2015), as fissuras resultam dos efeitos da atuação dos agentes intrínsecos e extrínsecos da deterioração das estruturas de concreto que se fazem sentir inicialmente, nos pontos fracos das estruturas. A configuração delas depende das diversas causas que incitem o aparecimento de tensões trativas superiores à resistência do concreto à tração.

As fissuras causadas por retração plástica são, na maioria das vezes, inofensivas. Entretanto, com os concretos modernos, os quais geram expressiva retração, com os pisos empregados com reforços, com telas soldadas ou fibras de aço e a necessidade na redução de custos as espessuras tornaram-se menores. Como consequência, o número de fissuras aumentou significativamente, trazendo consigo novas preocupações quanto à durabilidade e a capacidade resistente da estrutura (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015).

2.4 PROCESSOS DE CURA

Conforme Souza (2010), cura é um conjunto de técnicas, assegurando o mínimo de perturbação possível no concreto, aplicadas para garantir a continuidade das reações de hidratação no cimento, através do monitoramento das condições climáticas, umidade e temperatura do concreto. A resistência final e durabilidade são proporcionalmente maior, quanto mais organizada e gradativa for a cura realizada, pois amplia as características finais da massa de concreto. O controle das características do concreto nas primeiras idades é fundamental, visto que, é quando a retração plástica incide veemente, potencializando fissuras. Recomenda-se que a cura seja efetuada logo após o lançamento do concreto, nos primeiros sete dias, e caso contenha aditivos na mistura, recomenda-se estender até o décimo quarto dia.

A cura deve ser feita sempre de acordo com a NBR 14931 (2004), ou seja, pelo menos até o concreto atingir 15MPa. Nos dias de concretagem não é possível modificar a temperatura do ar, caso esteja elevada, logo, necessita-se intervir em outras variáveis como velocidade do ar e principalmente umidade. Desta forma o

volume de água disponibilizado pela cura deve ser sempre superior ao volume de água evaporado (RECENA; PEREIRA, 2011).

Menzel (1954), relaciona a exsudação com o tempo, indicando as prováveis ocorrências de retração plástica, como pode ser visto no Gráfico 2 abaixo:

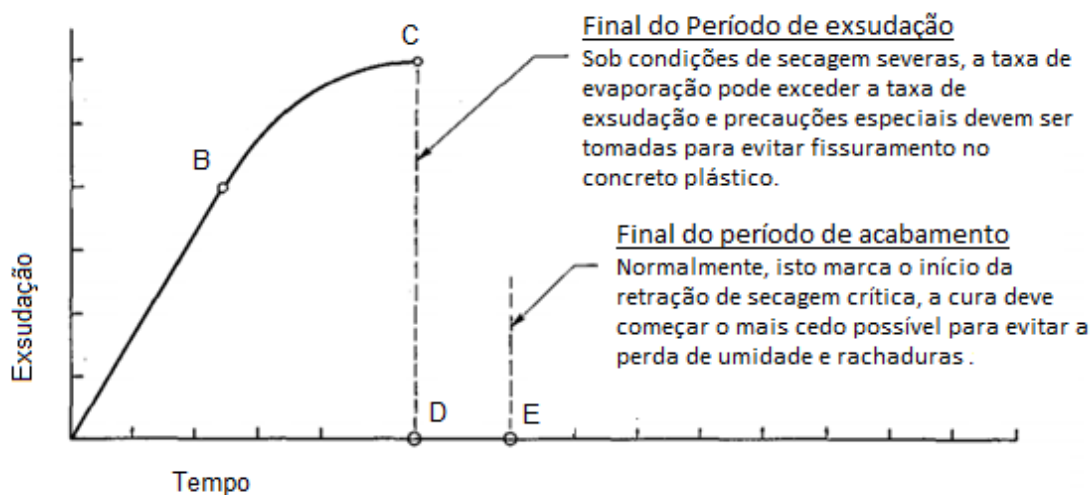


Gráfico 2 - Curva típica tempo versus taxa de exsudação
Fonte: Adaptado de Menzel (1954, P. 131).

- B- Período de exsudação;
- C- Final do Período de exsudação;
- E- Final do período de acabamento.

De acordo com Azevedo (2011), quanto maior a área de exposição às intempéries e menos espesso for o elemento estrutural, maiores serão as consequências negativas da falta de cura. Os tipos mais comuns, segundo Recena e Pereira (2011), são: a cura úmida (molhagem direta, molhagem indireta), a cura química, a cura com lonas impermeáveis, a cura térmica, a cura com modificação na composição do concreto e a cura a vapor. A Figura 5 ilustra os três procedimentos de cura do concreto mais utilizados no Brasil, segundo Recena e Pereira (2011).



Figura 5 - a) Cura com água por molhagem direta b) Cura com lâmina de água c) Cura por aspersão

Fonte: Recena e Pereira (2011, P.571).

2.4.1 Cura úmida

Segundo Azevedo (2011), é o procedimento mais usual e de melhor eficiência, a manutenção da umidade superficial do concreto é conseguida com a aspersão constante de água. Não apenas as superfícies horizontais superiores das lajes devem ser mantidas umedecidas, mas as inferiores também.

A molhagem direta é a mais utilizada, mantém a superfície do concreto continuamente molhada, fazendo o uso de mangueiras, aspersores, regadores ou outro dispositivo com função similar (RECENA; PEREIRA, 2011).

A molhagem indireta consiste, segundo Recena e Pereira (2011), em reter a água sobre a superfície concretada com a colocação de algum material como mantas de feltro, sacos de aniagem ou geotextéis, formando um estoque de água a ser evaporada antes que a própria água do concreto evapore. Para grandes superfícies são adequadas às películas de revestimento, que devem ser borrifadas com água, de modo a impedir a perda de umidade. Devem ser colocadas o mais tarde, uma hora após o início da pega (LEONHARDT e MONNIG, 1977).

De acordo com Leonhardt e Monnig (1977), a irrigação com água fria não é indicada, pois pode provocar grandes diferenças de temperatura entre o interior e o exterior do concreto, gerando fissuras.

2.4.2 Cura química

A cura química utiliza produtos químicos formadores de película que impermeabilizam a superfície do concreto evitando a saída da água. É recomendada quando não possuir água em abundância disponível, como mostra a Figura 6 (RECENA; PEREIRA, 2011).



Figura 6 - Cura com película química
Fonte: Recena e Pereira (2011, P.572).

2.4.3 Cura com lonas impermeáveis

A cobertura com lonas impermeáveis, conforme Recena e Pereira (2011), é constituída na evaporação de água até que o ar, dentro da câmara formada pela lona, atinja seu grau de saturação, interrompendo nesse ponto, a capacidade do ar em absorver umidade, como pode ser visto na Figura 7. Um dos aspectos positivos desse procedimento é o de proteger o concreto da ação do vento, já que este, em

alguns casos, é o maior responsável pela evaporação de água. É indispensável a análise do teor de sólidos presentes nas formulações de produtos para garantir a formação de uma película eficaz contra a evaporação da água (AZEVEDO, 2011).



Figura 7 - Cura por recobrimento com manta
Fonte: Recena e Pereira (2011, P.572).

2.4.4 Cura térmica

A cura térmica é feita em câmaras, ela também colabora para a otimização do traço e garante a umidade necessária ao concreto, acelerando a velocidade de ganho de resistência pelo aquecimento. É considerada a cura mais eficiente sendo muito utilizada em empresas de pré-moldado (BRITO, 2013).

2.4.5 Cura com modificação na composição do concreto

Em situações onde a cura úmida torna-se onerosa, como em superfícies muito grandes, pode-se optar por modificar a composição do concreto com algumas medidas acessíveis, tais como: o emprego de gelo, em substituição a parte da água

de amassamento, a dosagem do concreto com menor consumo de cimento e o resfriamento dos agregados, utilizando-se nitrogênio líquido, por exemplo, antes da dosagem. Estes são alguns exemplos de métodos com eficiência garantida (RECENA; PEREIRA, 2011).

O endurecimento do concreto também pode ser acelerado pelo uso de aditivos que não contenham cloreto de cálcio em sua composição, não excluindo as medidas de proteção contra a secagem (NBR 14931, 2004).

2.4.6 Cura à vapor

Conforme Leonhardt e Monnig (1977), a cura a vapor acontece nas câmaras de cura, nos espaços fechados dotados de caldeiras e tubulações que distribuem o vapor de uma maneira uniforme em toda a câmara. Através da cura à vapor podem ser alcançados valores elevados da resistência rapidamente. É essencial um prolongado resfriamento, caso contrário, surgirão fissuras na superfície. É possível obter curas extremamente rápidas através da cura à vapor sob pressão, com pelo menos 2atm.

Quanto à retirada de formas laterais, desde que o concreto esteja resistente o suficiente, pode ser feita no menor prazo possível para permitir a aplicação do sistema de cura (AZEVEDO, 2011).

3 MÉTODOS DE TRABALHO

O presente trabalho pretende sanar ou diminuir a retração plástica em lajes pré-moldadas de cobertura de concreto armado, a fim de melhorar a qualidade, a durabilidade e aumentar a vida útil das mesmas. A pesquisa abrange o controle da retração plástica em todas as construções sujeitas à esta patologia.

Para definir a demarcação dessa pesquisa, é necessário estabelecer alguns conceitos. De acordo com Gil (2002), as pesquisas classificam seus objetivos em: exploratórias, descritivas e explicativas. No que se refere à categoria, este trabalho está inserido em pesquisas exploratórias e explicativas.

As pesquisas exploratórias têm como função conhecer o problema, para torná-lo compreensível e criar teses. As pesquisas explicativas têm como objetivo principal detectar os elementos que ocasionam ou que contribuem para a incidência dos fenômenos (GIL, 2002).

A pesquisa também é classificada com base nos procedimentos técnicos utilizados para o seu desenvolvimento. Esta tese envolve a pesquisa experimental e o estudo de campo.

Segundo Gil (1994), a pesquisa bibliográfica é enriquecida a partir de estudos já desenvolvidos, sendo formada principalmente de livros e artigos científicos. Enquanto que a pesquisa experimental consiste em definir um objeto de estudo, seletar as constantes que podem intervir, determinar as formas de controle e de análise dos efeitos produzidos no objeto. O estudo de campo tem a função de aprofundar os temas propostos, utilizando técnicas de análise.

Pode-se considerar, de acordo com Dalfolvo (2008), que a pesquisa qualitativa produz dados qualitativos, pois não são baseadas apenas em números, como ocorre neste estudo.

Para a elaboração deste trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico, considerando pesquisas a respeito da retração plástica, dos fatores que influenciam a sua ocorrência e quais são as consequências em lajes pré-moldadas de cobertura de concreto armado.

Após o estudo dos conceitos, foram desenvolvidas duas linhas de pesquisa. A primeira consistiu em acompanhar três concretagens de lajes pré-moldadas de

cobertura de concreto armado, na cidade de Pato Branco - PR. A segunda linha de trabalho foi a concretagem em laboratório de pequenas formas de concreto.

3.1 ACOMPANHAMENTO DA CONCRETAGEM DE LAJES

Após o embasamento teórico, iniciou-se o estudo de caso de três concretagens de lajes pré-moldadas de concreto armado, localizadas na cidade de Pato Branco - Paraná. Elas foram acompanhadas durante um período de 12 horas, considerando o tempo de ação da retração plástica, pois o concreto ainda está no estado fresco.

O primeiro passo foi coletar os dados de velocidade do vento, de temperatura e de umidade do ar do dia da concretagem na previsão do tempo, no dia anterior a concretagem. As informações da previsão do tempo foram coletadas no site Tempo Agora, da empresa Somar Meteorologia, pelo seu grau de confiabilidade, que fornece a previsão por períodos do dia. Os valores foram aproximados com base no horário da concretagem.

O procedimento para coleta de dados foi o mesmo em todas as obras e foi feito segundo as recomendações do PCA (Associação de cimento Portland) (1954). Com o auxílio de um anemômetro digital e de uma trena, mediu-se a velocidade do vento, a uma altura de 51 cm do nível da laje. Este valor foi obtido em Km/h. Também com o anemômetro digital e a trena a temperatura do ar foi aferida, a uma distância de 160 cm do nível da laje, sendo um lado protegido dos raios de sol.

O último passo foi obter a umidade do ar utilizando um termômetro digital, com um bulbo seco e um bulbo úmido. Estes dados também foram coletados na altura de 160 cm, a partir do nível da laje.

Analisou-se ainda a temperatura do concreto lançado, com o uso de um termômetro de mercúrio em contato com a superfície de concreto. Todos esses valores foram anotados. Esse procedimento pode ser visto na Figura 8, feito na concretagem 1:



Figura 8 - Aferição da temperatura do concreto na superfície de concreto recém-lançado

Fonte: As autoras (2016).

Para cada laje em estudo, acompanhou-se o processo de concretagem, as características do concreto e se foram realizados ou não procedimentos de cura. Após doze horas do início da concretagem, as lajes foram analisadas quanto à presença ou não de fissuras causadas pela retração plástica e suas dimensões.

Para determinar a taxa de evaporação da água no concreto recém-adensado, utilizou-se a fórmula de Snell, disponível no capítulo 2.1.2.4. Além disso, para a temperatura do concreto, foi utilizada a mesma temperatura medida na superfície do concreto no dia da concretagem.

3.2 EXPERIMENTOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO

A segunda parte do trabalho consistiu na realização de ensaios de retração plástica, no laboratório de engenharia civil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. Com o intuito de avaliar a eficácia e qual o melhor tipo de cura para cada caso de lajes de cobertura.

Para realizar o experimento, construíram-se quatro moldes numerados de chapa de madeira compensada de dimensões 40x10x4cm, tais medidas foram escolhidas a fim de manter as características originais da situação de uma laje, onde

a área é muito maior que a altura. O aparato utilizado no experimento pode ser observado na figura 9.



Figura 9- Aparato utilizado no experimento
Fonte: As autoras (2016).

Os moldes possuem, na direção longitudinal, uma parte móvel interna acoplada a três parafusos a fim de se fixar ao concreto, sendo possível medir a retração plástica nesta direção, que se distancia da parte fixa por meio de dois pedaços de madeira em cada ponta. Viabilizou-se encontrar valores de retração plástica devido à utilização de relógio comparador analógico, aparelho de extrema precisão, que transmite ao ponteiro o movimento que é acusado pela haste de contato. O molde foi adaptado com um furo, permitindo a utilização do relógio comparador para obter todos os valores de retração plástica no concreto, como pode ser visto na figura 10.



Figura 10- Molde acoplado ao relógio comparador
Fonte: As autoras (2016).

A obtenção dos valores de retração plástica foi feita com a diminuição do valor inicial medido no relógio comparador no molde com concreto recém-lançado e o valor encontrado após 12 horas, tempo que caracteriza o concreto no estado fresco. Optou-se por não zerar o relógio comparador por dificuldades técnicas, uma vez que o modelo utilizado possui precisão micrométrica, ou seja, altamente sensível ao movimento. Como pode ser observado na figura 11 a e b.



Figura 11-a)Obtenção dos resultados através do valor inicial no relógio comparador b) Obtenção dos resultados através do final no relógio comparador
Fonte: As autoras (2016).

Para obter melhores resultados de retração plástica, minimizando os possíveis erros e facilitando o desmolde do concreto endurecido, foi utilizado desmoldante nas formas, exceto nos parafusos localizados na parte móvel do molde, colocados para possuir melhor ancoragem ao concreto.

Os ensaios em laboratório foram realizados utilizando o mesmo traço de concreto em todos os experimentos, assim foi possível observar de forma mais criteriosa os fatores de influência desejados nos resultados obtidos, tais como a cura do concreto e as condições climáticas as quais as formas estavam submetidas.

O volume de concreto foi determinado a fim de que este fosse suficiente para completar todas as quatro formas e moldar dois corpos de prova, ensaiados para verificar a resistência do concreto após sete dias. A resistência determinada numa fase inicial, após o 7º dia de colocação do concreto, pode ser comparada com a resistência esperada após 28 dias, que é considerado o tempo de referência. Deste modo, a taxa de aumento da resistência do concreto pode ser deliberada.

Foram utilizados 4,20kg de cimento (Ari); 8,82kg de areia; 12,60kg de brita (1); 2,40litros de água, com um fator Água/Cimento de 0,57. Partindo-se de uma resistência de 20 Mpa, valor coerente que está na faixa de resistência, normalmente solicitado para lajes de cobertura de concreto armado. O concreto utilizado para preencher os moldes pode ser visto na figura 12.



Figura 12- Concreto utilizado para preencher os moldes
Fonte: As autoras (2016).

Utilizando-se dos mesmos aparelhos para obter os valores de temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do concreto necessários nas lajes de cobertura, foi possível encontrar também as medidas para o experimento realizado em laboratório. Valores estes importantes para determinar se o concreto está mais propício à ocorrência de retração plástica, a depender das condições climáticas do dia da execução do ensaio.

Optou-se por colocar os moldes concretados ao lado de fora do laboratório, para que estes estivessem em situação semelhante ao que ocorre no dia a dia da concretagem das lajes de cobertura de concreto armado, ou seja, expostos às intempéries climáticas. Na figura 13, pode-se observar a mensuração da umidade relativa do ar.



Figura 13- Mensuração da umidade relativa do ar através de termômetro digital
Fonte: As autoras (2016).

3.2.1 Experimento 1 – Data 11/março/2016

No dia 11 de março de 2016 às 14h00, realizou-se o primeiro experimento, a fim de determinar a melhor opção de cura do concreto para diminuir ou sanar a retração plástica e conseqüentemente as fissuras nas lajes pré-moldadas de cobertura de concreto armado. Os quatro moldes foram acomodados na parte externa do laboratório, foi realizado o total preenchimento com concreto confeccionado em betoneira no canteiro de obras da UTFPR – Câmpus Pato Branco, Bloco J, setor de Engenharia Civil. Fazendo-se a devida regularização da superfície dos moldes, como é feito nas lajes de cobertura de concreto armado. Como pode ser observado na figura 14.



Figura 14- Molde concretado e regularizado exposto às condições climáticas
Fonte: As autoras (2016).

Os moldes foram deixados no mesmo local, sob as mesmas condições climáticas, porém nos moldes 1 e 4, aplicou-se cura úmida logo após o término da concretagem. Como pode ser observado na figura 15:



Figura 15- Molde 1 com cura úmida
Fonte: As autoras (2016).

Não foi observada em nenhum dos quatro moldes a presença de fissuras, confirmando a teoria de Snell, onde para valores de taxa de evaporação menores que $0,5\text{kg/m}^2/\text{h}$ é improvável o surgimento de fissuras. Todavia, acredita-se que este fato também ocorreu devido aos moldes terem dimensões reduzidas.

3.2.2 Experimento 2 – Data 08/abril/2016

No dia 08 de abril de 2016 às 08h30, foi realizado o segundo experimento. Acomodou-se os quatro moldes na parte externa do laboratório, em uma bancada elevada, cerca de um metro do chão. Em seguida, fez-se o total preenchimento com o concreto confeccionado na betoneira no canteiro de obras. Realizou-se a devida regularização da superfície dos moldes. Como pode ser observado na figura 16:



Figura 16- Concretados e regularizado exposto às condições climáticas
Fonte: As autoras (2016).

Neste experimento, o molde de número 4 recebeu cura úmida, enquanto que no molde de número 3, a cura foi feita com lona. Como pode ser observado na figura 17:



Figura 17- Molde 3 com cura com lona
Fonte: As autoras (2016).

Também não foi observada, em nenhum dos quatro moldes, a presença de fissuras, confirmando a teoria de Snell, onde para valores de taxa de evaporação menores que $0,5\text{kg/m}^2/\text{h}$ é improvável o surgimento de fissuras.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados obtidos, citados anteriormente, foi possível fazer uma análise dos resultados para cada uma das duas linhas de trabalho. A seguir, cada uma delas está representada de forma detalhada.

4.1 ACOMPANHAMENTO DA CONCRETAGEM DE LAJES

A seguir serão apresentadas cada uma das lajes em estudo, seu endereço, horário do início da concretagem, características do concreto, processos de concretagem, dados fornecidos pela previsão do tempo, informações coletadas na obra e demais características relevantes para o presente estudo. Cada concretagem será analisada segundo as causas das fissuras e qual processo deveria ter sido tomado para evitar a ocorrência da retração plástica.

A tabela 1 apresenta os resultados encontrados em cada uma das concretagens utilizando a previsão do tempo. Enquanto a Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com os valores medidos em campo:

Tabela 1 - Resultados obtidos com a previsão do tempo

Concretagem	Data	Temperatura do ar(°C)	Umidade do ar(%)	Velocidade do vento(km/h)	Temperatura do concreto(°C)	Taxa de evaporação (kg/m ² /h)	Ocorrência de fissuras
1	3/3/2016	23	55	18	28,5	0.97	Provável
2	5/3/2016	18	55	9	25	0.51	Provável
3	7/3/2016	31	63	7	30	0.29	Não

Fonte: As Autoras (2016).

Tabela 2 - Resultados obtidos com valores encontrados em campo

Concretagem	Data	Temperatura do ar(°C)	Umidade do ar(%)	Velocidade do vento(km/h)	Temperatura do concreto(°C)	Taxa de evaporação (kg/m ² /h)	Ocorrência de fissuras
1	3/3/2016	31	53	2,3	28,5	0.18	Não
2	5/3/2016	23	70	6	25	0.23	Não
3	7/3/2016	31,4	42	9	30	0.57	Provável

Fonte: As Autoras (2016).

Todas as lajes apresentaram fissuras causadas por retração plástica, porém cada uma por diferentes razões. Com o auxílio das tabelas 1 e 2 acima, pode-se perceber que os resultados obtidos com os dados da previsão do tempo, em comparação com os dados medidos em campo, são contrários. Tal contradição se dá pelo fato de que a previsão não consegue representar o que acontece na superfície recém-lançada do concreto. A altura da laje e o nível de exposição dela, em relação aos raios de sol e ao vento, influenciam diretamente nessa possível divergência. Além disso, quando a temperatura muda, a umidade relativa também muda, pois quanto maior for a temperatura menor será a umidade relativa.

4.1.1 Concretagem 1 – Rua Padre Anchieta

A primeira obra acompanhada localiza-se na Rua Padre Anchieta, 132, Bairro Samburgaro, na cidade de Pato Branco - PR. A obra é a ampliação da residência. Esse aumento trata-se de um cômodo a mais, com apenas um pavimento. A concretagem da laje pré-moldada de cobertura ocorreu na quinta-feira, 3 de março de 2016, a partir das 13:40min.

A previsão do tempo para o período da tarde do dia 3 de março de 2016, acessada na quarta-feira 2 de março de 2016, informava:

- Temperatura do ar: 23°C
- Umidade relativa do ar: 55 %
- Velocidade do vento: 18 km/h

(SOMAR METEOROLOGIA, 2016)

Inserindo esses valores na fórmula de Snell, citada em 2.1.2.4 , temos que a taxa de evaporação encontrada foi:

$$E = 0,97 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Segundo a ACI 305 (1954), este valor indica que a retração plástica e as rachaduras são esperadas, devendo-se assim tomar medidas de controle. Entretanto, os valores encontrados para velocidade do vento, temperatura e umidade do ar coletados no dia e no local da concretagem foram diferentes:

- Temperatura do ar: 31°C
- Umidade relativa do ar: 53 %
- Velocidade do vento: 2,3 km/h

A temperatura do concreto recém-lançado foi de:

- Temperatura do concreto: 28,5°C

Resultando em uma taxa de evaporação de:

$$E = 0,18 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Este resultado não aponta riscos de fissuras. O concreto utilizado foi usinado e fornecido pela empresa Hobmix de Pato Branco, com resistência característica do concreto de 25MPa. O concreto foi bombeado do caminhão direto na laje e espalhado com o auxílio de uma pá e de um rodo, também foi utilizado um vibrador para espalhar e melhorar a trabalhabilidade da mistura. Esse processo pode ser visto na Figura 18:



Figura 18-Processo da Concretagem 1
Fonte: As autoras (2016).

Não foi realizado cura na laje, porém logo depois da concretagem, houve um longo período de chuva de baixa intensidade. Após 12 horas do início da concretagem, pequenas fissuras foram observadas. Apenas na nata do concreto como pode ser visto na Figura 19 a seguir:



Figura 19- Fissuras causadas pela retração plástica na Concretagem 1
Fonte: As autoras (2016).

Para a Taxa de evaporação de água na superfície de concreto recém-lançado encontrada na Concretagem 1, a ocorrência de fissuras não era esperada. Entretanto, fissuras devido à retração plástica foram identificadas. Tais fissuras eram

de pequena dimensão e profundidade e estavam localizadas em áreas de acúmulo da nata do concreto. É importante lembrar, que após a concretagem da laje da Concretagem 1, houve um longo período de chuva de baixa intensidade. Esse fator permitiu o acúmulo de água sobre a laje, que se misturou com a nata de concreto. O excesso de água possibilitou, mesmo em condições climáticas não favoráveis a formação de fissuras, aumento na taxa de evaporação de água na superfície de concreto e a geração de fissuras por retração plástica.

O melhor processo de cura para essa laje teria sido a cura com lona, pois permitiria um controle das condições climáticas e evitaria o excesso de água na superfície da laje.

4.1.2 Concretagem 2 – Rua Luiz Detoni

A obra localiza-se na Rua Luiz Detoni, 326, Bairro Fraron, na cidade de Pato Branco - PR. A concretagem ocorreu no sábado 5 de março de 2016 às 7h30min. Trata-se de uma residência com dois pavimentos.

A previsão do tempo fornecida pelo site Tempo Agora (2016) acessado no dia anterior fornecia:

- Temperatura do ar: 18°C
- Umidade relativa do ar: 55 %
- Velocidade do vento: 9 km/h

(SOMAR METEOROLOGIA, 2016)

Utilizando esses dados para calcular a taxa de evaporação pela fórmula de Snell, citada em 2.1.2.4 , temos que:

$$E = 0,51 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Segundo a ACI 305, este valor também indica que a retração plástica e as rachaduras são esperadas, devendo-se assim tomar medidas de controle. A seguir temos os valores aferidos no dia e local da concretagem:

- Temperatura do ar: 23°C
- Umidade relativa do ar: 70 %
- Velocidade do vento: 6 km/h

A temperatura do concreto recém-lançado foi de:

- Temperatura do concreto: 25°C

Resultando em uma taxa de evaporação de:

$$E = 0,23 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Segundo a ACI, não apresenta riscos de fissuras. O concreto usado na laje foi fornecido pela empresa Hobmix, com resistência de 25 MPa. Ele foi bombeado do caminhão para a laje, onde foi espalhado com auxílio de um rodo e depois foi vibrado. Não foram realizados procedimentos de cura após a concretagem. A Figura 20 mostra o início da concretagem 2.



Figura 20- Início da Concretagem 2
Fonte: As autoras (2016).

A laje da Concretagem 2 apresentou fissuras, causadas pela retração plástica por toda a laje. Essas fissuras podem ser vistas na Figura 21 a seguir.

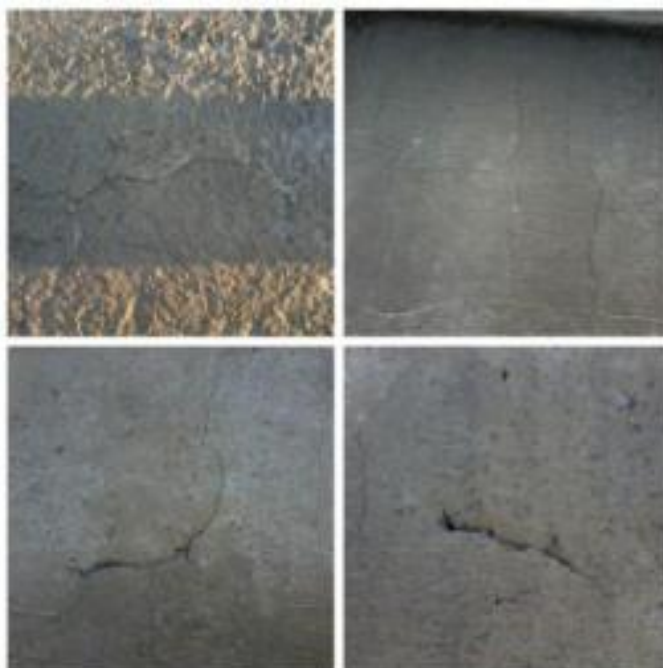


Figura 21- Fissuras causadas pela retração plástica na Concretagem 2
Fonte: As autoras (2016).

A Concretagem 2 não apresentava riscos de fissuras, porém elas aconteceram por toda a extensão da laje e com grande comprimento. A obra possuía, como característica particular, grande exposição aos raios solares, por não existirem construções vizinhas que pudessem a proteger, como pode ser visto na Figura 22 a seguir:



Figura 22- Ausência de proteção solar na obra da Concretagem 2
Fonte: As autoras (2016).

A exposição excessiva aos raios solares aumenta a ocorrência de fissuras por retração plástica, pois amplia a taxa de evaporação da água na superfície da laje. Outro fator que influenciou na ocorrência de fissuras, foi o aumento da temperatura

durante o dia, período em que o concreto ainda estava no estado fresco e sujeito à evaporação.

Para a Concretagem 2, dois processos de cura seriam os mais indicados, de acordo com a disponibilidade local. O primeiro seria o de cura com lona para proteger da incidência direta dos raios solares na laje, o segundo seria a cura úmida para controlar a taxa de evaporação de água na superfície da laje.

4.1.3 Concretagem 3 – Rua Natalino Dartora

A terceira concretagem acompanhada foi de uma laje de cobertura, localizada na Rua Natalino Dartora, no Bairro Fraron, Pato Branco - PR. A concretagem foi feita na segunda-feira, 07/03/2016, a partir das 13h30min. Trata-se de uma obra residencial com dois pavimentos.

A previsão do tempo para o período da tarde do dia 7 de março de 2016, acessada no domingo 6 de março de 2016, apresentava os seguintes valores:

- Temperatura do ar: 31°C
- Umidade relativa do ar: 63%
- Velocidade do vento: 7km/h

(SOMAR METEOROLOGIA, 2016)

Usando esses valores para determinar a taxa de evaporação da água na superfície do concreto recém-lançado, através da fórmula de Snell, temos que:

$$E = 0,29 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Esse valor de taxa de evaporação indica que não são esperadas fissuras devido à retração plástica. No dia da concretagem os valores obtidos no local da concretagem foram:

- Temperatura do ar: 31,4°C
- Umidade relativa do ar: 42%
- Velocidade do vento: 9km/h

A temperatura do concreto recém-lançado foi de:

- Temperatura do concreto: 30°C

Resultando em uma taxa de evaporação de:

$$E = 0,57 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Esse valor indica que fissuras causadas por retração plástica são esperadas na laje. O concreto utilizado nessa laje, também foi fornecido pela empresa Hobmix de Pato Branco - PR. As características do concreto eram resistência de 20MPa, com um volume total de 15m³. Ele foi bombeado do caminhão para a laje através de uma bomba e espalhado na laje com o auxílio de uma pá e de um rodo, como mostra a Figura 23:



Figura 23- Processo da Concretagem 3
Fonte: As autoras (2016).

Ao final do tempo de pega, a laje da Concretagem 3 apresentava fissuras em toda a sua extensão. Essas fissuras causadas pela retração plástica podem ser vistas na Figura 24:



Figura 24- Fissuras causadas pela retração plástica na Concretagem 3
Fonte: As autoras (2016).

As condições climáticas as quais a laje da Concretagem 3 estava exposta, possibilitavam a ocorrência de fissuras causadas por retração plástica, que se agravou pelo processo de concretagem e características do concreto.

O concreto apresentava pouca fluidez devido ao baixo teor de pasta e trabalhabilidade insuficiente, dificultando o espalhamento do concreto sobre a laje. Tais características diminuía a quantidade de água livre no concreto e aumentavam a ocorrência da retração plástica. A Figura 25 mostra a laje da Concretagem 3, 12 horas após a concretagem, para exemplificar o baixo teor de pasta da mistura.



Figura 25- Superfície da laje da Concretagem 3
Fonte: As autoras (2016).

Sendo assim, para a laje da Concretagem, 3 seria indicado melhorar a trabalhabilidade do concreto e qualquer um dos processos de cura para diminuir a evaporação da água na superfície, uma vez que as condições climáticas eram desfavoráveis.

4.2 EXPERIMENTO REALIZADO EM LABORATÓRIO

Utilizando-se os aparelhos específicos, foram encontrados, no primeiro experimento, os seguintes valores de:

- Temperatura do ar: 28°C

- Umidade relativa do ar: 63 %
- Velocidade do vento: 05 km/h
- Temperatura do concreto: 27 °C

Inserindo esses valores na fórmula de Snell, citada em 2.1.2.4 , temos que a taxa de evaporação encontrada foi:

$$E = 0,20 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Segundo a ACI 305, este valor indica que a retração plástica e as rachaduras não são esperadas.

No segundo experimento encontrou-se os seguintes valores de:

- Temperatura do ar: 20°C
- Umidade relativa do ar: 52 %
- Velocidade do vento: 4,5 km/h
- Temperatura do concreto: 28 °C

Inserindo esses valores na fórmula de Snell, citada em 2.1.2.4 , temos que a taxa de evaporação encontrada foi:

$$E = 0,41 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Novamente, este valor indica que a retração plástica e as rachaduras não são esperadas.

Nos ensaios de retração plástica, foram computados os resultados obtidos por leitura do relógio comparador acoplado ao molde construído. Os resultados serão dispostos conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de retração plástica

Data (11/mar)	Molde 1	Molde 2	Molde 3	Molde 4
Retração Plástica (mm)	0,210	0,283	0,245	0,202
Data (08/abr)	Molde 1	Molde 2	Molde 3	Molde 4
Retração Plástica (mm)	0,590	0,518	0,012	0,448

Fonte: As autoras (2016).

No primeiro experimento, realizado na data de 11 de março, todos os valores encontrados de retração plástica foram próximos. Os moldes foram deixados no mesmo local, sob as mesmas condições climáticas, porém nos moldes 1 e 4 foi aplicada a cura úmida após o término da concretagem.

No segundo experimento, realizado na data de 08 de abril, houve uma diferença significativa de valores. O molde de número 4 recebeu cura úmida, enquanto que no molde de número 3 foi feita cura com lona. Todos sob as mesmas condições climáticas.

Como era esperado, os moldes que receberam algum tipo de cura, obtiveram valores menores de retração plástica em relação aos outros. A maior divergência, entretanto, deu-se no molde 3, o qual foi realizado cura com lona, onde foi encontrado valor muito menor de retração, em relação aos outros concretados no mesmo dia. Desta forma, podemos confirmar a eficácia do método.

Em todos os ensaios, optou-se por utilizar dois corpos de prova por experimento, para verificar a resistência e a qualidade do concreto manipulado. Rompeu-se os corpos de prova após 7 dias e foram encontrados os seguintes valores, dispostos nas tabelas 4 e 5:

Tabela 4 - Valores de resistência dos corpos de prova do 1º experimento

1º experimento	Resistência
Corpo de prova 1	19,5 Mpa
Corpo de prova 2	21 Mpa

Fonte: As autoras (2016).

Tabela 5 - Valores de resistência dos corpos de prova do 2º experimento

2º experimento	Resistência
Corpo de prova 1	23,8 Mpa
Corpo de prova 2	21,5 Mpa

Fonte: As autoras (2016).

Nos dois experimentos realizados, o concreto utilizado apresentou valores próximos ao dimensionado (20Mpa), o que contribuiu para a minimização dos erros e da eficácia dos resultados nos ensaios realizados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desse trabalho é verificar a aplicação da equação Snell para previsão da ocorrência da retração plástica no concreto de lajes de cobertura para minimizar ou eliminar essa patologia. Para tal, foram realizadas observações de campo e testes de laboratório para prever e controlar a retração plástica em lajes pré-moldadas de cobertura de concreto armado, avaliando-se o processo como um todo. Iniciando pelo preparo do concreto, passando pelo processo de concretagem e condições climáticas, finalizando no método de cura a ser utilizado.

Com relação à aplicabilidade da equação de Snell para previsão da retração plástica foi possível concluir que nem sempre a previsão do tempo representa a situação real no local e na hora da concretagem. Também foi possível concluir que as condições climáticas se alteram durante o período em que o concreto está no estado fresco. Assim, a melhor maneira de prever a retração plástica seria calcular pela fórmula de Snell utilizando dados coletados na obra ao longo das primeiras doze horas.

Sabendo-se as condições climáticas mais desfavoráveis a que a laje está sujeita durante o estado fresco e fazendo-se um estudo sobre as características do concreto e do processo de concretagem é possível prever a ocorrência de fissuras por retração plástica e tomar medidas para evitá-las.

Na Concretagem 1 a ocorrência de fissuras não era esperada segundo a equação de Snell, porém, elas foram encontradas devido ao acúmulo de água da chuva em sua superfície após a concretagem. Já a Concretagem 2 não apresentava riscos de fissuras, porém, elas aconteceram por toda a extensão da laje e com grande comprimento devido a grande exposição da laje aos raios solares. As condições climáticas a que a laje da Concretagem 3 estava exposta possibilitavam a ocorrência de fissuras causadas por retração plástica. Esse processo foi agravado pelo processo de concretagem e características do concreto. Assim a verificação da ocorrência da retração plástica nas lajes pré-moldadas acompanhadas permitiu observar que utilizar apenas a equação de Snell como previsão não transmite confiabilidade nos resultados. É preciso analisar o processo de concretagem como um todo e não apenas as condições meteorológicas no momento da concretagem.

Já a análise em laboratório sobre a relação entre a retração plástica e a cura do concreto mostrou que nos moldes de concreto os quais receberam algum tipo de cura, encontrou-se valores menores de retração plástica em comparação com os que não receberam nenhuma cura. O mais evidente e significativo valor de retração plástica encontrado foi do molde 3, que recebeu cura com lona no segundo experimento, evidenciando sua eficácia afim de diminuir a valores não significativos a retração plástica do concreto. Observou-se que, mesmo com a aplicação de cura úmida logo após a concretagem não obteve-se valores tão distintos dos moldes sem cura, logo, aconselha-se que se for optar por este tipo de cura (úmida) que seja feito não somente no pós concretagem mas também mantido a cura num intervalo de 3 em 3 horas até o final do estado fresco do concreto.

A diferença de valores encontrados entre o primeiro e o segundo experimento mesmo os dois tendo sido executados com o mesmo traço é justificável pelo fato de as condições climáticas dos dias escolhidos para realização dos experimentos serem diferentes, fator importante que afeta de forma significativa os resultados. Em nenhum dos casos houve aparecimento visível de fissuras ou trincas, fato justificável, pois os moldes possuíam pequena dimensão e a fórmula de Snell também indicou que seria improvável o aparecimento de fissuras.

Assim, esse trabalho atingiu todos os objetivos e permite concluir que é possível aplicar a fórmula de Snell na previsão de fissuras decorrentes da retração plástica em lajes de cobertura. Porém é preciso também considerar os demais fatores que irão influenciar na ocorrência da retração plástica. Indica-se ainda que para prever a ocorrência da retração plástica deve-se usar os dados das condições climáticas encontradas no local da concretagem e não os da previsão do tempo. Foi possível concluir também que os processos de cura, realizados de forma correta, diminuem significativamente os valores de retração plástica e o surgimento de fissuras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931:2004**: Execução de estruturas de concreto- Procedimento. Rio de Janeiro,2004.

_____. **NBR 7211: 2009**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

AZEVEDO, Minos trocoli de. Patologias das estruturas de concreto. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, v.2, p. 1095-1128, 2011.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. Cimento Portland. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, v.1, p. 183-282, 2011.

BRITO, Mário Henrique Gomes. **Influência da cura térmica a vapor sob pressão atmosférica em características e propriedades de blocos de concreto**. 2013. 219 f. Dissertação (Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil)- Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2013.

CINCOTTO, Maria Alba. Reações de hidratação e pozolânicas. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, v.1, p. 381-414, 2011.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.2, n.4, p.01- 13, Sem II. 2008

FARIA, Breno Macedo Faria; RODRIGUES, Publio Penns Firme; SILVA, João Batista Rodrigues da. **Pavimentos industriais de concreto armado**. São Paulo, IBTS – Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 2015.

FILHO, Luiz Carlos Pinto da Silva; HELENE, Paulo. Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, v.2, p. 1129-1174, 2011.

FUSCO, Francisco Brasiliense; CHOLFE, Luiz. **Lajes projeto com tela soldada**. 1 ed. São Paulo: PINI, 1944.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Editora Atlas, 1994.

_____. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

ISAIA, Geraldo Cechella. A Água no Concreto. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: **IBRACON**, v.1, p. 311-346, 2011.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. **Construções de concreto**. Tradução: Davis Fridman. 1 ed. Rio de Janeiro: INTERCIÊNCIA, 1977. 1v.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1.ed. São Paulo: PINI, 1994.

MENZEL, Carl A. **Causes and Prevention of Crack Development in Plastic Concrete**. In: Proceedings of the annual meeting. Portland Cement Association. Illinois, serial n. 3040, p. 130- 136, 1954.

MOLIN, Denise carpena coitinho dal. Adições minerais. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, v.1, p. 261-310, 2011.

NEVILLE, Adam Matthew. **Properties of concrete**. London: LONGMAN, 1981.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. Tradução: Salvador E. Giamanusso. São Paulo: PINI, 1982.

NEVILLE, Adam Matthew; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 2.ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2013.

NUNES, Nelson Lúcio. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. **Retração do concreto de cimento portland**, São Paulo, BT/PCC/452, p. 1-61, 2007.

OLIVEIRA, Ivone Regina de. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios básicos e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: FAZENDO ARTE EDITORIAL, 2000.

RECENA, Fernando A. P.; PEREIRA, Fernanda Macedo. Produção e controle de concreto em obra. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, v.1, p. 537-584, 2011.

ROMANO, Roberto Cesar de O.; CARDOSO, Fábio A.; PILLEGGI, Rafael G. Propriedades do Concreto no Estado Fresco. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, v.1, p. 453-500, 2011.

RIXON, R.; MAILVAGANAN, M. **Chemical admixtures for concrete**. 3 ed. London: E & FN Spon, 1999.

SNELL, Luke M. **How to prevent plastic shrinkage cracks**. Webb School of Construction, Arizona State University, Arizona: 2008.

SOMAR METEOROLOGIA. **Previsão do tempo**. Disponível em <<http://www.tempoagora.com.br/previsao-do-tempo/pr/PatoBranco/#dia-03032016>>. Acesso em: 02 mar. 2016.

_____ **Previsão do tempo**. Disponível em <<http://www.tempoagora.com.br/previsao-do-tempo/pr/PatoBranco/#dia-05032016>>. Acesso em: 04 mar. 2016.

_____ **Previsão do tempo**. Disponível em <<http://www.tempoagora.com.br/previsao-do-tempo/pr/PatoBranco/#dia-07032016>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

SOUSA, Vicente Custódio De; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

SOUZA, Luiz Fernando Areno de. Patologias do concreto fresco em ambientes de temperatura elevada. In: Health and Environment World Congress, São Paulo, 2010.

TANESI, Jussara. **A Influência das fibras de polipropileno no controle da fissuração por retração**. 1999. 132 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

TIMERMAN, Júlio. Reabilitação e Reforço de Estruturas de Concreto. In: **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, v.2, p. 1175-1210, 2011.