



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

## **INFLUÊNCIA DA CURA TÉRMICA A VAPOR NO CONCRETO**

Maicon Guilherme Stein

Lajeado, junho de 2014

Maicon Guilherme Stein

## **INFLUÊNCIA DA CURA TÉRMICA A VAPOR NO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Cura Térmica.

Orientador: Prof. Ms. Ivandro Carlos Rosa

Lajeado, junho de 2014

## RESUMO

Na região do Vale do Taquari, há registros de quedas de temperatura abaixo de 15°C no inverno, fazendo com que ocorra o retardamento ou até mesmo a paralisação da pega do cimento no processo de fabricação de pré-fabricados de concreto. Com base nestes dados, este trabalho tem como objetivo analisar as influências do uso de caldeira a vapor, a fim de acelerar a cura de artefatos de concreto em seu processo de fabricação e auxiliar empresas da área que sofrem em dias com temperaturas muito baixas. Para a comprovação dos resultados, foram retiradas amostras de concreto de uma Fábrica de Pré-Fabricados do interior de Arroio do Meio - RS. Estas amostras foram moldadas em corpos de prova cilíndricos e divididas em dois grupos, no qual, o primeiro grupo foi submetido a cura úmida, onde os corpos de prova permaneceram em uma câmara úmida com 95% de umidade até o dia do ensaio e o segundo grupo à cura térmica, onde os corpos de prova foram curados a vapor na Fábrica com a temperatura máxima em torno de 70°C. Após curados, os corpos de prova dos dois grupos foram submetidos a testes de compressão e por fim, comparados os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Cura Térmica. Pré-fabricados de Concreto. Caldeira a Vapor.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistemas Aporticados.....	13
Figura 2 – Sistemas em Esqueleto.....	13
Figura 3 – Estrutura com painéis estruturais .....	14
Figura 4 – Pisos pré-fabricados.....	14
Figura 5 – Edifício com fachada Pré-Fabricada .....	15
Figura 6 – Esquema da construção com sistema celular .....	16
Figura 7 – Reação de Hidratação do Cimento .....	24
Figura 8 – Caldeira a Vapor .....	25
Figura 9 – Principais componentes de uma Caldeira .....	26
Figura 10 – Ciclo de Cura Térmica a Vapor .....	28
Figura 11 – Variação da Temperatura em Função do Tempo.....	29
Figura 12 – Variação da Temperatura em Função do Tempo .....	30
Figura 13 – Ensaio de Compressão .....	32
Figura 14 – Ensaio de tração direta .....	33
Figura 15 – Ensaio de tração por compressão diametral .....	33
Figura 16 – Ensaio de tração na flexão .....	34
Figura 17 – Agregado miúdo .....	37
Figura 18 – Agregado graúdo.....	37
Figura 19 – Moldes para os corpos de prova .....	38
Figura 20 – Termômetro.....	39
Figura 21 – Misturador .....	40
Figura 22 – Moldagem dos corpos de prova .....	41
Figura 23 – Câmara úmida.....	43
Figura 24 – Local destinado a cura acelerada.....	44

Figura 25 – Gráfico tempo x temperatura do vapor.....	45
Figura 26 – Retificação dos corpos de prova .....	46
Figura 27 – Ensaio de compressão.....	47
Figura 28 – Resultados ensaios.....	50



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma de atividades.....	11
Tabela 2 – Composição dos cimentos portland comuns e compostos.....	20
Tabela 3 – Composição dos cimentos portland de alto-forno e pozolânicos.....	20
Tabela 4 – Composição do cimento portland de alta resistência inicial .....	21
Tabela 5 – Classificação de acordo com as dimensões nominais das areias.....	22
Tabela 6 – Classificação de acordo com as dimensões nominais .....	23
Tabela 7 – Descrição dos principais componentes de uma Caldeira .....	27
Tabela 8 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova .....	40
Tabela 9 – Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura.....	42

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a/c	Fator Água Cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARI	Alta Resistência Inicial
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
FGV	Fundação Getúlio Vargas
PIB	Produto Interno Bruto
Sinduscon	Sindicato da Indústria da Construção Civil
MPa	Mega Pascal

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1 Pré-fabricados de concreto .....	11
2.1.1 Exemplos de sistemas pré-fabricados.....	12
2.2 Concreto.....	16
2.2.1 Materiais básicos.....	17
2.2.1.1 Cimento Portland.....	17
2.2.1.1.1 Adições minerais .....	18
2.2.1.1.2 Tipos de cimentos Portland .....	19
2.2.1.2 Agregados .....	20
2.2.1.3 Água.....	22
2.2.1.4 Aditivos químicos.....	23
2.2.2 Reações de hidratação do cimento.....	24
2.3 Caldeira a vapor .....	25
2.4 Cura do concreto.....	27
2.4.1 Cura úmida.....	27
2.4.2 Cura térmica do concreto .....	27
2.5 Resistência mecânica do concreto.....	30
2.5.1 Fatores que influenciam na resistência .....	30
2.5.2 Ensaio para a determinação da resistência do concreto .....	31
2.5.2.1 Resistência à compressão .....	31
2.5.2.2 Resistência a tração.....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....	35
3.1 Materiais.....	35
3.1.1 Cimento .....	36
3.1.2 Água.....	36

3.1.3 Agregados .....	36
3.1.4 Aditivo.....	38
3.1.5 Moldes para os corpos de prova .....	38
3.1.6 Termômetro.....	39
3.2 Métodos.....	39
3.2.1 Mistura.....	39
3.2.2 Moldagem dos corpos de prova .....	41
3.2.3 Cura.....	42
3.2.3.1 Cura úmida .....	42
3.2.3.2 Cura a vapor.....	43
3.2.4 Ensaio de compressão.....	45
4 RESULTADOS .....	48
4.1 Ensaio de compressão - 1 dia .....	48
4.2 Ensaio de compressão - 3 dias .....	49
4.3 Ensaio de compressão - 7 dias .....	49
4.4 Ensaio de compressão - 14 dias .....	49
4.5 Ensaio de compressão - 21 dias .....	49
4.6 Ensaio de compressão - 28 dias .....	50
4.7 Análise dos resultados .....	50
5 CONCLUSÕES .....	52
REFERÊNCIAS.....	54
ANEXOS .....	58

## 1 INTRODUÇÃO

A rápida expansão do setor da construção civil ganhou destaque na última década. O sonho da casa própria, aliado às facilidades de crédito imobiliário tem aquecido esse setor na última década (LUIZ, 2011).

Ainda segundo Luiz (2011) os investimentos no setor não param de crescer e as empresas necessitam ficar atentas a essas mudanças para satisfazer uma demanda cada vez maior e mais exigente.

Segundo Castelo(2012) o PIB (Produto Interno Bruto) do setor teve um acréscimo de 1,4% em 2012, e deve apresentar um crescimento de 3,5% a 4% em 2013, no mesmo patamar para o PIB previsto para o país, segundo dados divulgado pela Sinduscon (Sindicato da Indústria da Construção Civil) em parceria com FGV (Fundação Getúlio Vargas).

Contudo, as reclamações de imóveis novos inacabados, atraso na data de entrega e problemas de construção observados nas obras, têm crescido no mesmo ritmo dos empreendimentos. As construtoras alegam que não estão preparadas para esta nova demanda de obras, atribuindo os problemas à falta de mão de obra qualificada, demora na liberação dos alvarás e até mesmo alterações climáticas (JORNAL NACIONAL, 2010).

De acordo com Pederiva (2009), uma boa opção para o aumento da racionalização nos processos construtivos de uma obra, é a utilização de pré-fabricados, que são elementos executados fora do local de utilização definitiva na

estrutura, fazendo com que a execução da obra tenha um significativo aumento de qualidade e rapidez.

Empresas que trabalham no ramo de pré-fabricação de concreto e utilizam o cimento como principal meio de trabalho, necessitam de desforma rápida, e para isso, estas empresas utilizam o cimento CPV ARI (Alta Resistência Inicial), pois com uma boa resistência inicial, pode-se ter um ganho na produção. Porém durante o inverno ou em dias com temperaturas mais baixas, a velocidade de hidratação do concreto é influenciada, podendo ocorrer o retardamento de pega do concreto e conseqüentes quedas das resistências iniciais. Se essas temperaturas chegarem a níveis inferiores a 10°C pode ocorrer à paralisação do início de pega do cimento, ou seja, o concreto não reage e fica no estado fresco, afetando diretamente a produção industrial (LAGUNA; IKEMATSU, 2011).

De acordo com Diedrich, Ferreira e Eckhardt (2007), no Vale do Taquari, tem-se conhecimento de quedas de temperatura abaixo de 15°C no inverno, ocorrendo o retardamento ou até mesmo a paralisação da pega do cimento, conseqüentemente fazendo com que haja quebras nas peças de concreto durante à desforma e acumulação de estoques no pátio de peças pré-fabricadas de empresas que utilizam o cimento como principal meio de trabalho.

Este trabalho tem como objetivo analisar à utilização de Caldeira a Vapor no processo de cura de peças pré-fabricadas. A caldeira gera uma fonte de calor e umidade através do vapor produzido pela mesma, este vapor quente e úmido acelera a pega do cimento em dias com temperaturas mais baixas, fazendo com que o concreto tenha uma boa resistência para a desforma em menos tempo, reduzindo o tempo de entrega do material e necessidade de formação de grandes estoques no pátio, mantendo o ciclo de produção.

A presente pesquisa está dividida em cinco capítulos. O segundo capítulo, descreve as contribuições teóricas para a realização e estruturação do trabalho. O terceiro capítulo aborda os materiais e métodos utilizados, no quarto capítulo os resultados obtidos durante a realização do trabalho e no último capítulo, está descrito as considerações finais do trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dividido em quatro seções e tem como objetivo analisar as contribuições teóricas para a realização e estruturação do Trabalho de Conclusão de Curso sobre a Influência da Cura Térmica no Processo de Fabricação de Pré-Fabricados de Concreto.

A primeira seção apresenta a Pré-Fabricação de Estruturas de Concreto e alguns exemplos mais utilizados nos dias atuais. Já à segunda seção descreve como é obtido o Concreto e os principais insumos utilizados. Na terceira seção é descrito o funcionamento de uma caldeira a vapor e os seus principais componentes e por final, na quarta seção, esta descrito os tipos de cura do concreto utilizados para a comparação dos resultados.

### 2.1 Pré-fabricados de concreto

Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 9062/2006, é definido como pré-fabricado todo elemento moldado, fora do local de utilização, porém industrialmente e em instalações permanentes de empresa destinada para esse fim.

De acordo com Iglesia (2006), atualmente o mercado da construção civil busca cada vez mais em uma obra, maior qualidade e menores prazos, tornando necessário o aprimoramento de conhecimentos de técnicas e sistemas construtivos para absorver as necessidades mercadológicas.

Ainda segundo Iglesia (2006), pode se comparar a linha de produção de uma indústria automotiva com o sistema de pré-fabricação de concreto, onde os processos de montagens de diversos componentes irão resultar no produto final e conseqüentemente possibilitando uma maior rapidez no processo construtivo, além de um enorme salto de qualidade nos canteiros de obra.

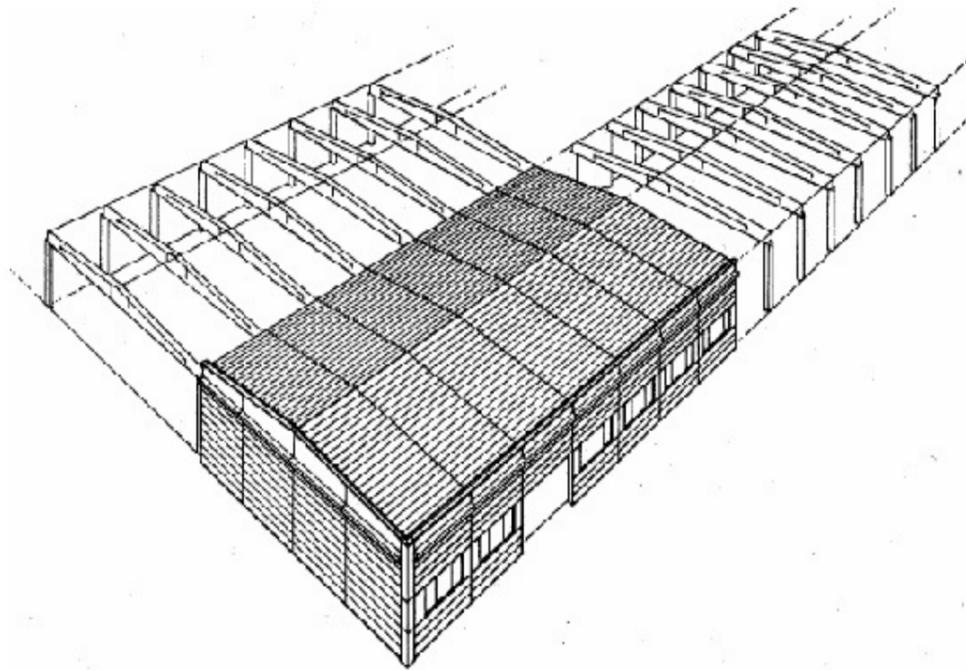
A pré-fabricação de artefatos de concreto na construção civil é a forma mais efetiva de industrializar o setor da construção civil, pois a produção em uma fábrica apresenta algumas vantagens relacionadas a uma forma de construir mais eficiente através de sua rapidez, economia e segurança, causados pelo uso altamente potencializado e otimizado dos materiais e de mão de obra especializada (ACKER, 2002).

### **2.1.1 Exemplos de sistemas pré-fabricados**

Existe um grande número de sistemas e soluções técnicas para as construções pré-moldadas e dentre os mais utilizados estão os:

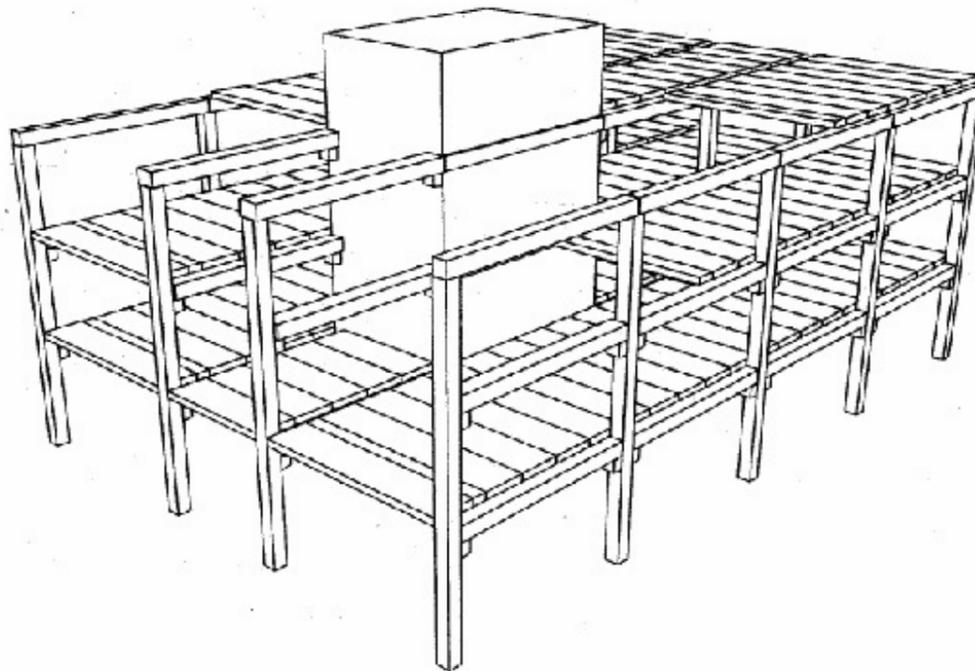
- a) Sistemas Aporticados e em Esqueleto (FIGURAS 1 e 2) - Consistem de elementos lineares, como vigas e pilares, que juntos formam o esqueleto da estrutura. São utilizados em construções que necessitam de uma maior flexibilidade na arquitetura, possibilitando o uso de grandes vãos (ACKER, 2002);

Figura 1 – Sistemas Aporticados



Fonte: Acker (2002).

Figura 2 – Sistemas em Esqueleto



Fonte: Acker (2002).

- b) Painéis Estruturais (FIGURA 3) - É um sistema de fechamento interno ou externo de parede e piso, sua superfície é lisa dos dois lados, e pronta para receber pintura ou papel de parede (ACKER, 2002);

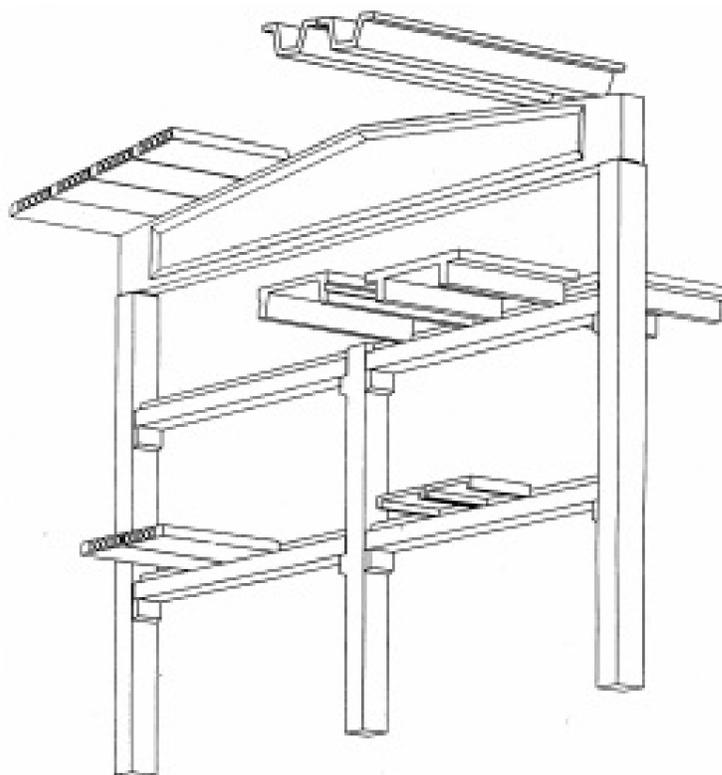
Figura 3 – Estrutura com painéis estruturais



Fonte: Usimak (2011).

- c) Sistemas pré-moldados para pisos (FIGURA 5) - É o sistema mais antigo e oferece uma variedade de sistemas, entre os principais estão: sistemas de painéis alveolares protendidos, sistemas de painéis com nervuras protendidas, sistemas de painéis maciços de concreto, sistemas de lajes mistas e sistemas de laje com vigotas pré-moldadas (ACKER, 2002);

Figura 4 – Pisos pré-fabricados



Fonte: Acker (2002).

- d) Fachadas de Concreto (FIGURA 4) - São geralmente empregadas com as estruturas de esqueleto, fixados na estrutura com a função de fechamento e acabamento (ACKER, 2002);

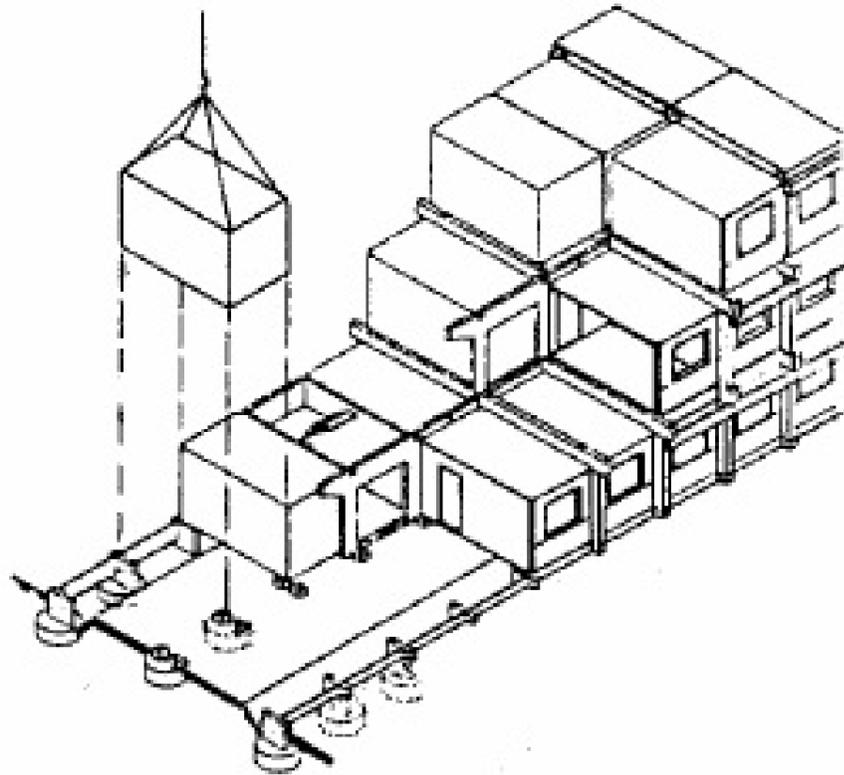
Figura 5 – Edifício com fachada Pré-Fabricada



Fonte: Perville (2012).

- e) Sistemas celulares (FIGURA 6) - São equipamentos montados completamente na fábrica, porém são difíceis de transportar e tem pouca flexibilidade arquitetônica (ACKER, 2002).

Figura 6 – Esquema da construção com sistema celular



Fonte: Acker (2002).

## 2.2 Concreto

Segundo Isaia (2005), o concreto pode ser considerado o material mais importante dos últimos tempos, pois possibilitou suprir as necessidades de edificações e obras de infraestrutura. É um material com alta resistência às solicitações de compressão, porém fraco de tração, devido a isto, emprega-se no concreto armaduras de aço para suportar estas solicitações. A junção destes dois materiais, mais conhecido como concreto armado, faz com que seja possível à construção de estruturas com vãos maiores ou de maior altura.

De acordo com Giongo (2007), o concreto é um material obtido pela mistura e dosagem conveniente de agregados graúdos, miúdos, cimento e água. Além destes materiais básicos, ainda podem ser utilizados algumas adições com a finalidade de melhorar algumas propriedades, como por exemplo, o aumento da resistência à compressão com adição de sílica ativa, à tração com adição de fibras metálicas. Podem ser consideradas também a utilização de aditivos químicos para acelerar a

pega, retardar a pega e melhoria da trabalhabilidade com o fator a/c (água/cimento) pequeno.

Ainda segundo Giongo (2007), o cimento é um material que reagindo com a água promove a ligação entre os agregados, tornando-os participantes de um novo material com propriedades diferentes. Os agregados são divididos em dois grupos, sendo eles grãos e miúdos, onde são classificados como grãos os que são oriundos de rochas de granito ou outras rochas, e os agregados miúdos são de areias naturais de fundo de rio ou provenientes da moagem de agregados grãos.

O concreto é normalmente empregado em estruturas de edifícios, casas, pontes, barragens, etc. Necessita ter resistência mecânica, aderência com as barras de armaduras e garantir impermeabilidade, normalmente especificado em projeto. Para ter uma boa resistência, o primeiro fator a ser analisado é o fator a/c, que representa seguramente o principal parâmetro de resistência do concreto, em média 95% das variações da resistência à compressão estão relacionadas a este fator. Já a resistência à tração, é influenciada pelos agregados, devido principalmente à natureza mineralógica, forma geométrica e textura das partículas (RODRIGUES; BOTACINI; GASPARETTO, 2006).

## **2.2.1 Materiais básicos**

Neste capítulo estão descritos os principais insumos para a obtenção do Concreto.

### **2.2.1.1 Cimento Portland**

O cimento Portland foi descoberto em 1824 na Inglaterra, porém sua produção industrial foi iniciada após o ano de 1850. É um pó fino, e seu principal componente é o clínquer, um ligante hidráulico que após entrar em contato com a água, é submetido a processos de transformação, que contribuem para agregar e consolidar os agregados, resultando num compósito. Após a secagem, mesmo que

seja novamente submetido à ação da água, não se decompõe mais (BASTOS, 2006).

#### 2.2.1.1.1 Adições minerais

De acordo com Battagin (2011), a fabricação do cimento necessita de muito consumo energético. Uma das alternativas de diminuir o consumo energético no processo de fabricação do cimento é o uso de escórias granuladas de alto forno, materiais pozolânicos e fíler de calcário na composição do cimento, chamados de cimentos com adições.

- a) Escória granulada de alto-forno - É um subproduto da fabricação do aço, de natureza vítrea e apresenta composição química similar ao clínquer. Constituído em sua maior parte de aluminossilicatos<sup>1</sup>(BOTTAGIN, 2011);
- b) Materiais Pozolânicos - São materiais silicosos<sup>2</sup>ou sílico-aluminosos<sup>3</sup>, que por si só não possuem poder aglomerante, mas que, em presença de água e quando finamente divididos, reagem com o hidróxido de cálcio, na temperatura ambiente, dando origem a compostos com propriedades aglomerantes (BOTTAGIN, 2011);
- c) Fíler de Calcário - É um material proveniente da rocha calcária finamente moída, o qual adicionado ao cimento Portland produz concretos mais trabalháveis, porque os grãos ou partículas desses materiais, ao se alojarem entre os grãos dos demais componentes do concreto, desempenham o papel lubrificante (BOTTAGIN, 2011).

---

<sup>1</sup> Aluminossilicatos são minerais compostos de alumínio, silício e oxigênio. Eles são um importante componente do caulino e outros minerais argilosos.

<sup>2</sup> Silicosos são materiais arenosos.

<sup>3</sup> Sílico-aluminosos são materiais compostos de argila, contendo baixos teores de óxido de ferro e álcalis.

### 2.2.1.1.2 Tipos de cimentos Portland

No Brasil, hoje, encontram-se normalizados cinco tipos de cimento Portland, denominados CP-I a CP-V. O que difere os tipos de cimento são as adições minerais ao clínquer no processo de moagem. O CP-I tem adições de gesso, o CP-II ocorre adições ativas de escória de alto forno (CP-II E), pozolana (CP-II Z) e filer de calcário (CP-II F) conforme a Tabela 2. O cimento CP-III e CP-IV diferem do CP-II E e CP-II Z pelo teor das adições, conforme Tabela 3. Por final o CP-V ARI, é normatizado separadamente dos cimentos comuns, pois tem como principal característica atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação, conforme Tabela 4 (RODRIGUES;BOTACINI;GASPARETTO, 2006).

Tabela 2 – Composição dos cimentos portland comuns e compostos

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (E)	Material pozolânico (Z)	Material carbonático (F)	
Comum	CP I	100	-	-	-	NBR 5732
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

Tabela 3 – Composição dos cimentos portland de alto-forno e pozolânicos

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (E)	Material pozolânico (Z)	Material carbonático (F)	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânicos	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

Tabela 4 – Composição do cimento portland de alta resistência inicial

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Material carbonático (F)	
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	0-5	NBR 5733

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

### 2.2.1.2 Agregados

Segundo Farias e Palmeira (2007), agregados são fragmentos de rochas, popularmente denominados "pedras" e "areias". Estes fragmentos possuem amplas faixas de dimensões nominais diferenciadas, desde blocos com vários centímetros até partículas milimétricas e são utilizados na maioria das obras de infraestrutura civil.

De acordo com Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006), os agregados representam em média cerca de 70% da composição do concreto, deste fato conclui-se que a qualidade seja um fator muito importante, pois os agregados podem influenciar negativamente no desempenho do concreto. Seu emprego na fabricação pode ser resumido em três motivos básicos.

- a) Redução de custos, pois os agregados são bem mais baratos que o cimento portland;
- b) Contribuir para o aumento da capacidade estrutural e do módulo de elasticidade do concreto;
- c) Controlar as variações volumétricas, principalmente as advindas da retração hidráulica do cimento.

Segundo Neto (2005), os agregados podem ser classificados em naturais, britados, artificiais ou reciclados. Os agregados naturais são sedimentos provenientes do intemperismo encontrados na natureza, derivados de rochas existentes na crosta da Terra, já preparados para o uso sem outro beneficiamento

que não sejam a lavagem, como por exemplo, as areias encontradas nos leitos de rios.

Os agregados britados são provenientes de processos de fragmentação de rochas, geralmente obtidos por britagem realizada em pedreiras, como por exemplo, pedra britada, pedrisco, pedregulho britado, etc. (NETO, 2005).

Os agregados artificiais são derivados de processos industriais visando à obtenção de propriedades especiais, como por exemplo, os agregados leves produzidos a partir da argila em processo de expansão térmica (NETO, 2005).

Os agregados reciclados são resíduos industriais decorrentes de entulhos de construção ou demolição que são selecionados e reutilizados para fins construtivos (NETO, 2005).

Sob o ponto de vista granulométrica, os agregados podem ser subdivididos em miúdos e graúdos.

- a) Agregados Miúdos - Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), os agregados miúdos, de uma forma geral, são compostos pelas areias, pedregulho fino e pedriscos, dimensões nominais entre 4,8mm e 0,075mm. Pode-se utilizar tanto areias naturais quanto areias obtidas de processos industriais. As areias naturais são mais recomendadas por possuírem forma mais arredondada e textura mais lisa, porém nos dias atuais, a legislação ambiental esta cada vez mais rigorosa e tem procurado incentivar o uso de areias artificiais, oriundas do processo de britagem de rochas;

De acordo com ABNT - NBR 7225/1993, as areias são divididas em três grupos, sendo eles as finas, médias e grossas. Suas dimensões estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação de acordo com as dimensões nominais das areias

Tipo de Areia	Tamanho nominal	
	Mínimo	Máximo
Grossa	1,2	2

Continua

<b>Média</b>	0,42	1,2
Fina	0,075	0,42

Fonte: ABNT-NBR 7225/1993.

- b) Agregados Graúdos - Segundo a ABNT - NBR 7211/2005, os agregados graúdos são provenientes de rochas estáveis, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,8mm, como por exemplo, as pedras britadas, que de acordo com a ABNT-NBR 7225/1993, são divididas por tamanho e numeradas de 1 a 5, conforme Tabela 6;

Tabela 6 – Classificação de acordo com as dimensões nominais

Pedra britada Número	Tamanho nominal	
	Aberturas de peneiras de malhas quadradas (mm)	
	Mínimo	Máximo
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte: ABNT - NBR 7225/1993.

### 2.2.1.3 Água

De acordo com Isaia (2011), a água é um componente vital para o concreto porque, juntamente com o cimento produz a matriz resistente que aglutina os agregados e confere a compacidade da matriz para dotar as estruturas da durabilidade e vida útil previstas em projeto.

Ainda segundo Isaia (2011), existem três aspectos a serem considerados na água de amassamento do concreto. O primeiro deles é quanto a sua qualidade, devem levar em conta as impurezas nela dissolvidas ou em suspensão que podem afetar algumas propriedades do concreto. O segundo aspecto é a quantidade de

água por unidade de volume de concreto, pouca água afeta a trabalhabilidade do concreto. O terceiro aspecto é o fator  $a/c$ , que se for muito alto pode afetar a resistência do concreto.

#### 2.2.1.4 Aditivos químicos

De acordo com Martin (2005), os aditivos são materiais adicionados em pequena quantidade ao concreto durante o processo de mistura, visando modificar as propriedades da mistura para melhor adequá-las a determinadas condições.

Existem vários tipos de aditivos que são utilizados na produção de artefatos pré-fabricados de concreto e dentre os mais utilizados estão:

- a) Redutores de Água: aditivo que permite a redução de água, sem modificar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco. São conhecidos como plastificantes e superplastificantes, eles diferenciam-se pela sua eficiência, os plastificantes permitem uma redução de água de pelo menos 5%, já os superplastificantes podem reduzir a água da mistura em até 40% (HARTMANN et al., 2011);
- b) Aditivos que Modificam a Pega do Concreto: com este aditivo, pode-se reduzir ou aumentar o tempo de pega do cimento para determinada função (MARTIN, 2005);
- c) Aditivos Incorporadores de Ar: sua função principal é produzir em concretos um número elevado de finas bolhas de ar, com a finalidade de aumentar a durabilidade do concreto ao reduzir sua permeabilidade, porém o ar incorporado pode reduzir a resistência mecânica (MARTIN, 2005);
- d) Inibidores de Corrosão: aditivo que permite o aumento do tempo até o início do processo de corrosão do metal ou reduzem significativamente a taxa de corrosão (HARTMANN et al., 2011);
- e) Aditivos Redutores de Retração: aditivo que reduz os efeitos causados pela retração de concretos, através da redução da tensão superficial da água nos poros (HARTMANN et al., 2011).

### 2.2.2 Reações de hidratação do cimento

O cimento é composto por sua maior parte de clínquer, que é um material fabricado a partir da combinação de calcário moído e argila, submetido a temperaturas que chegam em torno de 1.500°C. Quando o cimento entra em contato com a água, essa energia é liberada em forma de calor, e é a sua intensidade durante as primeiras idades que determina a velocidade do endurecimento do concreto e o crescimento da resistência, este calor é chamado de calor de hidratação, facilmente detectado após o início da pega. Este calor pode ser influenciado pela relação a/c, finura do cimento e pela temperatura da cura (SILVA et al., 2009).

Caso o ambiente em que está ocorrendo à cura do concreto esteja numa temperatura elevada, há uma tendência de aceleração das reações, pois devido ao aumento da intensidade do calor, ocorre conseqüentemente o aumento das resistências em idades iniciais. Durante o inverno ou em temperaturas mais baixas, não ocorre este processo de calor de hidratação, fazendo com que ocorra o retardamento do crescimento da resistência (SILVA et al., 2009).

Figura 7 – Reação de Hidratação do Cimento



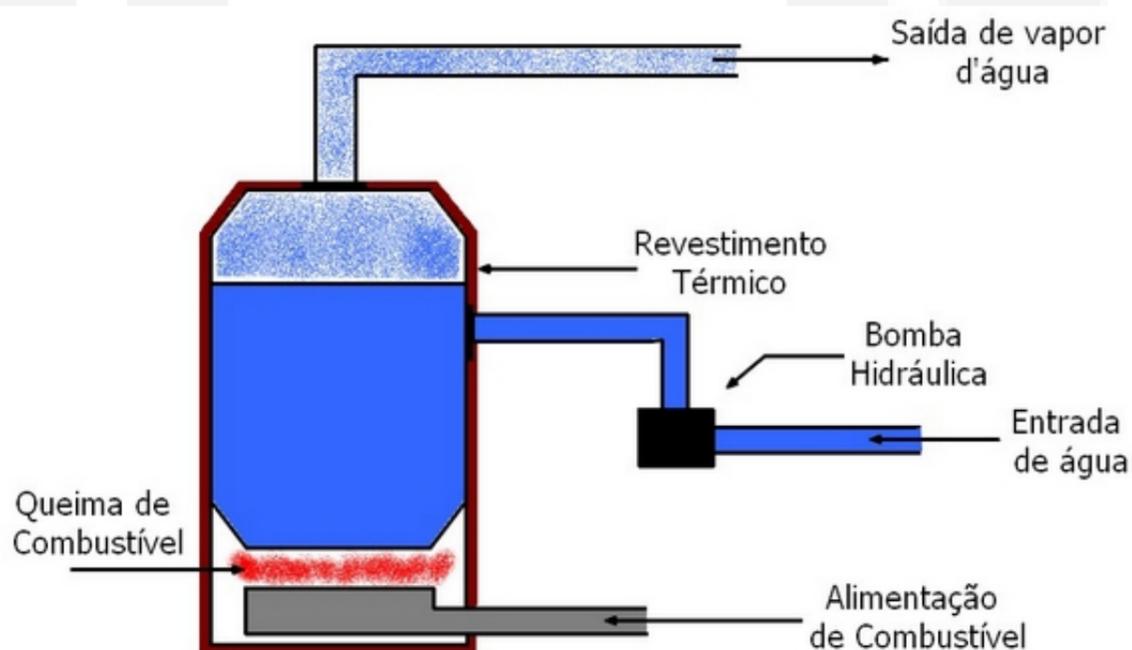
Fonte: Laguna e Ikematsu (2011).

## 2.3 Caldeira a vapor

De acordo com Leite e Militão (2008), são equipamentos que geram vapor através de uma troca térmica entre o combustível e a água. Segundo Filho (2012) a água é introduzida no reservatório por uma bomba hidráulica. O reservatório encontra-se em contato com o calor gerado pela queima de combustível, onde há uma aplicação contínua de energia, transformando a água em vapor, conforme Figura 8. Este vapor de água pode ser utilizado como meio de geração, transporte e utilização de energia.

Ainda segundo Filho (2012), quando a água passa de sua forma líquida para gasosa, gera pressão dentro da caldeira, com isso são equipamentos robustos capazes de aguentar grandes pressões, porém constitui um risco eminente na sua operação.

Figura 8 – Caldeira a Vapor

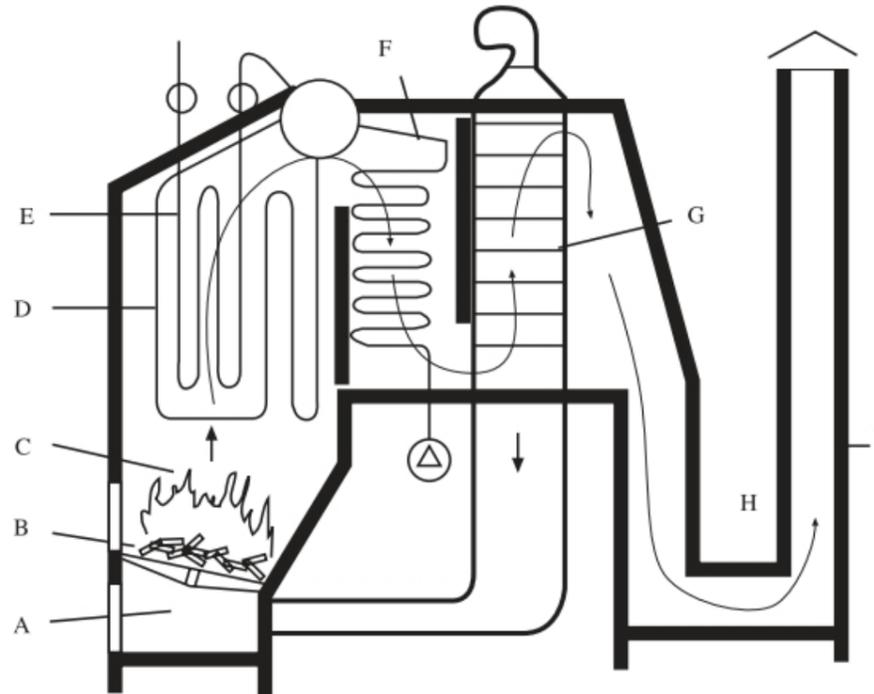


Fonte: Filho (2012).

O uso do vapor de água como transporte de calor, pode trazer grandes vantagens por ser um agente pouco agressivo quimicamente, uma substância facilmente disponível e possuir uma grande capacidade de transportar energia. Com 3 kg de lenha, pode ser produzido em média, cerca de 15 kg de vapor (NOGUEIRA, 2005).

Ainda segundo a Nogueira (2005), os principais componentes dos sistemas de produção de vapor, que influem decisivamente em seu desempenho são:

Figura 9 – Principais componentes de uma Caldeira



Fonte: NOGUEIRA (2005).

Tabela 7 – Descrição dos principais componentes de uma Caldeira

A	CINZEIRO: Onde se depositam as cinzas e restos de combustíveis que não completaram sua combustão.
B	FORNALHA: Onde ocorre a queima de combustíveis.
C	CÂMARA DE COMBUSTÃO: Volume onde se deve consumir todo o combustível antes de os produtos de combustão atingirem e penetrarem no feixe de tubos.
D	TUBOS EVAPORADORES: Vaso fechado com tubos contendo água, a qual, ao receber calor transforma-se em vapor.
E	SUPERAQUECEDOR: Responsável pela elevação da temperatura do vapor gerado na caldeira.
F	ECONOMIZADOR: Componente onde a temperatura da água de alimentação sofre elevação, aproveitando o calor sensível residual dos gases da combustão direcionados à chaminé.
G	PRÉ-AQUECEDOR DE AR: Sua função é aquecer o ar de combustão para introduzi-lo na fornalha, aproveitando o calor sensível dos gases da combustão.
H	CANAIS DE GASES: São trechos intermediários ou finais de circulação dos gases de combustão até a chaminé.
I	CHAMINÉ: É a parte onde ocorre a expulsão dos gases de combustão.

Fonte: NOGUEIRA (2005).

## 2.4 Cura do concreto

A cura do concreto é responsável pela pega e endurecimento do concreto, seu objetivo é manter o concreto saturado, evitando a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento até que os espaços ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos de hidratação (BARDELLA; BARBOSA; CAMARINI, 2005).

Neste trabalho foi feita uma comparação da utilização da Cura Úmida com a Cura Térmica a Vapor

### 2.4.1 Cura Úmida

Este tipo de cura é feito em um compartimento fechado, isolado termicamente, climatizado, de dimensões adequadas para estocagem ao ar de corpos de prova de concreto durante o período de cura. Este compartimento mais conhecido como câmara úmida deve manter a temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar superior a 95%. Os corpos de prova não devem ficar expostos ao gotejamento nem à ação de água em movimento (ABNT - NBR 5738/2003).

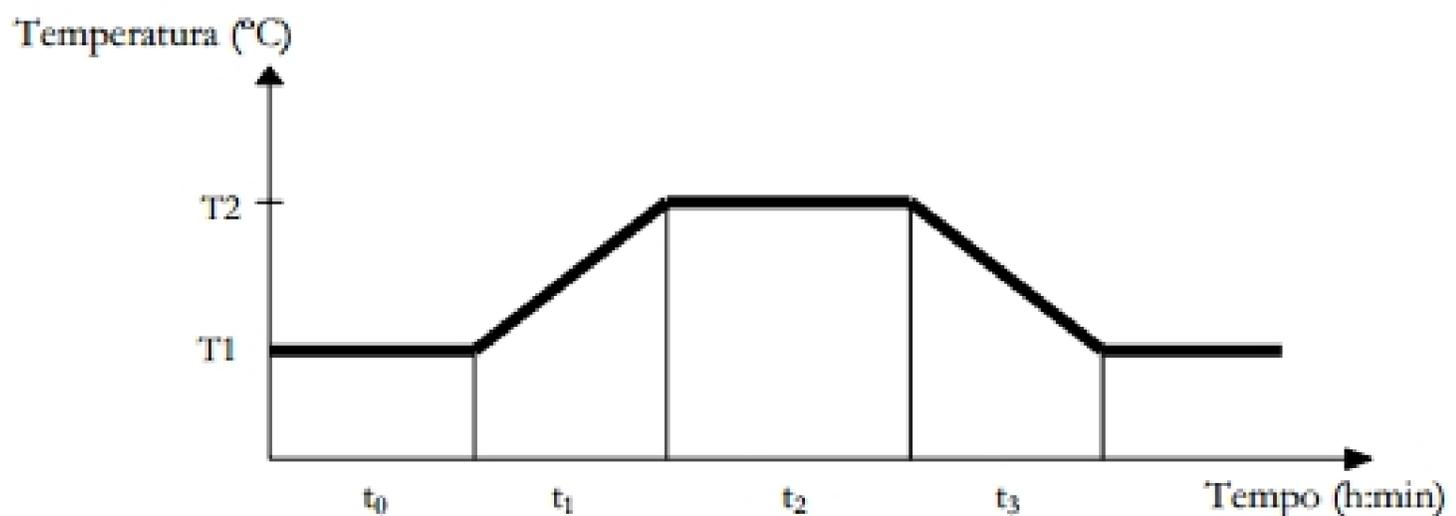
### 2.4.2 Cura térmica do concreto

Segundo Terzian (2005), a cura térmica é um processo utilizado para acelerar as reações de hidratação do cimento com o objetivo de obter ganhos de resistências mecânicas nas primeiras idades. O processo de cura acelerada mais utilizado na indústria de pré-fabricados é o de cura a vapor.

De acordo com a ABNT - NBR 9062/2006, o processo de cura térmica com o uso de vapor de água possui limitação de temperatura em  $70^\circ\text{C}$ , pois pode influenciar negativamente na resistência e causar danos nas peças através da grande perda de água em altas temperaturas. Para evitar danos as peças, deve-se seguir um ciclo de cura conforme a Figura 10, onde:

- a) Incremento máximo na elevação de temperatura: 20°C/hora (ABNT - NBR 9062/2006);
- b) Temperatura máxima: 70°C (ABNT - NBR 9062/2006);
- c) Decréscimo de temperatura no resfriamento: 30°C/hora (ABNT - NBR 9062/2006).

Figura 10 – Ciclo de Cura Térmica a Vapor



Fonte: Bardella, Barbosa e Camarini (2005).

- $T_1$  - temperatura ambiente(°C);
- $T_2$  - temperatura máxima no ciclo (°C), não podendo ultrapassar 70°C;
- $t_0$  - período de espera, até quando o concreto estiver pronto para a cura;
- $t_1$  - período de elevação da temperatura, não podendo ultrapassar 20°C por hora;
- $t_2$  - período de manutenção da temperatura, até atingir a resistência desejada;
- $t_3$  - período de esfriamento até a temperatura ambiente, não podendo ultrapassar 30°C por hora.

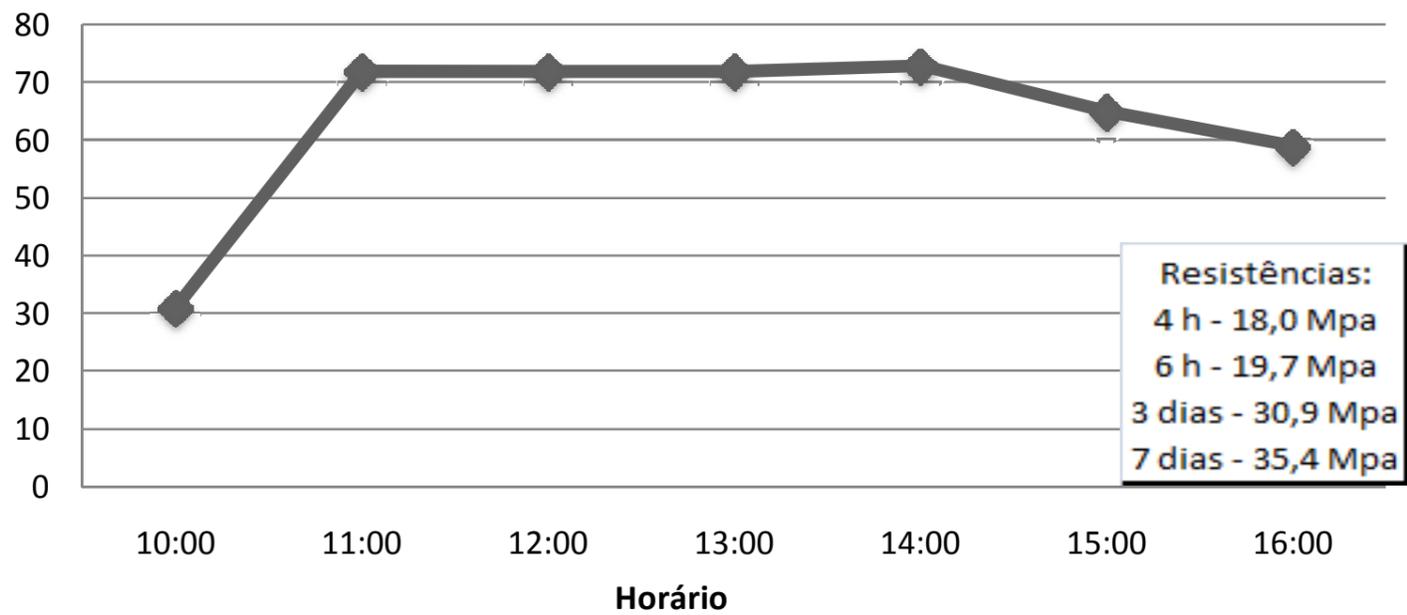
Foi comprovado em um estudo feito por Terzian (2005), através da comparação de variação da resistência com as temperaturas de cura nos níveis de 70°C e de 100°C. As Figuras 11 e 12 representam as condições de temperatura a que os corpos de prova foram submetidos e as resistências que foram obtidas.

Ao se comparar o crescimento das resistências nos quadros das Figuras 11 e 12, observa-se que nos corpos de prova submetidos a temperaturas maiores de 70°C, ocorre uma grande perda de resistência, da ordem de 60%. O estudo foi

realizado com os mesmos materiais, traços e relação a/c. A única variável foi a temperatura de cura (TERZIAN, 2005).

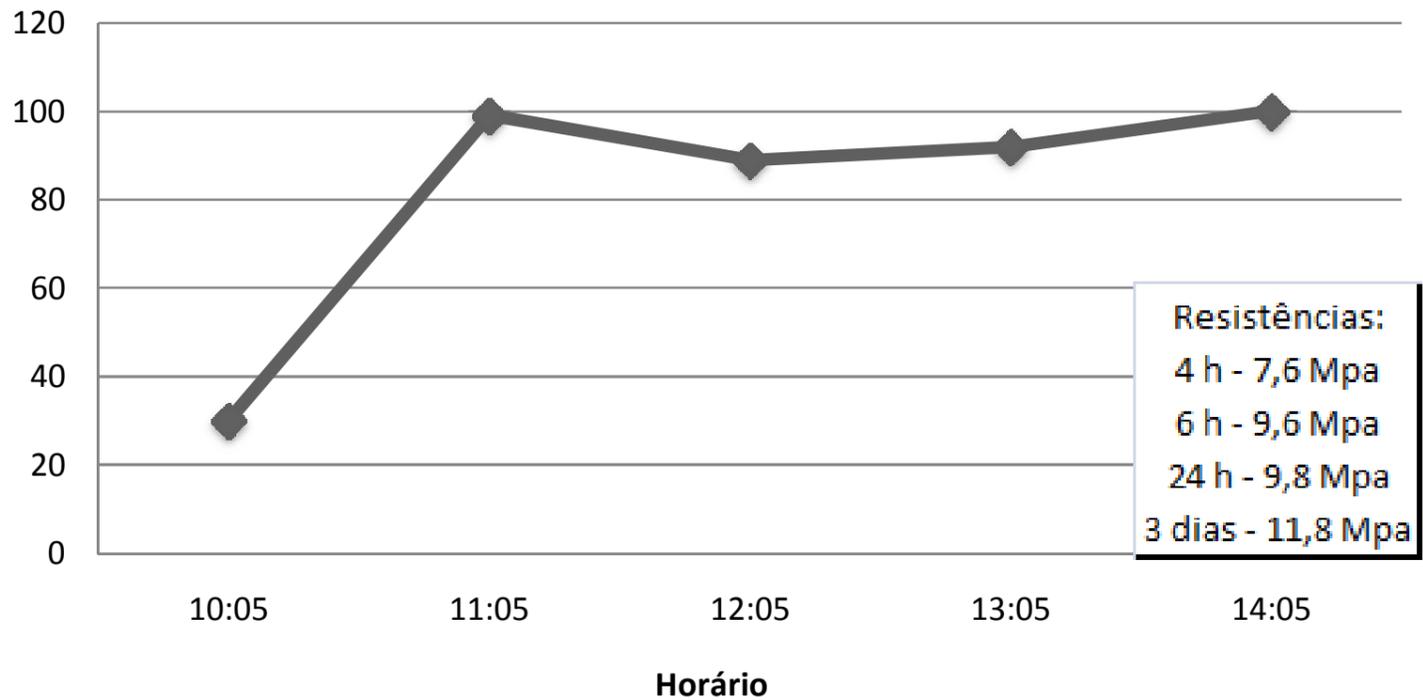
Esta perda de resistência ocorre devido a não ocorrência da hidratação do cimento através da grande perda de água por evaporação em altas temperaturas, fazendo com o concreto fique muito poroso e conseqüentemente menos resistente a compressão (TERZIAN, 2005).

Figura 11 – Variação da Temperatura em Função do Tempo



Fonte: Terzian (2005).

Figura 12 – Variação da Temperatura em Função do Tempo



Fonte: Terzian (2005).

## 2.5 Resistência mecânica do concreto

De acordo com Andrade e Tutikian (2011), define-se resistência mecânica como sendo a capacidade do material suportar as cargas aplicadas sobre ele, sem que o mesmo entre em ruína. Na prática, considera-se a resistência do concreto como a carga máxima aplicada sobre um corpo-de-prova.

Ainda segundo Andrade e Tutikian (2011), a resistência mecânica do concreto é o parâmetro mais empregado para se avaliar a qualidade do material, e seu conhecimento é de extrema importância, pois nos elementos estruturais o concreto pode ser solicitado à compressão, tração ou cisalhamento.

### 2.5.1 Fatores que influenciam na resistência

Existem vários fatores que podem influenciar na resistência do concreto, dentre os mais importantes, podemos citar.

- a) Relação Água/Cimento: É a relação entre a água adicionada e a massa do cimento, sendo necessário aproximadamente  $a/c = 0,40$  para que a hidratação do cimento seja completada. Este fator pode influenciar a resistência do concreto, pois quanto maior a quantidade de água, maior será o fator  $a/c$ , conseqüentemente maior o volume de vazios e menor a resistência mecânica (ISAIA, 2011);
- b) Agregados: À medida que se aumenta o diâmetro máximo do agregado graúdo, pode ocorrer a necessidade de acrescentar água, o que levaria a um aumento da resistência final, porém estes agregados tendem a apresentar zonas de transição mais fracas, aumentando a probabilidade de ocorrências de microfissuras (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011);
- c) Tipo de Cimento: Cada tipo de cimento possui propriedades físicas quanto químicas características, fazendo com que a resistência seja influenciada de formas diferentes para uma dada idade (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

## **2.5.2 Ensaios para a determinação da resistência do concreto**

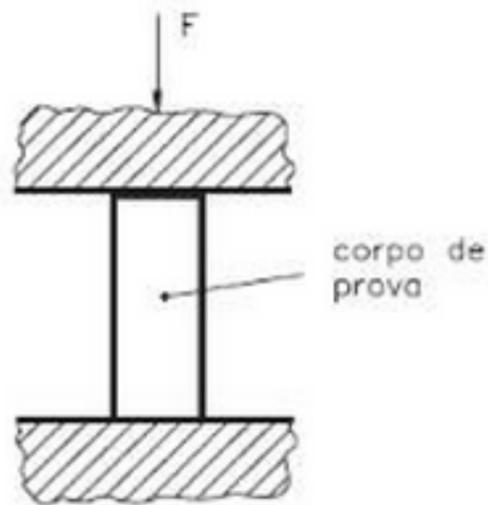
Segundo Andrade e Tutikian (2011), são geralmente ensaios complexos, que exigem equipamentos sofisticados e mão de obra qualificada para sua operação e interpretação dos resultados. Os dois principais tipos de resistência do concreto de interesse na engenharia estão relacionados aos esforços de compressão e de tração.

### **2.5.2.1 Resistência à compressão**

A ABNT NBR 5738/2003, prescreve dois tipos de moldes que podem ser empregados para a determinação da resistência do concreto: o de formato cilíndrico, para a determinação da resistência à compressão axial, e o prismático para a determinação da resistência à tração na flexão. O corpo de prova cilíndrico tem altura igual ao dobro do diâmetro e permite que sejam usados corpos de prova cilíndricos de dimensão básica com 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm e 450 mm.

Os corpos de prova são regularizados na sua base e topo, a fim de permitir a transferência de carga através de toda a superfície do exemplar. Logo após o corpo de prova é posicionado no equipamento de ensaio e submetido ao chamado de atrito entre os pratos da prensa conforme Figura 13 (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

Figura 13 – Ensaio de Compressão



Fonte: Soares(2009).

De acordo com ABNT - NBR, a resistência à compressão do concreto é calculada através da Equação:

$$f_c = F/A \quad \text{onde: } f_c = \text{Resistência a compressão (kgf/cm}^2\text{)}$$

F= Carga máxima aplicada (kgf)

A= Área da seção do corpo de prova (cm<sup>2</sup>)

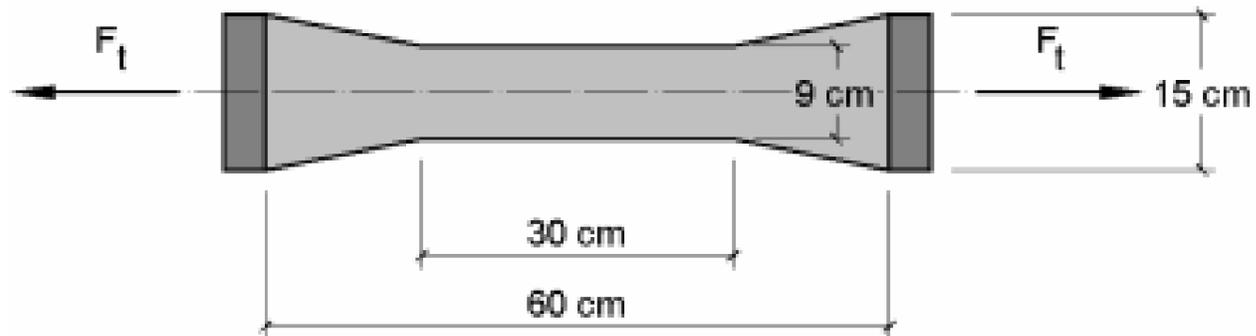
### 2.5.2.2 Resistência a tração

Segundo Andrade e Tutikian (2011), existem três formas de determinar a resistência à tração do concreto:

- a) Ensaio de tração direta: Neste ensaio, a resistência é determinada aplicando-se tração axial até a ruptura em corpos de prova conforme a Figura 14, porém é raramente utilizada, pois os dispositivos de fixação dos corpos de prova induzem o surgimento de tensões secundárias que não podem ser

desconsideradas e influenciam significativamente nos resultados (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

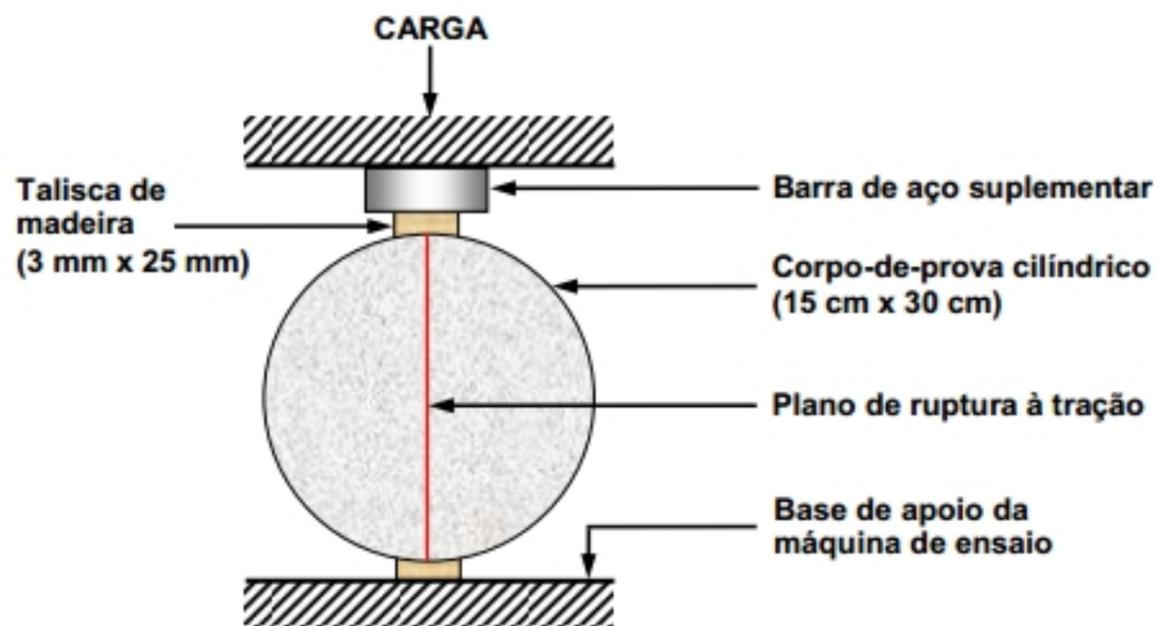
Figura 14 – Ensaio de tração direta



Fonte: Pinheiro et al.(2010).

- b) Ensaio de tração na compressão diametral - É o mais simples e o mais utilizado. O corpo de prova cilíndrico é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da máquina de ensaio, sendo aplicada uma força até a ruptura do concreto de acordo com a Figura 15 (PINHEIRO et al, 2010).

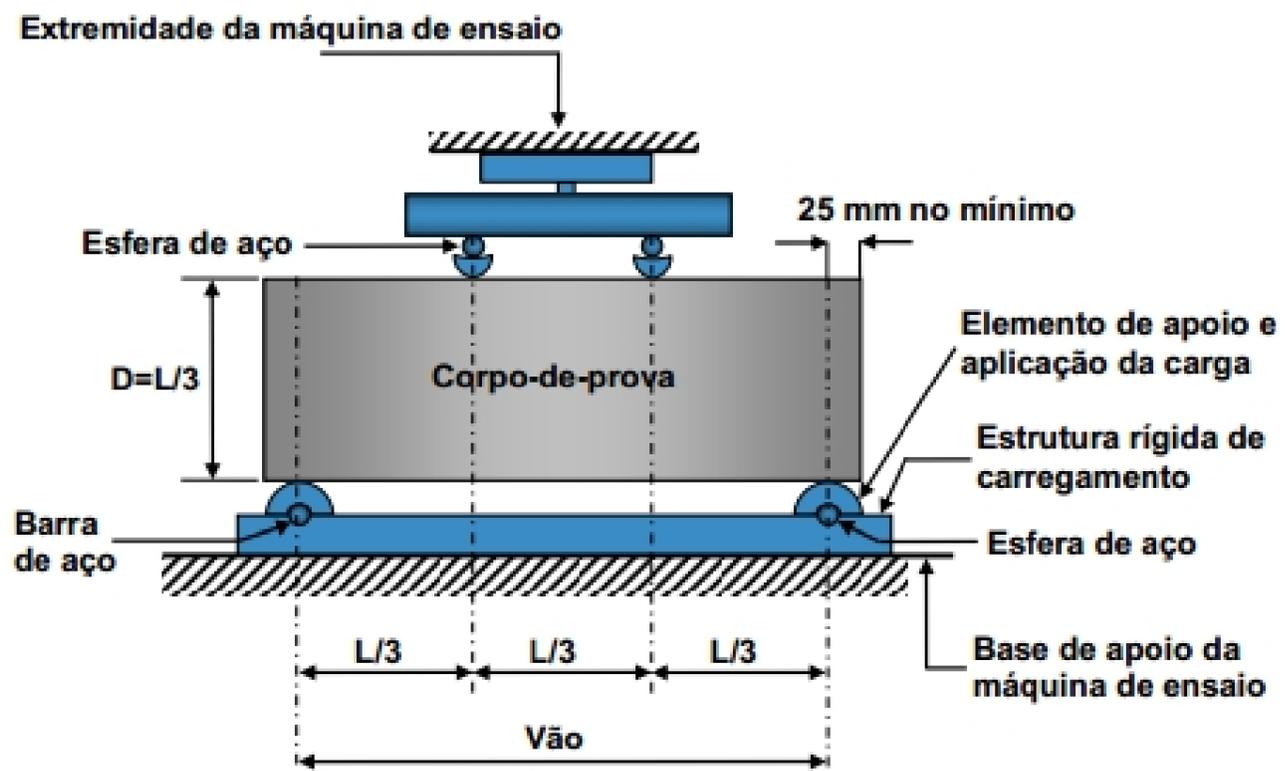
Figura 15 – Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Pinheiro et al. (2010).

- c) Ensaio de tração na flexão: Para a realização deste ensaio, um corpo de prova de seção prismática é submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas até a ruptura conforme Figura 16.

Figura 16 – Ensaio de tração na flexão



Fonte: Pinheiro et al. (2010).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

O programa experimental foi feito através de uma comparação da cura úmida com a cura a vapor de caldeira do concreto no processo de fabricação de pré-fabricados de uma empresa, localizada no interior de Arroio do Meio - RS. É uma empresa com tradição no mercado e atua na fabricação de lajes treliçadas, painéis treliçados e cortinas de contenção. A empresa possui uma estrutura otimizada, com um galpão dotado de três pontes rolantes e utiliza Caldeira a Vapor no processo de fabricação, com o objetivo de acelerar a cura da peças treliçadas. O trabalho experimental será dividido e executado em duas etapas.

Na primeira etapa, é analisado os materiais que vão ser utilizados para a pesquisa, sendo eles os insumos e materiais para a obtenção de uma amostra de concreto para a moldagem dos corpos de prova.

Na segunda etapa está descrito os métodos utilizados para comparação dos dois tipos de cura, no qual, foi realizado a moldagem dos corpos de prova, seguindo os procedimentos exigidos pela ABNT NBR 5738/2003. Após a moldagem, os corpos de prova foram divididos em dois grupos, onde, o primeiro grupo foi destinado a cura úmida, e o segundo grupo à cura acelerada a vapor. Por final, os corpos de prova foram submetidos a realização de ensaios de compressão para a determinação de suas resistências.

### **3.1 Materiais**

Os materiais que foram utilizados na pesquisa para a obtenção de dados do concreto no processo de fabricação de peças pré-fabricadas estão descritos a seguir.

#### **3.1.1 Cimento**

Optou-se pela utilização do cimento do tipo CP V- ARI, facilmente encontrado no comércio. De acordo com Terzian (2005), os tipos de cimento mais utilizados em sistemas de pré-fabricação, são o CPV-ARI e o CP II composto, pois proporcionam elevadas resistências iniciais.

#### **3.1.2 Água**

A água que foi utilizada para a obtenção do concreto provém do sistema de abastecimento público da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento).

#### **3.1.3 Agregados**

Foram utilizados na obtenção do concreto para a pesquisa, agregados miúdos e graúdos. Como agregado miúdo, foi utilizado areia natural média extraída do rio Jacuí, conforme Figura 17, que de acordo com a ABNT-NBR 7225/1993, sua dimensão nominal está compreendida entre 0,42 mm a 1,20 mm.

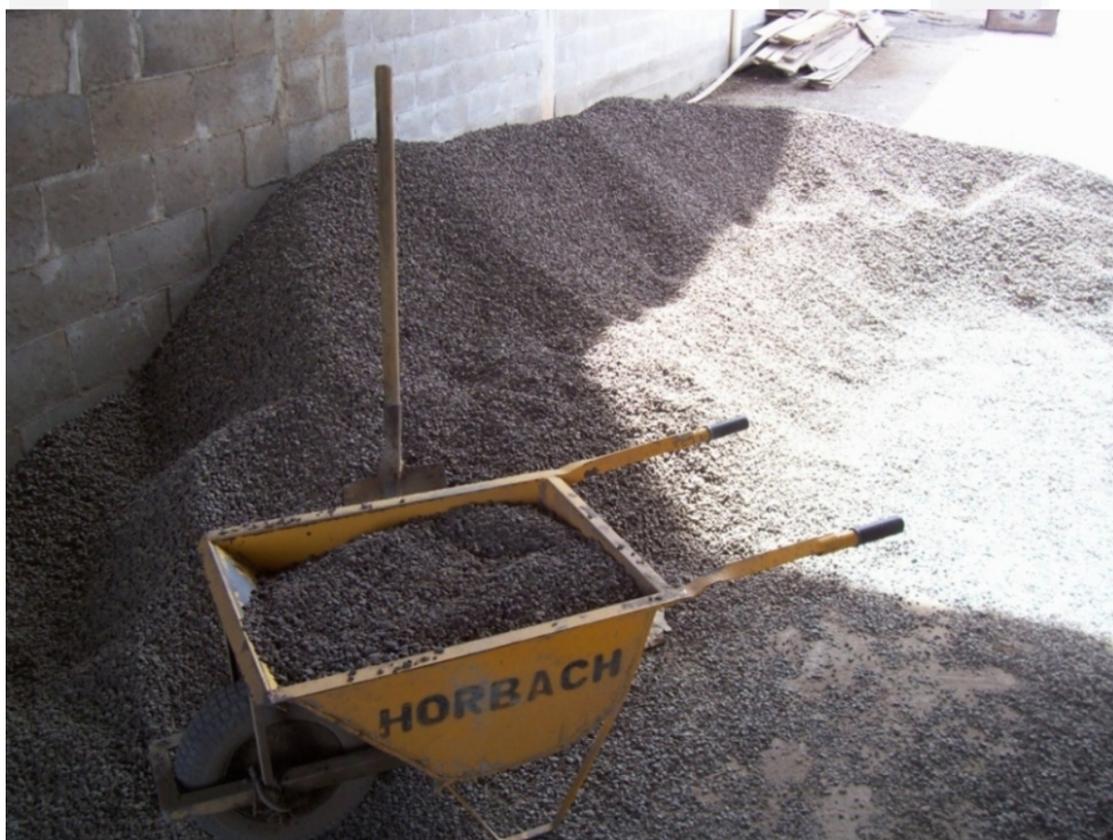
Figura 17 – Agregado miúdo



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

De agregado graúdo foi utilizado pedra britada número 2, conforme Figura 18. De acordo com a ABNT-NBR 7225/1993 as suas dimensões nominais variam entre 12,5 e 25 mm.

Figura 18 – Agregado graúdo



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

### 3.1.4 Aditivo

Foi utilizado o aditivo superplastificante Rheobuild 1000 B no processo de mistura dos insumos do concreto, a fim de melhorar a trabalhabilidade sem a adição de água e evitar perdas de resistências, pois de acordo com Martin (2005), a adição de água pode fazer com que ocorra à diminuição da resistência a compressão do concreto.

### 3.1.5 Moldes para os corpos de prova

Os moldes utilizados na moldagem dos Corpos de Prova estão de acordo com a ABNT- NBR 5738/2003, no qual, foram utilizados moldes cilíndricos de aço, com diâmetro de 10 cm e altura 20 cm conforme Figura 19.

Figura 19 – Moldes para os corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

### 3.1.6 Termômetro

Foi utilizado um termômetro digital conforme Figura 20, para monitorar a temperatura do vapor, quando iniciado o processo de cura.

Figura 20 – Termômetro



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

## 3.2 Métodos

Os métodos utilizados na pesquisa para a comprovação da influência na utilização de caldeira a vapor para cura acelerada estão descritos a seguir.

### 3.2.1 Mistura

A mistura dos insumos para a obtenção do concreto foi feita na fábrica de peças pré-fabricadas, onde a mesma possui um misturador com capacidade de quinhentos litros, capaz de produzir 0,5 m<sup>3</sup> de concreto, conforme Figura 21. Após a mistura de concreto pronta, foi retirada uma amostra para fazer a moldagem dos corpos de prova.

O traço utilizado para obtenção do concreto, conforme Tabela 8, possui teor de argamassa de 60% e relação água cimento de 0,50. É esperado um concreto com resistência superior à 30 MPa (Mega Pascal).

Tabela 8 –Traço utilizado

Material	Consumos	Traço Unitário
(Unidade)	(kg)	(em massa)
Cimento CPV ARI	145	1
Areia Média	397	2,73
Brita	298	2,05
Aditivo	1,2	-
Água	73	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 21 – Misturador



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

### 3.2.2 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi feita manualmente e de acordo com a ABNT- NBR 5738/2003. Antes da moldagem, os corpos de prova foram revestidos internamente por uma fina camada de óleo mineral.

Após revestir os moldes com óleo mineral, foi colocado a amostra de concreto dentro dos moldes, com o volume igualmente dividido em duas camadas e cada camada foi adensada com 12 golpes através de uma haste de aço, respeitando a Tabela 8, conforme NBR 5738/2003.

Os corpos de prova serão ensaiados com 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias de idade, com base nestes dados, foram moldados 28 corpos de prova, 2 corpos de prova para cada dia de ensaio a compressão nos dois tipos de cura, resultando em 24 corpos de prova. Os 4 corpos de prova restantes são para algum eventual problema, 2 para cada tipo de cura.

Figura 22 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tabela 8 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) em mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

Fonte: NBR 5738/2003.

### 3.2.3 Cura

Após a moldagem dos corpos de prova, eles foram divididos em dois grupos para depois comparar os resultados. O primeiro grupo foi submetido a cura úmida e o segundo a vapor.

#### 3.2.3.1 Cura Úmida

Primeiramente foi feita uma cura inicial, onde os moldes foram colocados sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações, intempéries e de qualquer outra coisa que possa perturbar o concreto durante 24 horas.

A Cura Úmida foi feita no Laboratório de Tecnologias de Construção - LATEC, localizado no Centro Universitário UNIVATES, onde a mesma possui uma câmara úmida e segue os parâmetros da ABNT - NBR 5738/2003. Os corpos de prova depois identificados, eles foram armazenados até o momento do ensaio em uma câmara úmida à temperatura de  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar superior a 95%.

Figura 23 – Câmara Úmida



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

### 3.2.3.2 Cura a Vapor

Depois de moldados, os corpos de prova do segundo grupo foram destinados a cura acelerada através do vapor gerado pela caldeira em um ambiente vedado por material isolante, conforme a Figura 24. Durante a cura acelerada, os seguintes parâmetros foram respeitados, de acordo com a ABNT - NBR 9062/2006.

- a) Incremento máximo na elevação de temperatura: 20°C/hora;
- b) Temperatura máxima: 70°C;
- c) Decréscimo de temperatura no resfriamento: 30°C/hora.

Figura 24 – Local destinado à cura acelerada

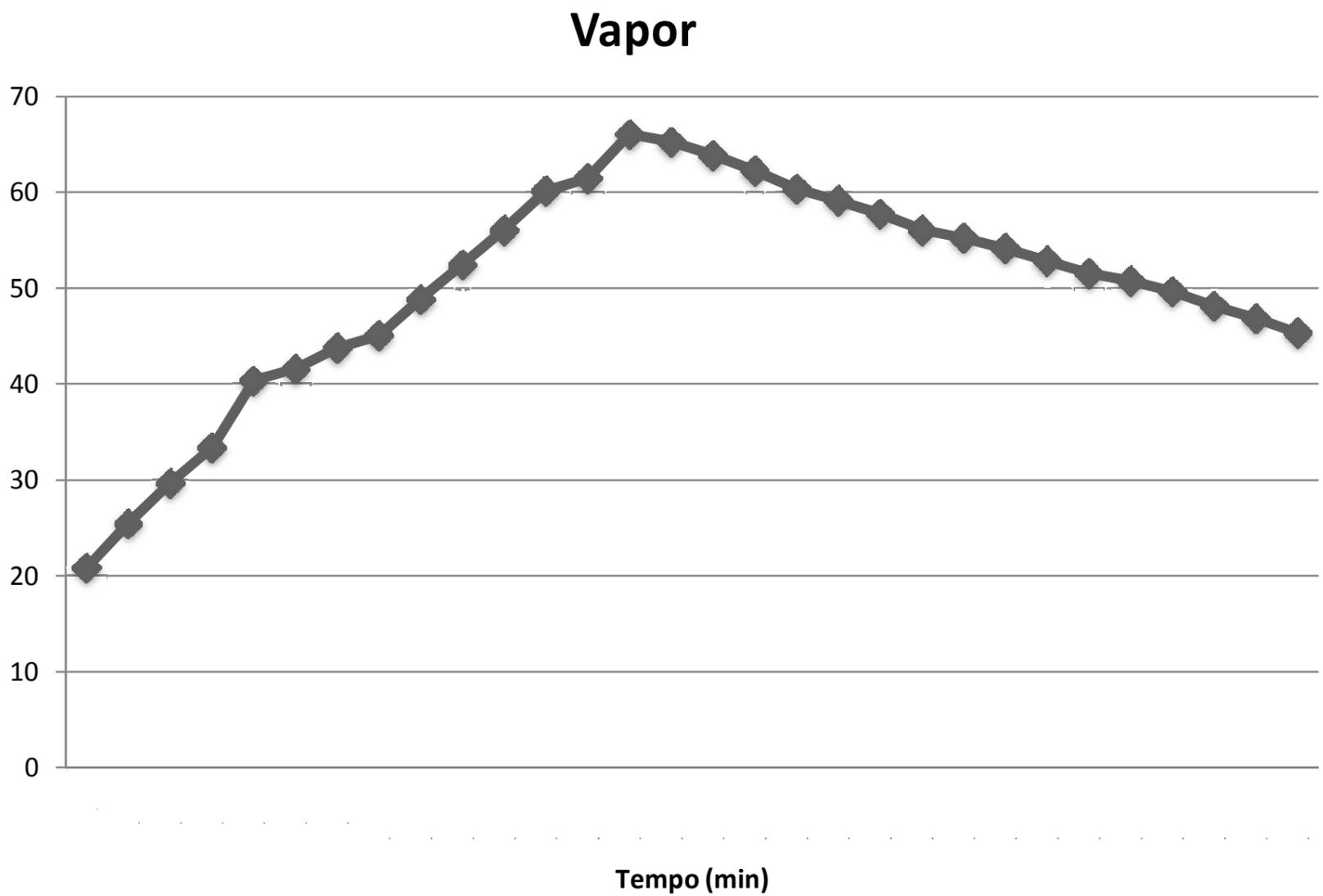


Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Os corpos de prova foram submetidos a 3 horas de vapor de caldeira. A temperatura ambiente no dia era de  $20,9^{\circ}\text{C}$  e a cada 15 min era feita a medição da temperatura em que os copos de provas estavam sendo expostos. Depois de desligada a caldeira, os corpos de prova ainda ficaram dentro do ambiente vedado até a temperatura ficar igual à ambiente, para evitar um decréscimo de temperatura superior a  $30^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ .

Com base nestes dados foi gerado um Gráfico, considerando o tempo de caldeira e a temperatura gerada pelo vapor.

Figura 25 – Gráfico tempo x temperatura do Vapor



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O termômetro utilizado para medir a temperatura, foi colocado próximo de onde estavam os corpos de prova, para ter um resultado mais preciso. A caldeira foi desligada quando a temperatura chegou a 66,1°C, pois a temperatura máxima exigida pela ABNT - NBR 9062/2006 é de 70°C.

Depois de curados, os corpos de prova foram colocados sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações, intempéries e de qualquer outra coisa que possa perturbar o concreto até o dia de ruptura.

### 3.2.4 Ensaio de compressão

Todos os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Tecnologias de Construção - LATEC, localizado no Centro Universitário UNIVATES.

O LATEC conta com uma retificadora de corpos de prova conforme Figura 26, onde pode ser substituído o processo de capeamento com enxofre na hora de regularizar a base do corpo de prova. Este processo garante a uniformidade das faces deixando a base e a lateral com o ângulo exatamente de 90 graus atendendo devidamente a norma ABNT - NBR 5739/2007.

Figura 26 – Retificação dos Corpos de Prova



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Os corpos de prova foram rompidos à compressão nas idades de 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias nos dois tipos de cura por uma prensa devidamente aferida pela Rede

Brasileira de Calibração - RBC, todos procedimentos adotados são de acordo com a normatização e com tolerâncias de tempo descritas na Tabela 9. De acordo com a NBR 5738/2003, a idade deve ser contada a partir do momento em que o cimento é posto em contato com a água de mistura.

Tabela 9 – Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura

Idade de ensaio	Tolerância permitida
24 h	30 min ou 2,1%
3 d	2 h ou 2,8%
7 d	6 h ou 3,6%
28 d	20 h ou 3,0%
60 d	36 h ou 2,5%
90 d	2 d ou 2,2%

Fonte: NBR 5739/2007.

Figura 27 –Ensaio de compressão



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

## 4 RESULTADOS

Este capítulo aborda os resultados obtidos através do rompimento dos corpos de prova nos dois tipos de cura, afim de comparar seus resultados. Os corpos de prova foram rompidos nos dias 1,3, 7, 14, 21 e 28. O capítulo é dividido em sete seções, onde as seis primeiras seções representam o dia de rompimento dos corpos de prova e a última seção traz uma análise dos resultados.

### 4.1 Ensaio de compressão - 1 dia

Depois de moldados e curados, os corpos de prova foram ensaiados a compressão. Em 24h ocorreu uma grande diferença nas resistências do concreto.

No dia 23 de abril foram feitos os primeiro ensaios, onde a Cura Úmida resultou em uma média de 2 corpos de prova, 17,10 MPa de resistência a compressão, já na Cura a Vapor, 26,38 MPa em apenas 1 dia. Resultando em cerca de 35 % de diferença entre os dois tipos de cura.

#### **4.2 Ensaio de compressão - 3 dias**

A Cura Úmida resultou em uma média de 2 corpos de prova, 24,54 MPa de resistência a compressão, já na Cura a Vapor, 31,26 MPa em 3 dias. Neste dia de ensaio ocorreu a diminuição da diferença de resistências comparado ao primeiro dia de ensaio, ficando em torno de 20%.

#### **4.3 Ensaio de compressão - 7 dias**

A Cura Úmida resultou em uma média de 2 corpos de prova, 29,43 MPa de resistência a compressão, já na Cura a Vapor, 34,09 MPa em 7 dias. Neste dia de ensaio ocorreu a diminuição da diferença de resistências comparado aos primeiros dias de ensaio, ficando em torno de 13%.

#### **4.4 Ensaio de compressão - 14 dias**

A Cura Úmida resultou em uma média de 2 corpos de prova, 29,45 MPa de resistência a compressão, já na Cura a Vapor, 36,31 MPa em 14 dias. Neste dia de ensaio ocorreu um aumento da diferença de resistências comparado ao 7º dia de ensaio, ficando em torno de 18%.

#### **4.5 Ensaio de compressão - 21 dias**

A Cura Úmida resultou em uma média de 2 corpos de prova, 32,16 MPa de resistência a compressão, já na Cura a Vapor, 34,27 MPa em 21 dias. Neste dia de ensaio ocorreu uma diminuição da diferença de resistências, ficando em torno de 6%.

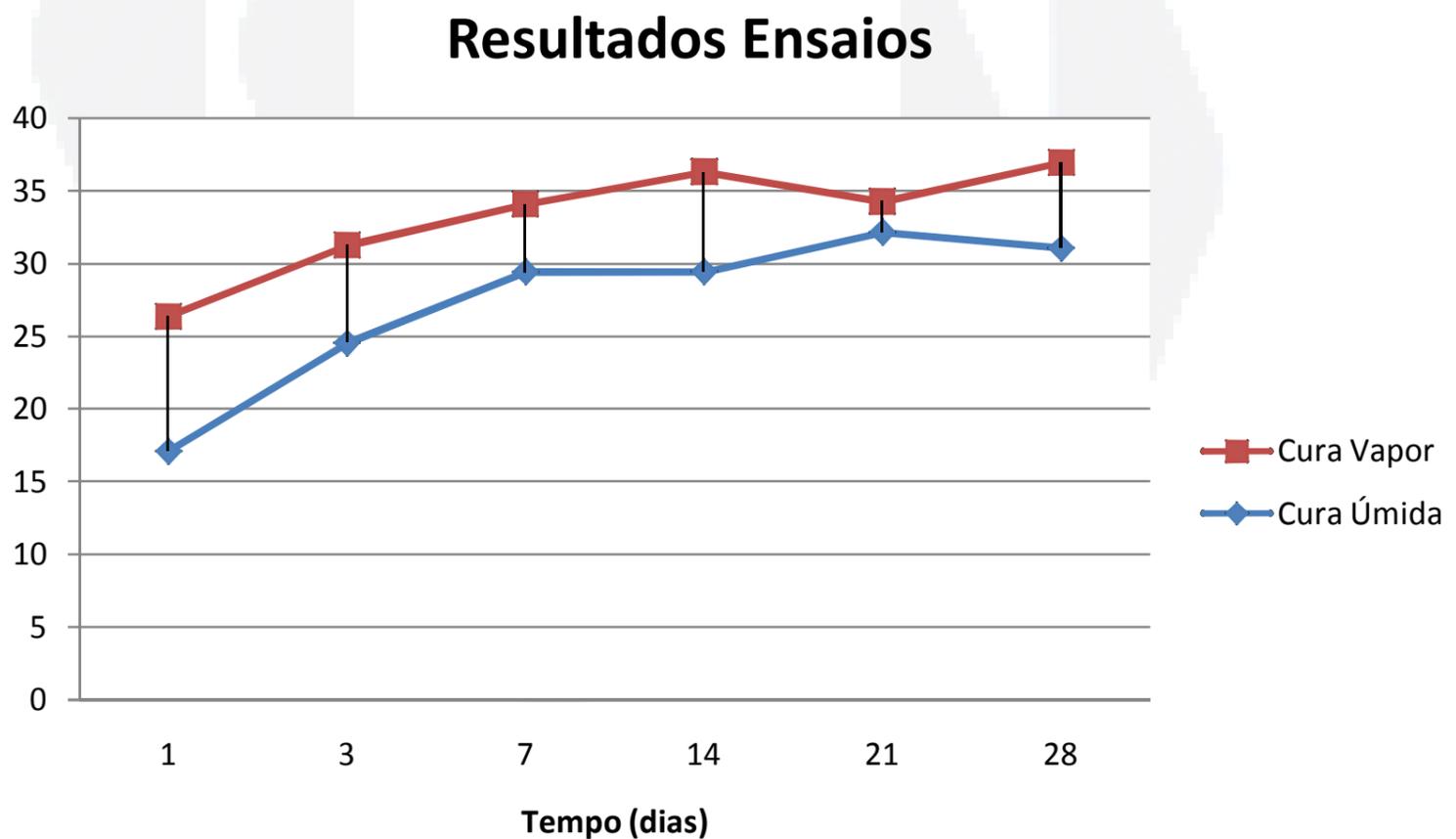
#### 4.6 Ensaio de compressão - 28 dias

A Cura Úmida resultou em uma média de 2 corpos de prova, 31,06 MPa de resistência a compressão, já na Cura a Vapor, 36,94 MPa em 28 dias. Neste dia de ensaio ocorreu um aumento da diferença de resistências comparado ao ensaio de ruptura anterior, ficando em torno de 16%.

#### 4.7 Análise dos resultados

Com base nos dados acima foi gerado um gráfico, levando em consideração os dias de ensaio e a tensão em MPa, para melhor visualização dos resultados.

Figura 28 – Resultados Ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Como podemos observar, com a utilização da cura térmica a vapor, ocorreu uma aceleração no processo de cura que chegou a 9,28 MPa em apenas 24 horas, são 35% a mais do que a cura úmida. Esta diferença poderia ser maior se a temperatura ambiente no dia da moldagem fosse menor, pois como já dito anteriormente, quanto menor a temperatura, mais lenta vai ser a reação de

hidratação do cimento. Porém com o passar do tempo, essa diferença de tensão vai diminuindo, a tendência é de que as tensões se igualem no final, devido a cura a térmica a vapor apenas acelerar o processo de cura.

Observa-se também, que no dia 21 de ensaio a compressão da cura a vapor e no dia 28 da cura úmida, ocorreu um decréscimo de resistência. Esse decréscimo de resistência pode ser justificado nos defeitos de moldagem, como por exemplo a má compactação do concreto ou até mesmo a má utilização da retificadora de corpos de prova. Se os corpos de prova foram fresados equivocadamente, pode prejudicar o paralelismo entre as faces e conseqüentemente a diminuição dos resultados a compressão.

De acordo com Resende (2013), há dois problemas que são motivo de grandes preocupações no controle tecnológico de concreto. O primeiro deles é a adição indiscriminada de água, prejudicando a qualidade do material e o segundo é os defeitos de moldagem nos corpos de prova, prejudicando a qualidade do ensaio que deveria medir a qualidade do material. Os erros de moldagem dos corpos de prova podem levar a perdas mais severas até que a alteração do fator  $a/c$ .

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados, podemos concluir que o processo de cura térmica a vapor contribui significativamente nas resistências iniciais, fazendo com que as peças de concreto apresentem uma resistência à compressão suficiente em apenas 24 horas para a movimentação e utilização das peças em dias com temperaturas mais baixas. Diminuindo o tempo de cura de artefatos de concreto, conseqüentemente diminui a área de estocagem das peças, com isso, possibilitando uma maior rotatividade de formas.

Se o processo de cura térmica a vapor for feito corretamente atendendo as exigências da norma ABNT - NBR 9062/2006, tem-se um ganho alto de resistência inicial sem ocorrer perdas nas idades mais avançadas. Porém este método de cura, se não houver controle, pode influenciar negativamente na resistência mecânica do concreto, pois temperaturas acima de 70°C podem ocorrer micro fissuras nas peças, deixando o concreto menos resistente.

Sabe-se que em nossa região, as temperaturas pode chegar facilmente abaixo dos 10°C, conclui-se também que a utilização de caldeira a vapor no processo de cura de empresas de pré fabricados de concreto, que possuem uma produção elevada e alta rotatividade de formas, se torne vantajosa. Porém deve se levar em conta o valor gasto no equipamento, e o aumento do custo de produção por conta do gasto com combustível de caldeira.

Como os resultados obtidos na realização deste trabalho, assim como o conhecimento adquirido no desenvolvimento do estudo, pode-se sugerir trabalhos a serem desenvolvidos:

- Sugere-se utilizar mais tempo de cura térmica a vapor.
- Sugere-se uma estimativa de custos de implantação, operação e manutenção de uma caldeira a vapor na empresa.
- Sugere-se utilizar outros tipos de cimentos.
- Sugere-se o desenvolvimento de um processo contínuo e automatizado de cura a vapor na produção de elementos pré moldados leves, como por exemplo, blocos de concreto.
- Sugere-se um estabelecimento de critérios práticos de análise para garantir que as hipóteses de um dado projeto, na construção civil, sejam alcançadas durante a sua execução.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré Moldado**. NBR 9062/2006. Rio de Janeiro: 2006. 36p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. NBR 5739/2007. Rio de Janeiro: 2007. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. NBR 5738/2003. Rio de Janeiro: 2003. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais de pedra e agregados naturais**. NBR 7225/1993. Rio de Janeiro: 1993. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para Concreto**. NBR 7211/2005. Rio de Janeiro 2005. 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.
- ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN B. F. **Concreto: Ciência e Tecnologia - Resistência Mecânica do Concreto**. São Paulo: IRACON, 2011. 929 p. v. 1.
- BARDELLA, P. S.; BARBOSA, D. C.; CAMARINI, G. **Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland de Alto-Forno com Utilização de Sílica Ativa**. UNICAMP, Campinas, São Paulo: 2005. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab\\_pdf/115.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/115.pdf)>. Acesso em: 4 out. 2013.
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/Sistemas%20Estruturais/Fund%20Concreto.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2013.
- BOTTAGIN, A. F. **Concreto: Ciência e Tecnologia - Cimento Portland**. São Paulo: IBRACON, 2011. 929 p. v. 1.

CASTELO, ANA. **Construção civil deverá crescer até 4% em 2013, projeta Sinduscon-SP**. Revista Valor, 2012. Disponível em:<<http://www.valor.com.br/brasil/2921038/construcao-civil-devera-crescer-ate-4-em-2013-projeta-sinduscon-sp>>. Acesso em: 6 ago. 2013.

DIEDRICH V. L.; FERREIRA E. R.; ECKHARDT R. R. **Espacialização das estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas anuais para o Vale do Taquari - RS - Brasil, pelo método de regressão linear**. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2007. Disponível em:<<http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.56/doc/153-159.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2013.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais - Agregados para a Construção Civil**. São Paulo: IBRACON, 2007. 832 p. v. 1.

GIONGO, J. S. **Concreto Armado**: Introdução e propriedades dos materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos 2007. Disponível em:<[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd\\_Prop\\_Materiais.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

HARTMANN, C.; et al. **Concreto**: Ciência e Tecnologia - Aditivos Químicos para Concretos e Cimentos. São Paulo: IBRACON, 2011. 929 p. v. 1.

FILHO, M. S. O. **Caldeira ou Gerador de Vapor**. Projeto Academia de Ciência. São Paulo, 2012. Disponível em:<<http://www.academiadeciencia.org.br/site/2012/06/28/caldeira-ou-gerador-de-vapor/>>. Acesso em: 5 set. 2013.

IGLESIA, T. B. **Sistemas Construtivos em Concreto Pré Moldado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-33.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

ISAIA, G. C. **Concreto**: Ciência e Tecnologia - A Água no Concreto. São Paulo: IBRACON, 2011. 929 p. v. 1.

JORNAL NACIONAL, **Reclamações contra imóveis novos aumentam mais de 40%**. Jornal Nacional, 2010. Disponível em:<<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2010/11/reclamacoes-contra-imoveis-novos-aumentam-mais-de-40.html>>. Acessado em: 6 ago. 2013.

LAGUNA, L. A. ; IKEMATSU P. A influência da temperatura na desforma do concreto. **Revista Prisma**, 2011. 37 ed., p. 31-35.

LEITE, N. R.;MILITÃO, R. A. **Tipose Aplicações de Caldeiras**. Escola Politécnica-Depto. Enga. Mecânica. São Paulo, 2008. Disponível em:<[http://lcsime.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras\\_prominp.pdf](http://lcsime.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf)>. Acesso em: 5 set. 2013.

LUIZ, É. L. A. **Otimização da Relação Tempo-Custo na Construção Civil: Um Estudo de Caso.** 9 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto e à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto 2011. Disponível em: <<http://dcm.ffclrp.usp.br/man/upload/Erika.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2013.

MARTIN, J. F. M. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização - Aditivos para Concreto.** v.1, ed. G. C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005. 792p.

NETO, C. S. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização - Agregados para Concreto.** v. 1, ed. G. C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005. 792p.

NOGUEIRA, M. L. R. **Eficiência Energética no Uso de Vapor.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. Disponível em: <[https://eva.fing.edu.uy/file.php/253/Libros/Libro\\_Vapor.pdf](https://eva.fing.edu.uy/file.php/253/Libros/Libro_Vapor.pdf)>. Acesso em: 6 set. 2013.

PERVILLE CONSTRUÇÕES. **Fachadas pré-fabricadas predomina nas construções industrializadas.** 2012. Disponível em: <<http://www.perville.com.br/novidades/fachadas-pre-fabricadas/>>. Acesso em: 23 out. 2013.

PINHEIRO, L. M., et al. **Estruturas de Concreto - Características do Concreto.** Disponível em <<ftp://ftp.unilins.edu.br/emilio/concreto1-2004-Rev%202010/02%20Concreto.pdf>>. Acesso em: 7 out. 2013.

PEDERIVA JUNIOR, P. F. **Comparação dos custos envolvidos na construção de pavilhões com estruturas pré-moldadas e moldadas in loco.** Trabalho de Conclusão (Graduação) Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2009. 65 p. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Paulo-Fernando-PederivaJ%C3%BAnior.pdf>> Acesso em: 5 nov. 2013.

RESENDE, C. **Resistência à compressão do concreto: Um teste de diversas interferências,** 2013. Disponível em <<http://propriedadesdoconcreto.blogspot.com.br/2013/11/resistencia-compressao-do-concreto-um.html>> Acessado em: 2 jun. 2014

RODRIGUES, P. P. F.; BOTACINI, S. M.; GASPARETTO, W. E. **Manual Gerdau de Pisos Industriais.** 1.ed. São Paulo: Pini, 2006. 109p.

SILVA, A. J. C. et al. **Influência da Temperatura na Evolução da Resistência à Compressão do Cimento Portland.** Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Cordeiro-Recife, 2009. 10p. Disponível em: <<http://www.vieiramota.com.br/temperatura-revisado.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2013.

SOARES, M. S. **Ensaio de Compressão Bloco Cerâmico.** Faculdade de Engenharia de Materiais - UFPA/FEMAT. Marabá-PA, 2009. Disponível em: <

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA4hsAl/ensaio-compressao-bloco-ceramico>>. Acesso em: 7 out. 2013.

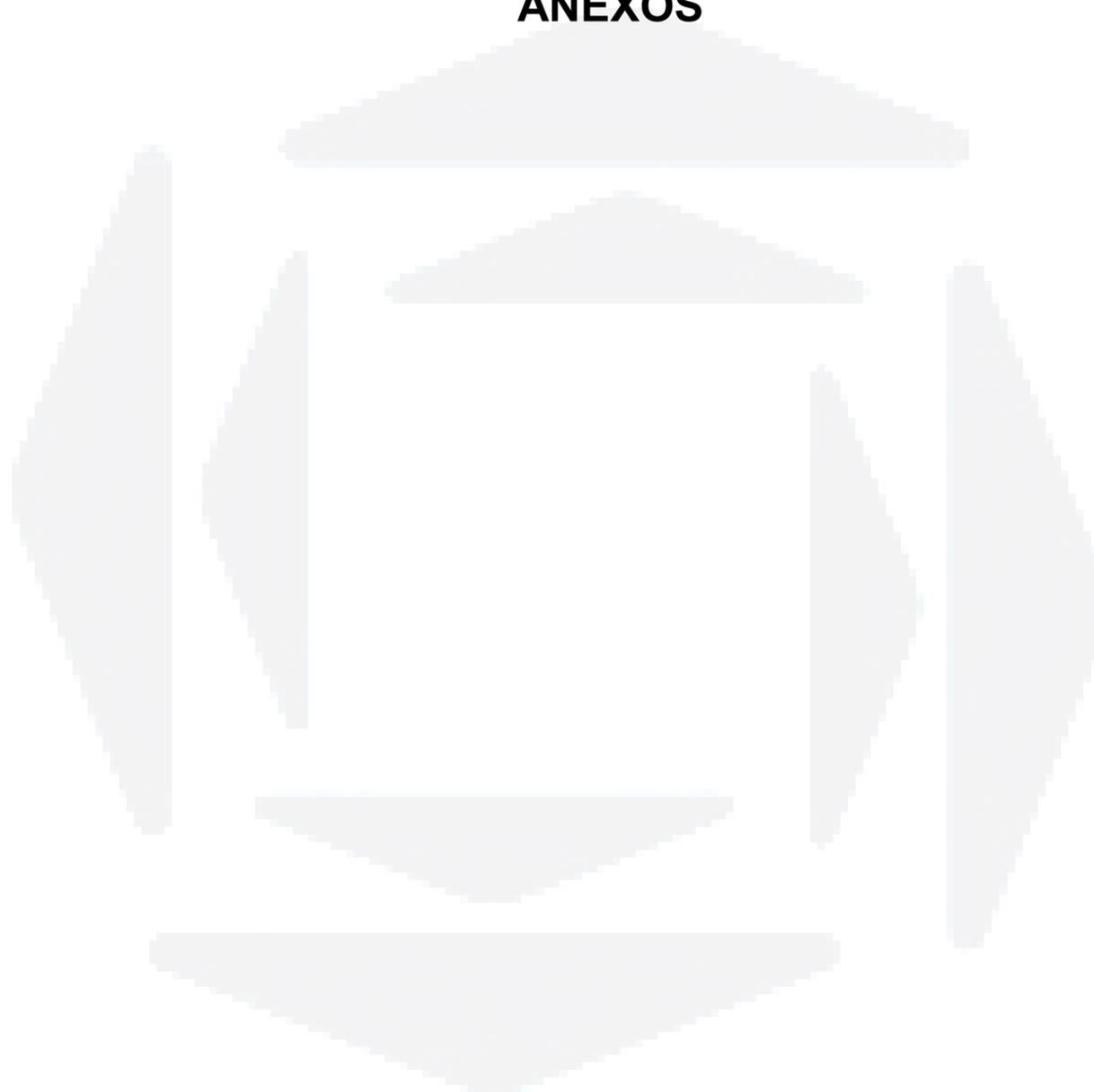
TERZIAN, P. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização - Concreto para Estruturas Pré Fabricadas**. v. 2, ed. G. C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005. 1579p.

TUTIKIAN, B. F.; MOLIN, D. C. D. **Concreto Auto-Densável**. 1.ed. São Paulo: Pini, 2008. 140p.

USIMAK INDÚSTRIA MECÂNICA. **Casas pré-fabricadas são mais baratas e rápidas**, 2011. Disponível em:<<http://usimak.blogspot.com.br/2011/10/casas-pre-fabricadas-sao-mais-baratas-e.html>>. Acesso em: 23 out. 2013.



## ANEXOS











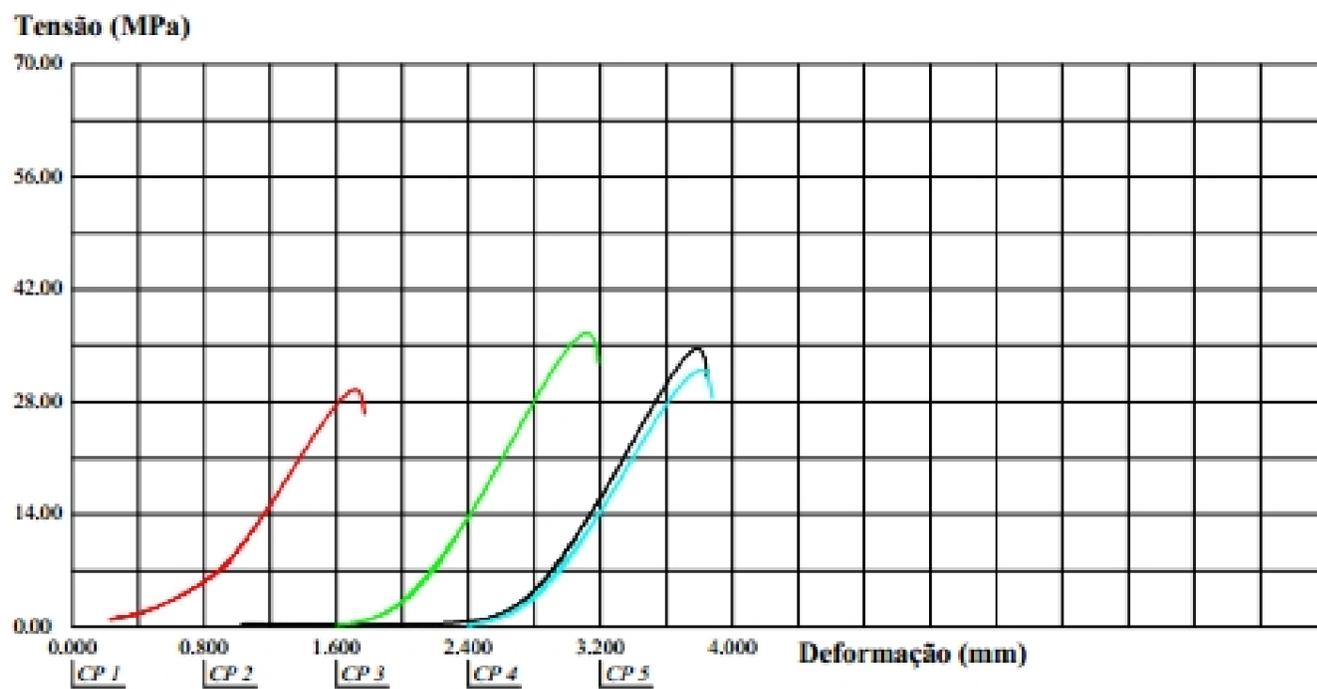
## ANEXO E – Ensaio de compressão - 21 dias

**LATEC**  
Laboratório de Tecnologias de Construções

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic SSH300 Célula: Trd 30 Extensômetro: - Data: 13/05/2014 Hora: 15:38:26 Trabalho n° **0209**  
 Programa: Tesc versão 4.00 Método de Ensaio: Compressão CP 10x20  
 Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>> Material: concreto Identificação: 13052014-D Operador: TCC MAICON - 21d

Corpo de Prova	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kgf)	Resistência à Compressão (MPa)	Código	Idade
CP 1	7853.98	23714.37	29.61	Cura úmida	21d
CP 2	7853.98	27800.65	34.71	Cura úmida	21d
CP 3	7853.98	29276.25	36.55	Cura vapor	21d
CP 4	7853.98	25617.81	31.99	Cura vapor	21d
Número CPs	4	4	4	0	0
Média	7854	26600	33.22	*	*
Mediana	7854	26710	33.35	*	*
Desv. Padrão	0.0000	2442	3.050	*	*
Coef. Var.(%)	0.0000	9.181	9.181	*	*
Mínimo	7854	23710	29.61	*	*
Máximo	7854	29280	36.55	*	*



Fonte: LATEC - UNIVATES (2014).

