

# Análise de uma mistura de agregados para utilização em concretos rodados em obra

Alexandre Luiz de Matos Filho<sup>1</sup>

Fabiano Alexandre Nienov<sup>2</sup>

## Resumo

Na região meio oeste de Santa Catarina grande parte das obras de construção civil é de médio e pequeno porte, sendo que em muitas delas o concreto ainda é rodado in loco, sem os cuidados necessários para atingir a resistência estipulada em projeto, fato que ocasiona inúmeras patologias construtivas. A fim de melhorar a qualidade dos concretos rodados em obra, uma pedreira da região passou a fornecer uma mistura pronta de agregados, utilizando brita 1, pedrisco, pó de pedra e areia. Através do presente trabalho, possibilitou-se avaliar a mistura de agregados de forma individual, global e suas propriedades no desenvolvimento de concreto. Inicialmente foi avaliada a mistura atual disponibilizada pela pedreira e posteriormente desenvolvido o empacotamento buscando uma nova mistura, mais densa e com menor índice de vazios que a atual. Também com relação ao esqueleto granular da mistura, desenvolveu-se um empacotamento teórico, a fim de avaliar a continuidade granulométrica da mesma, comparando-a as curvas propostas por Fuller e Thompson. Outra parte relevante deste trabalho foi a avaliação do desempenho desta mistura para a execução de concreto. Sendo desenvolvido um traço 1:3, variado sua relação a/c, e testado por dois métodos, um com os agregados secos em estufa e outro com a umidade dos materiais corrigida através do método da frigideira. Contudo foi possível concluir que a mistura atual é viável para aplicação em obra, visto as resistências apresentadas, embora possa ser melhorada em termos de empacotamento das partículas, aumentando sua massa específica, diminuindo seu índice de vazios e com isso melhorando seu comportamento com relação a sua continuidade granulométrica.

Palavras-chave: Concreto rodado em obra. Empacotamento das partículas. Resistência à compressão.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina; alexandrematos.civil@gmail.com

<sup>2</sup> Professor na Universidade do Oeste de Santa Catarina, fabianonienov@yahoo.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

Na região meio oeste de Santa Catarina grande parte das obras de construção civil é de médio e pequeno porte, sendo que em muitas delas o concreto ainda é rodado in loco, sem os cuidados necessários para atingir a resistência estipulada em projeto. Essa ausência de controle tecnológico ocasiona inúmeras patologias construtivas.

A fim de melhorar a qualidade dos concretos rodados em obra, uma pedreira da região passou a fornecer uma mistura pronta de agregados, utilizando brita 1, pedrisco, pó de pedra e areia. Visando que quando misturadas com o cimento e água formassem um concreto para ser usado em obras de construção civil.

Frente ao exposto, o Estágio Supervisionado II proporciona a oportunidade de executar um estudo relevante a esse assunto, analisando qual resistência pode ser alcançada com essa mistura e avaliando se a mesma propicia um elevado empacotamento das partículas.

Por meio dos resultados obtidos, visa-se propiciar que a pedreira possa disponibilizar um traço adequado às necessidades de seus clientes, sendo este, um traço comprovado cientificamente e facilmente executável em obra.

## 2 REVISÃO BIBLIORÁFICA

### 2.1 CONCRETO

O concreto é um material constituído de uma mistura de aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. Nas suas primeiras idades deve oferecer condições de plasticidade, a fim de facilitar seu manuseio e lançamento nas formas, adquirindo com o tempo, pelas reações entre o aglomerante e a água, coesão e resistência (PETRUCCI, 1993).

#### 2.1.1 Concreto rodado no canteiro de obra

O concreto rodado em obra é produzido na betoneira do canteiro de obras, embora não seja possível ter um mesmo controle tecnológico que o concreto usinado, deve-se adotar alguma medida construtiva para garantir a sua qualidade (MILITO, 2009).

#### 2.1.2 Relação água/cimento

As principais propriedades que estão vinculadas a relação água/cimento (a/c) são as resistências aos esforços mecânicos e resistência aos agentes agressivos no aspecto da durabilidade do concreto (ASSUNÇÃO, 2002).

## 2.2 EMPACOTAMENTO DAS PARTÍCULAS

Para Andriolo (2005), em um volume de concreto convencional os agregados, tanto gráúdo como o miúdo, ocupam cerca de 75% de seu volume. Dessa forma, é inevitável que o material com uma porcentagem elevada na massa do concreto, deva contribuir nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

Segundo Vanderlei, Libório e Giongo (2007), o empacotamento das partículas visa criar um material com o mínimo de defeitos, proporcionando uma mistura de alta densidade e o mínimo de vazios, através de uma correta distribuição granulométrica destas partículas. Esta distribuição é estudada de modo a aumentar a densidade, diminuindo-se os espaços entre as partículas maiores e preenchendo-os com partículas menores.

### 2.1.1 Empacotamento real de partículas

Para Castro, Liborio e Pandolfelli (2011) este processo permite determinar a combinação ótima dos constituintes da mistura afim de obter máxima densidade de empacotamento e, com isso minimizar a quantidade de vazios. Já Mehta e Monteiro (2008), definem a densidade de empacotamento de materiais granulares, como o volume sólido em uma unidade de volume total, onde uma maior densidade de empacotamento requer menor quantidade de pasta de cimento.

O empacotamento real das partículas consiste no preenchimento dos vazios deixados pelos agregados, através de granulometrias, portanto o empacotamento se desenvolve da fração granulométrica maior para a menor (REGINATO; TRENTIN; PIOVESAN, 2010).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa trata-se da análise de resistência obtida através da utilização de uma mistura de quatro agregados, para execução de concreto rodado em obra. Esta mistura é fornecida por uma pedreira, localizada em Ibicaré, SC, sendo composta de brita 1, pedrisco, pó de pedra e areia. Atualmente a empresa fornece esta mistura de agregados para que seja rodado em obra um traço empírico. Neste trabalho foi reproduzido um traço de proporção 1:3 (cimento: mistura de agregados), variando somente sua relação água/cimento para atingir diferentes resistências.

Inicialmente os traços foram rodados com material seco em estufa, posteriormente visando a reprodução destes traços em obra foram reproduzidos traços com o material úmido, sendo feita a correção de umidade através do método da frigideira, para que esta quantidade de água fosse subtraída da quantidade total.

Para analisar o empacotamento das partículas da mistura de agregados fornecida, inicialmente foram caracterizados os agregados utilizados a fim de conhecer suas

características. Após isso será proposta outra mistura de agregados visando um melhor empacotamento.

### 3.1 ESQUELETO GRANULAR DA MISTURA DE AGREGADOS

#### 3.1.1 Distribuição granulométrica da mistura de agregados fornecida pela empresa

A execução do ensaio de distribuição granulometria do agregado foi seguiu como norma de referência a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). A fim de avaliar a forma da distribuição granulométrica presente na mistura, foi utilizada a parábola de Fuller e Thompson, avaliando a continuidade da distribuição granulométrica, para que se atinja um concreto trabalhável, possibilitando a obtenção de misturas com elevados abatimentos e com menor propensão à segregação.

#### 3.1.2 Massa unitária da mistura de agregados fornecida pela empresa

Para determinar a massa unitária da mistura de agregados foram seguidas as orientações da NBR NM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), sendo estas baseadas na relação entre massa e volume do agregado, sem compactação e considerando os vazios entre os grãos.

#### 3.1.3 Empacotamento real das partículas para uma nova mistura de agregados

O objetivo deste processo é determinar a proporção entre materiais que possua a maior massa unitária e a menor quantidade de vazios. Para isso foram seguidas as recomendações de Tutikian e Dal Molin (2008), utilizando 4 tipos de agregados (brita 1, pedrisco, pó de pedra e areia).

Todos os componentes da mistura de agregados devem ser empacotados, sendo que isso deve ser feito de dois a dois e em ordem decrescente de diâmetro das partículas. Assim foi determinada a melhor composição entre os dois materiais de maior diâmetro, sendo o mesmo procedimento realizado entre a mistura e os próximos materiais.

Para realizar a mistura entre os materiais foi utilizada uma betoneira, onde os materiais foram rodados até a homogeneização da mistura.

Para a execução do empacotamento, foi fixado o peso inicial do material de maior diâmetro em 20 kg, sendo variada somente a massa do material de menor granulometria até que o processo chegue na proporção de 50% do material 1 e 50% do material 2. A partir deste momento esta mistura foi descartada e o processo reiniciado pelo material de menor

diâmetro, que também teve sua massa inicial fixada em 20 kg e posteriormente foi variado a quantidade do material com maior diâmetro, até chegar na proporção de 40% do material 1 e 60% do material 2, finalizando o processo.

Inicialmente foram empacotados dois materiais, brita 1 e pedrisco, sendo que a brita possui maior diâmetro que o pedrisco. O processo é iniciado considerando 100% de brita e 0% de pedrisco para o cálculo da massa unitária. Em seguida foi decrescida a de 10 em 10% a quantidade de brita 1 e aumentado, na mesma proporção, a quantidade de pedrisco, assim como demonstrado na Tabela 1:

Tabela 1 – Proporções e massas de brita e pedrisco avaliadas durante empacotamento

	Brita (%)	Massa de Brita (kg)	Massa de Pedrisco (kg)	Pedrisco (%)	
	100	20,00	0,00	0	
	90	20,00	2,22	10	
	80	20,00	5,00	20	
↓	70	20,00	8,57	30	
	60	20,00	13,33	40	
	50	20,00	20,00	50	
	40	13,33	20,00	60	
	30	8,57	20,00	70	
	20	5,00	20,00	80	↑
	10	2,22	20,00	90	
	0	0,00	20,00	100	

Fonte: os autores.

Para a realização da massa unitária, foi utilizado um recipiente com 7,8 dm<sup>3</sup> de volume. O qual foi preenchido com as devidas misturas de agregados e rasado com uma régua biselada. Assim foi determinada e adotada a maior massa unitária entre as misturas com diferentes proporções dos materiais.

O referido processo também avaliou o índice de vazios da mistura, entretanto antes de calcular este índice, foi necessário que se determine a massa específica da mistura, multiplicando a porcentagem de cada um dos materiais por suas massas específicas, e encontrando um valor para a mistura.

Após a conclusão destes cálculos, foi escolhida a mistura que apresentou maior massa específica e menor índice de vazios. Este procedimento foi repetido utilizando a mistura inicial entre a brita e o pedrisco, sendo misturada ao pó de pedra.

Em seguida foi utilizando melhor mistura de brita 1, pedrisco e pó de pedra, ou seja, a que possuiu menor índice de vazios, sendo adicionado a esta a areia, a fim de preencher os vazios remanescentes.

## 3.2 TRAÇO 1:3 UTILIZANDO A MISTURA ATUAL DE AGREGADOS

Inicialmente foi definido o traço 1:3 (cimento: mistura de agregados) como objeto de estudo, a fim de atender as necessidades da pedreira e também criar um traço de fácil reprodução em condições de obra. O traço foi dosado em volume, utilizando uma lata de tinta como referência volumétrica.

Para alcançar as resistências desejadas de 15, 20, 25, 30 e 35 MPa. Para definir a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de 28 dias, foi adotado para definição do desvio padrão a condição C da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), sendo este igual a 7.

### 3.2.1 Confeção do concreto com os materiais secos em estufa

Inicialmente a mistura de agregados foi seca em estufa, a uma temperatura de aproximadamente 105 °C por um período de 24 horas. Após seco, o material foi resfriado em temperatura ambiente.

Foram confeccionadas 6 misturas de concreto com diferentes relações água/cimento. Sendo utilizadas para a confecção do concreto 2 latas de cimento e 6 latas da mistura de agregados.

Utilizaram-se as relações a/c de 0,42, 0,47, 0,52, 0,58 e 0,65 para atingir respectivamente as resistências de 35, 30, 25, 20 e 15 MPa, posteriormente também foi utilizada a relação a/c de 0,5, sendo esta considerada como uma relação a/c desejável para rodagem em obra.

Para a dosagem dos traços foram utilizadas balanças de precisão a fim de uma melhor padronização dos experimentos. Antes de se iniciar a preparação do concreto todos os materiais utilizados foram devidamente separados e dispostos próximos a betoneira.

Em seguida toda a mistura de agregados foi introduzida na betoneira, para então toda a água ser acrescentada. Os agregados juntamente com a água foram rodados na betoneira por aproximadamente 1 min para umedecer e homogeneizar o material. Por fim foi adicionado todo o cimento e a mistura foi rodada na betoneira por 2,5 min.

Ao término desta etapa foram executados os ensaios no estado fresco e a moldagem dos corpos de prova.

### 3.2.2 Confeção do concreto com os materiais úmidos

Inicialmente foram coletados os materiais que estavam em ambiente externo e cobertos por uma lona plástica. Após a coleta foi executado o ensaio do método da frigideira, a fim de descobrir a umidade da mistura

Descobriu-se o teor de umidade presente na mistura de agregados e utilizando esse percentual de umidade, a quantidade de água presente nos agregados foi subtraída da quantidade de água adicionada para a confecção do concreto.

Foram confeccionadas 6 misturas de concreto com diferentes relações água/cimento. Sendo utilizadas para a confecção do concreto 2 latas de cimento e 6 latas da mistura de agregados úmidos.

Utilizaram-se as relações a/c de 0,52, 0,58, 0,6, 0,62 e 0,65. Não sendo utilizadas as mesmas relações a/c do concreto confeccionado com materiais secos em estufa, em virtude de a trabalhabilidade ter se apresentado menor com a correção de umidade.

Os demais procedimentos seguiram os mesmos passos apresentados durante a descrição do item acima.

### 3.2.3 Ensaio no estado endurecido: resistência a compressão do concreto

Após a desmoldagem, as amostras foram levadas para o processo de cura, sendo deixados em um tanque de água com temperatura controlada de  $23(\pm 2)$  °C, mantendo-se nestas condições até a idade prevista para rompimento através do ensaio de compressão do concreto.

Após retirada dos corpos de prova do tanque de cura úmida, os mesmos passaram pelo processo de retificação das bases, seguindo as indicações da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). Este procedimento foi executado para proporcionar uma superfície lisa e livre de ondulações, preparando-os para o ensaio de compressão.

Também foram aferidos os diâmetros inferior e superior dos corpos de provas, assim como suas alturas, com o auxílio de um paquímetro, assim como estabelecido pela NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

Assim que todos os corpos de prova estavam com a superfície plana e as dimensões determinadas, foi iniciado o ensaio de compressão, foram gerados gráficos, indicando a resistência do concreto submetido ao ensaio, sendo quando havia queda de força que indicava a ruptura da amostra, assim como aconselha a NBR 5739.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo expõe os resultados obtidos por meio dos ensaios realizados, analisando as características físicas dos agregados e da mistura fornecida pela pedreira, bem como a análise dos traços 1:3, com suas devidas variações da relação água/cimento e dos corpos de prova moldados a partir destes.

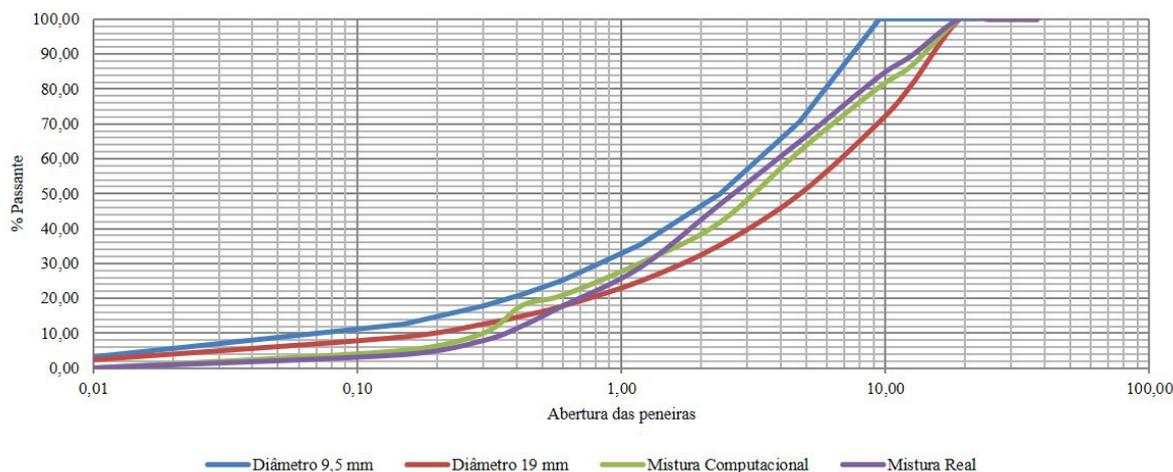
## 4.1 ANÁLISE DO ESQUELETO GRANULAR DA MISTURA DE AGREGADOS

### 4.1.1 Mistura atual

A mistura atual de agregados fornecida pela pedreira é constituída por quatro tipos de agregados, sendo composta por 30% de brita 1, 20% de pedrisco, 32,5% de pó de pedra e 17,5% de areia. Utilizando estas porcentagens foi possível calcular a massa específica da mistura, sendo esta igual a 2919,98 kg/m<sup>3</sup>.

Executou-se o ensaio de granulometria para a mistura de agregados, contendo os pesos, as porcentagens retidas, as porcentagens passantes. A fim de avaliar a distribuição granulométrica da mistura, foram utilizadas as parábolas de Fuller e Thompson, sendo adotadas como parâmetro ideal as parábolas geradas, utilizando as peneiras de 9,5 mm e 19 mm. Então foi possível avaliar a continuidade da distribuição granulométrica da mistura através da quantidade de material passante no conjunto de peneiras. Também foi criada uma curva granulométrica computacional através das porcentagens informadas pela pedreira e das granulometrias individuais de cada agregado constituinte da mistura. Com o intuito de analisar se as curvas granulométricas possuiriam mesmo comportamento. Assim como apresenta o Gráfico 1:

Gráfico 1 – Curva granulométrica da mistura de agregados



Fonte: os autores.

Constatou-se que a curva granulométrica gerada pela mistura de agregados não fica inteiramente contida dentro do intervalo proposto pelas parábolas de Fuller e Thompson. Possuindo quantidade de material fino inferior à necessária. Verificou-se também que apesar de não possuírem exatamente a mesma curva granulométrica, a mistura computacional e a mistura real possuem comportamento muito semelhante.

Também foi verificada a massa unitária da mistura fornecida pela pedreira, a fim de compara-la futuramente com os empacotamentos propostos. O ensaio seguiu os passos descritos no item 3.1.2 e se obteve os resultados demonstrados na Tabela 2:

Tabela 2 – Massa unitária da mistura de agregados

Massa do recipiente (kg):	Massa agregado (kg)	Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )
	14,60	1,87
3,19	14,51	1,86
	14,55	1,87
Volume do recipiente		7,80
Massa Unitária Média		1,87

Fonte: os autores.

Através da massa unitária obtida neste ensaio e da massa específica anteriormente calculada foi possível obter o índice de vazios para esta mistura, sendo este igual a 36,09%.

#### 4.1.2 Empacotamento buscando uma nova mistura

O método de empacotamento utilizado seguiu as recomendações de Tutikian e Dal Molin (2008), e está descrito no item 3.1.3.

Para a realização deste experimento foram utilizados quatro agregados diferentes, sendo estes empacotados em ordem decrescente de granulometria. Logo o ensaio foi iniciado com o empacotamento da brita 1 com o pedrisco. Através do qual foi notado que a mistura que possui maior massa unitária e menor índice de vazios foi a que utilizou 60% de brita 1 e 40% de pedrisco.

Utilizando esta mistura, a mesma metodologia empregada anteriormente foi utilizada para empacota-la com o pó de pedra, a fim de alcançar a maior massa unitária possível e o menor índice de vazios. Com isso foi possível perceber que no empacotamento entre a mistura 1 e o pó de pedra, a proporção que produz uma maior massa unitária é a que utiliza 50% de cada material.

Como último processo de empacotamento tem-se a mescla entre a mistura 2 e a areia, sendo definida como a melhor proporção a que utilizou 90% da mistura 2 e 10% de areia. O que conduz as seguintes proporções de agregados, mostrada para a mistura final na Tabela 3.

Entretanto, comparando a mistura 2 com a mistura 3, foi possível observar que a diferença entre os índices de vazios foi de aproximadamente 1%, o que segundo as considerações de Tutikian e Dal Molin (2008) não é relevante, pois não ultrapassa 5%, o que seguindo esta linha de pensamento torna a mistura 2 mais viável para utilização.

Outro fator importante que o método do empacotamento das partículas avaliou foi o aumento da massa unitária, tanto para a mistura final quanto para a mistura 2 com relação a massa unitária da mistura atual fornecida pela pedreira, sendo este um aumento superior a 70 kg/m<sup>3</sup> para as duas misturas.

Tabela 3 – Percentual dos agregados em cada mistura proposta durante o empacotamento

Agregados	Mistura 1 (%)	Mistura 2 (%)	Mistura Final (%)
Brita 1	50	30	27
Pedrisco	50	20	18
Pó de Pedra	-	50	45
Areia	-	-	10

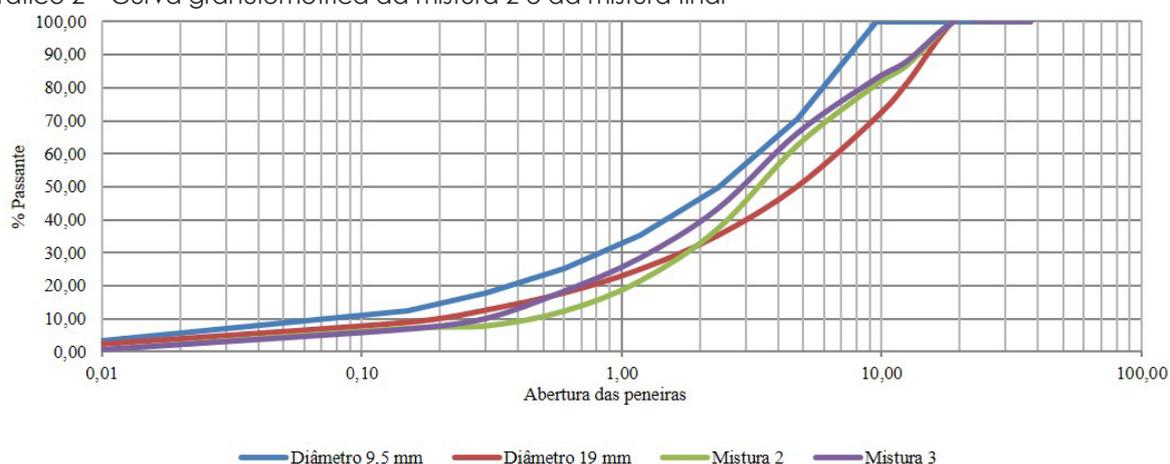
Fonte: os autores.

Observou-se que foi possível diminuir o índice de vazios da mistura através do método de empacotamento. Sendo que a mistura atualmente fornecida pela pedreira possui este índice igual a 36,09%, e os resultados obtidos foram de 34,96% para a mistura 2, e de 34,04% para a mistura final.

#### 4.1.2.1 Análise do esqueleto granular das misturas propostas pelo método de empacotamento

Através das porcentagens informadas na Tabela 3 para a mistura 2 e para a mistura final, foram desenvolvidas computacionalmente suas devidas curvas granulométricas, utilizando os dados obtidos através das granulometrias individuais dos agregados. Assim como demonstra o Gráfico 2:

Gráfico 2 – Curva granulométrica da mistura 2 e da mistura final



Fonte: os autores.

Nota-se que as duas curvas granulométricas não estão contidas completamente dentro do intervalo ideal, entretanto a granulometria da mistura final é mais bem enquadrada dentro do intervalo ideal.

Aconselha-se que estas mesclas de materiais sejam testadas, para garantir sua aplicabilidade em dosagens de concretos.

## 4.2 TRAÇO 1:3 UTILIZANDO A MISTURA ATUAL DE AGREGADOS

O traço 1:3 (cimento: mistura de agregados) foi testado inicialmente com agregados secos em estufa e posteriormente o mesmo foi rodado com os materiais úmidos, onde foi feita a correção da umidade através do método da frigideira.

Este traço foi executado com seis diferentes relações a/c na condição com os agregados secos e outras seis com os agregados úmidos. Sendo que para cada traço foram confeccionados 10 corpos de prova, dos quais 2 foram rompidos em 7 dias, 2 a 14 dias e 6 a 28 dias.

Segundo informações passadas pela pedreira a mistura de agregados utilizada para a dosagem dos concretos executados neste estudo é composta por 30% de brita 1, 20% de pedrisco, 32,5% de pó de pedra e 17,5% de areia.

Utilizando estes dados foi possível calcular o teor de argamassa seca, sendo obtido  $\alpha=62,5\%$ . O que é considerado um valor elevado e pode ser explicado pelo fato desta mistura ser constituída por 50% de agregado miúdo.

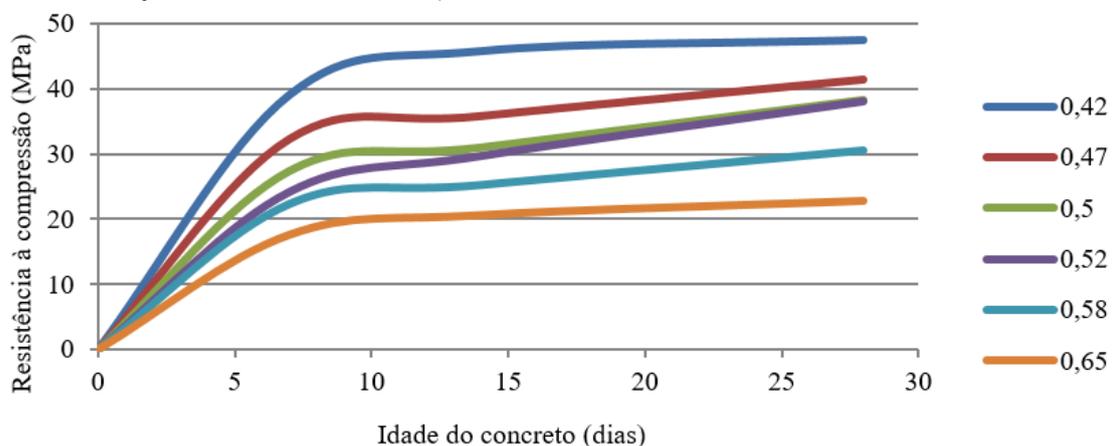
No estado fresco foram realizados os ensaios de massa específica e o ensaio de abatimento do tronco de cone.

### 4.2.1 Concreto rodado com os materiais secos em estufa

Para a execução dos traços de concreto foram seguidos os passos descritos do item 3.2.1. Sendo confeccionadas 6 misturas de concreto com diferentes relações água/cimento, sendo utilizadas as relações a/c de 0,42, 0,47, 0,52 e 0,65 para atingir perspectivamente as resistências de 35, 30, 25, 20 e 15 MPa, posteriormente também foi utilizada a relação a/c de 0,5, sendo esta considerada como uma relação a/c desejável para rodagem em obra.

As principais propriedades que estão vinculadas a relação a/c são as resistências aos esforços mecânicos e resistência aos agentes agressivos no aspecto da durabilidade do concreto. A seguir no Gráfico 3 serão comparadas as evoluções das resistências no decorrer dos dias:

Gráfico 3 – Evolução da resistência à compressão no decorrer dos dias

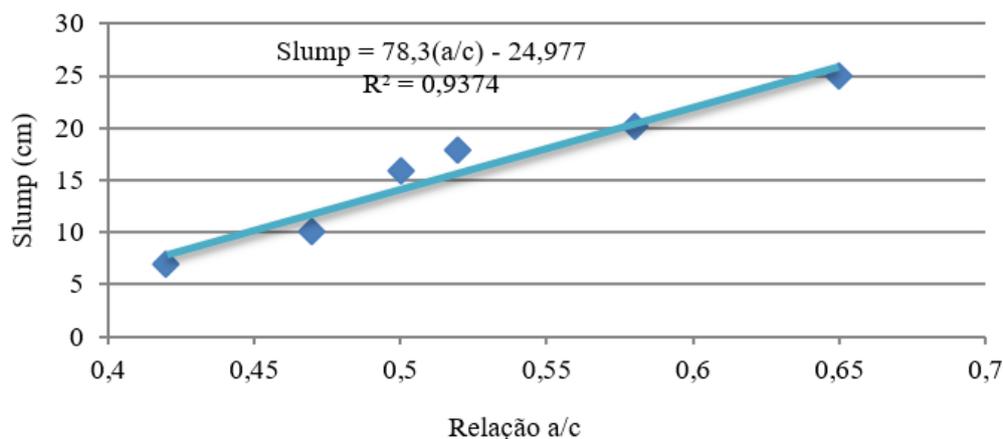


Fonte: os autores.

Nota-se que o principal ganho de resistência do concreto ocorre nas idades iniciais e que quanto maior a relação a/c menor é a resistência do concreto, independentemente da idade onde se encontra.

As propriedades do concreto no estado fresco também são prontamente afetadas pela relação a/c, a fim de analisar esta interação foram desenvolvidos os Gráfico 4, 5 e 6:

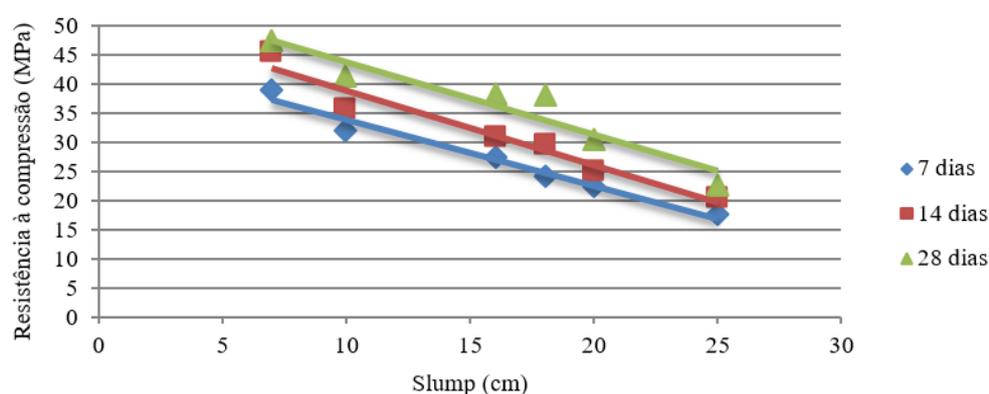
Gráfico 4 – Slump em função da relação a/c



Fonte: os autores.

Constata-se no gráfico acima que quanto maior a relação a/c maior será o abatimento do concreto. O ensaio de abatimento do concreto (*slump*) também pode ser relacionado com a resistência do concreto, assim como demonstra o Gráfico 5:

Gráfico 5 – Resistência à compressão do concreto em função do slump

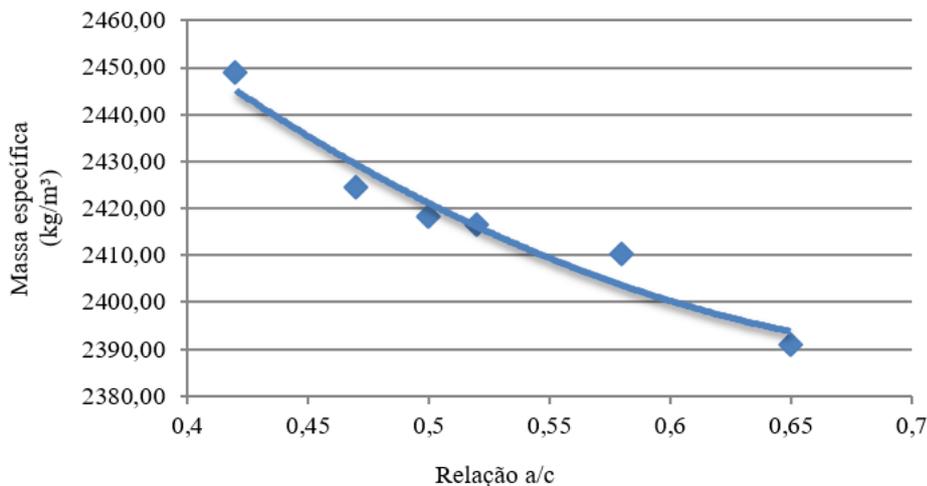


Fonte: os autores.

Esse gráfico também pode ser muito útil em condições de obra, pois através do *Slump*, para este traço 1:3, pode-se estimar uma resistência.

Outra propriedade alterada pela relação a/c é a massa específica, pois a água é menos densa que os demais materiais constituintes do concreto, ou seja, quanto maior a relação a/c menor será a massa específica. Esta relação foi comprovada através do Gráfico 6:

Gráfico 6 – Massa específica em função da relação a/c



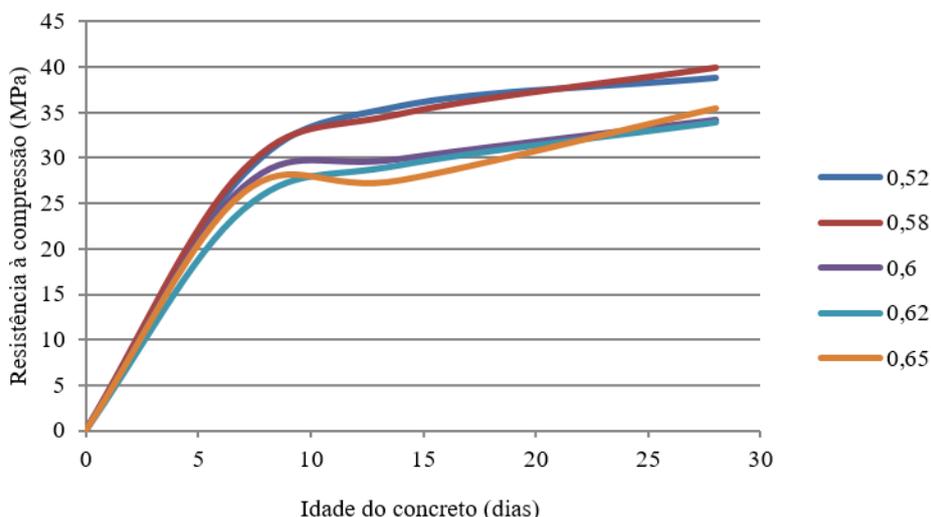
Fonte: os autores.

#### 4.2.2. Concreto rodado com os materiais úmidos, sendo feita a correção da umidade

Neste processo antes de se iniciar a execução dos traços foi verificada a umidade presente na mistura de agregados. Sendo confeccionadas 6 misturas de concreto com diferentes relações água/cimento, as quais não foram em sua totalidade as mesmas adotadas para a rodagem do concreto feita com os materiais secos em estufa, em função da trabalhabilidade se apresentar menor do que para o método anterior. Assim adotaram-se as seguintes relações a/c: 0,65, 0,62, 0,60, 0,58 e 0,52.

As principais propriedades que estão vinculadas a relação a/c são as resistências aos esforços mecânicos e resistência aos agentes agressivos no aspecto da durabilidade do concreto. A seguir no Gráfico 7 serão comparadas as evoluções das resistências no decorrer dos dias:

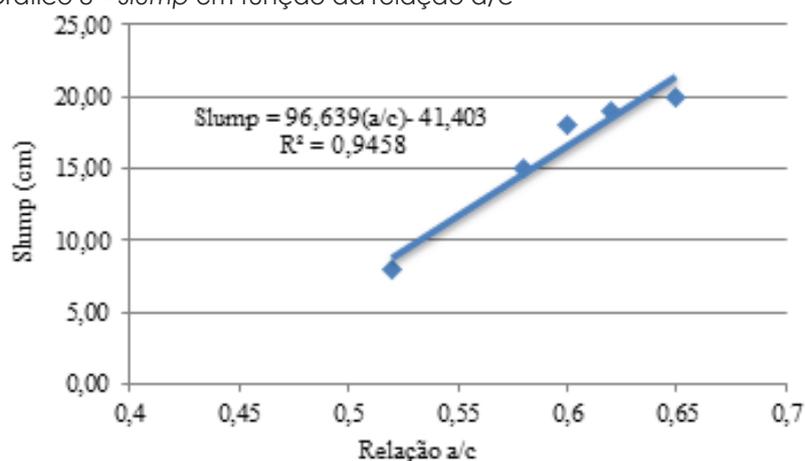
Gráfico 7 – Evolução da resistência a compressão no decorrer dos dias



Fonte: os autores.

Nota-se que os resultados obtidos não seguiram um padrão distinto, assim como aconteceu no Gráfico 3. Este fato está ligado ao processo de correção de umidade, mostrando-se através destes resultados como um método meramente expedito para a rodagem de concreto em obra. Entretanto a propriedade de abatimento do concreto ainda apresentou uma tendência correta, sendo demonstrada no Gráfico 8. Constatando no gráfico que quanto maior a relação a/c maior será o *slump* do concreto.

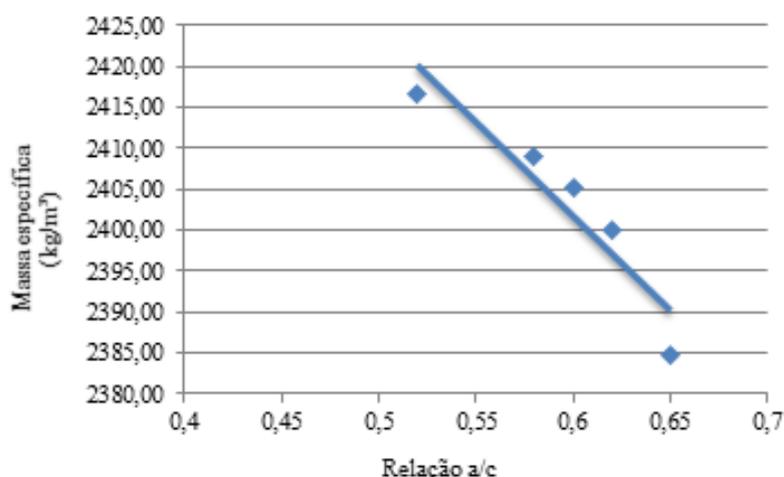
Gráfico 8 – *Slump* em função da relação a/c



Fonte: os autores.

Outra propriedade alterada pela relação a/c foi a massa específica, pois a água é menos densa que os demais materiais constituintes do concreto, ou seja, quanto maior a relação a/c menor será a massa específica. Esta relação foi comprovada através do Gráfico 9:

Gráfico 9 – Massa específica em função da relação a/c



Fonte: os autores.

Embora os ensaios de resistência não tenham seguido uma tendência, os traços desenvolvidos com a mistura de agregado fornecida pela pedreira, demonstraram excelentes

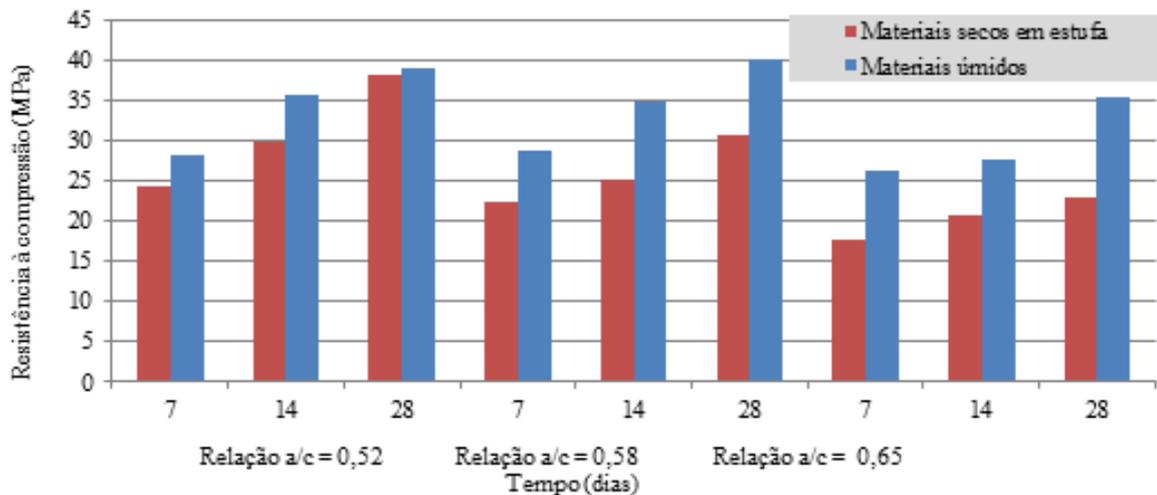
resistências à compressão. Sendo que em todos os casos foram maiores ou no mínimo iguais às obtidas com os traços desenvolvidos a partir de agregados secos em estufa.

#### 4.2.3 Análise comparativa entre os métodos

A fim de comparar os resultados obtidos através dos traços rodados com os materiais secos em estufa e dos traços rodados com os materiais úmidos, foram desenvolvidos alguns gráficos onde podem ser observados os resultados obtidos nos ensaios.

Em termos de resistência foi possível contrapor os resultados de três diferentes relações a/c, tal como pode ser observado no Gráfico 10. As demais resistências não foram comparadas em função das diferenças de trabalhabilidade obtidas, as quais impossibilitaram a execução de traços com relações a/c abaixo de 0,52 para o método que utilizou materiais úmidos.

Gráfico 10 – Evolução da resistência em função dos dias

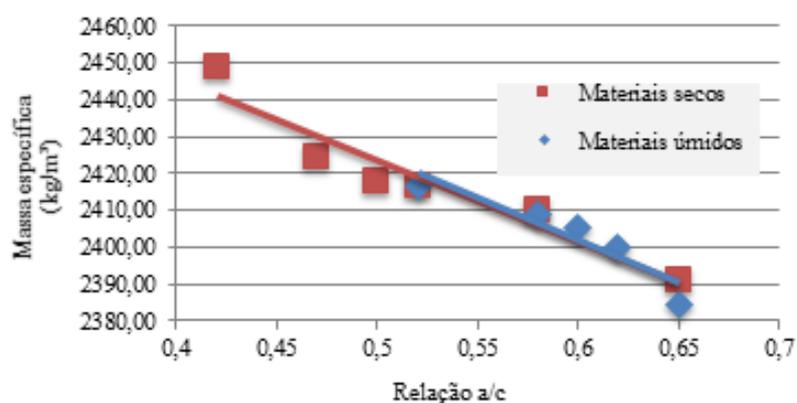


Fonte: os autores.

Nota-se que as resistências obtidas pelo método onde ocorreu a correção da umidade dos materiais expostos a condições ambientais foi maior em todos os casos. Entretanto este mesmo método apresentou resultados não esperados quando as resistências obtidas pela relação a/c 0,58 foram maiores que os da relação a/c 0,52.

Também foi possível avaliar que os resultados obtidos através do ensaio de massa específica foram bastante similares para os dois métodos, assim como demonstrado no Gráfico 11:

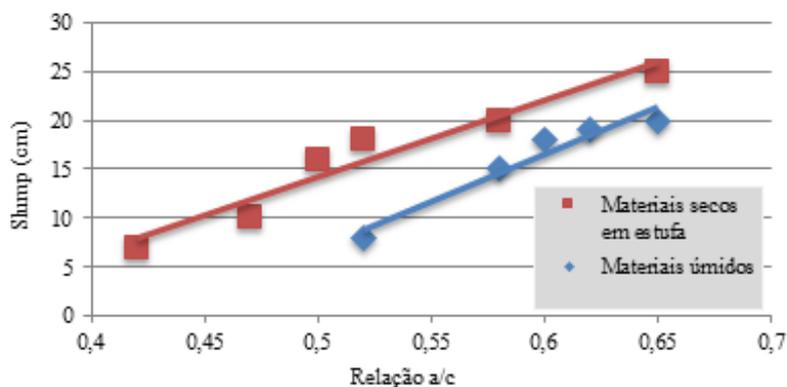
Gráfico 11 – Variação da massa específica em função da relação a/c



Fonte: os autores.

Um parâmetro claramente afetado pelos métodos foi o abatimento do concreto, apresentando menor *slump* para os traços com os agregados úmidos, onde ocorreu a correção da umidade pelo método da frigideira. O Gráfico 12 demonstra a diferença de abatimento em função da relação a/c para os dois métodos:

Gráfico 12 – Diferença de abatimento em função da relação a/c



Fonte: os autores.

O fato de o *slump* ter se apresentado menor para os traços rodados com os agregados úmidos impossibilitou a execução de traços com relação a/c inferior a 0,52, sendo que esta apresentou abatimento de 8 cm.

Contudo constatou-se a eficiência da mistura, apresentando excelentes resistências a compressão para todas as relações a/c testadas, independentemente do método adotado.

## 5 CONCLUSÃO

Frente ao exposto no decorrer do trabalho, possibilitou-se avaliar a mistura de agregados disponibilizada por uma pedreira da região meio oeste de Santa Catarina. Analisando os agregados de forma individual, global e suas propriedades no desenvolvimento de concreto.

Percebeu-se que a granulometria dos agregados britados não se encontrou em conformidade com os limites das faixas granulométricas estipuladas por norma. Entretanto as demais propriedades estudadas, mostraram-se de acordo com os requisitos mínimos para materiais empregados em concreto.

Com relação à análise do esqueleto granular, desenvolvida para a mistura, esta seguiu duas vertentes. Sendo inicialmente avaliada a mistura atual disponibilizada pela pedreira e posteriormente desenvolvido o empacotamento buscando uma nova mistura, mais densa e com menor índice de vazios que a atual. Através deste método, estes objetivos foram alcançados, atingindo resultados que aumentaram a massa unitária da mistura em mais de 70 kg/m<sup>3</sup>, e diminuíram o índice de vazios em aproximadamente 2%.

Também com relação ao esqueleto granular da mistura, desenvolveu-se um empacotamento teórico, a fim de avaliar a continuidade granulométrica da mesma, comparando-a as curvas propostas por Fuller e Thompson. Através destas, observou-se que todas as misturas avaliadas mostraram perfeito enquadramento para os materiais mais grossos, entretanto todas apresentaram desvios com relação à quantidade de finos.

Outra parte relevante deste trabalho foi a avaliação do desempenho desta mistura para a execução de concreto. Sendo desenvolvido um traço 1:3, variado sua relação a/c, e testado por dois métodos, um com os agregados secos em estufa e outro com a umidade dos materiais corrigida através do método da frigideira.

A dosagem feita com os materiais secos apresentou resultados mais bem definidos, apresentando parâmetros distintos para as diferentes relações a/c utilizadas. Obtendo resistências que variaram de 17,6 MPa aos 7 dias a 47,4 MPa aos 28 dias. Já a dosagem executada com os materiais úmidos, não apresentou resultados tão bem definidos como os obtidos pelo método anterior, entretanto levando em conta as relações a/c utilizadas, obteve-se resistências mais elevadas que o outro método.

Contudo foi possível concluir que a mistura atual é viável para aplicação em obra, visto as resistências apresentadas, embora possa ser melhorada em termos de empacotamento das partículas, aumentando sua massa específica, diminuindo seu índice de vazios e com isso melhorando seu comportamento com relação a sua continuidade granulométrica.

## REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, Francisco Rodrigues. Uso e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto. In: SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2., 2005, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: EPUSP, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland: Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSUNÇÃO, José Wilson. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do Paraná**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CASTRO, Alessandra Lorenzetti de; LIBORIO, Jefferson Benedicto Libardi Libório; PANDOLFELLI, Victor Carlos. **A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2011.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2008.

MILITO, José Antonio de. **Técnicas de construção civil e construção de edifícios**. São Paulo: [s. l.], 2009. 303 p.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Concreto de cimento portland**. 12. ed. São Paulo: Globo, 1993. 307 p.

REGINATO, Lucas Alexandre; TRENTIN, Liana Camila; PIOVESAN, Angela Zamboni. Utilização do método do empacotamento em dosagens de Concretos de Alta Resistência utilizando agregados britados do Meio Oeste Catarinense. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: IBRACON, 2010.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpen. **Concreto Auto-Adensável**. São Paulo: PINI, 2008.

VANDERLEI, Romel Dias; LIBÓRIO, Jeferson Benedicto L.; GIONGO, José Samuel. Análise da Microestrutura do Concreto de Pós Reativos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais** [...]. Bento Gonçalves: IBRACON, 2007.