

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO  
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA**

**Curso de Engenharia Civil**

**Dimas Alan Strauss Rambo**

**ESTUDO DA TRABALHABILIDADE DO CONCRETO  
AUTOADENSÁVEL**

**Ijuí RS  
2009**

**Dimas Alan Strauss Rambo**

**ESTUDO DA TRABALHABILIDADE DO CONCRETO  
AUTOADENSÁVEL**

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia  
Civil apresentado como requisito parcial para  
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

**Ijuí  
2009**

**Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua  
forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca  
examinadora.**

---

Prof. Marcelo Adriano Duart, Msc – Orientador

Banca Examinadora

---

Prof. Raquel Paranhos, Msc  
UNIJUÍ/DeTec

## **Agradecimento**

Inicialmente quero agradecer a Deus, pois foi através dele, que conquistei tudo o que tenho até hoje. Foi ele que me ensinou a superar os obstáculos e a viver cultivando a paz e a alegria.

Agradeço de coração aos meus pais Valzir e Marisa que, com muita dignidade e honestidade, se sacrificaram para que eu pudesse concluir mais esta etapa da vida. Afinal, foram eles que me deram o exemplo e me fizeram acreditar que tudo era possível, mesmo nas dificuldades, eis aí o porquê do meu imenso orgulho e amor por eles.

Agradeço a minha irmã Fabiana que, além de ter praticamente escolhido meu curso, sempre me apoiou em todas as horas, elevando minha autoestima e me fazendo acreditar em todas as minhas potencialidades.

Obrigado também a todos os colegas, ex-colegas e amigos do Curso de Engenharia Civil, aos laboratoristas Salete, Luiz e Tiago, pela grande amizade, pelas boas conversas, e pela disposição em me ajudar, independentemente das condições. Às companheiras de pesquisa Cátia e Thiana e, principalmente, ao colega e amigo Tiago Rafael Bohn,, que muito me apoiaram durante o desenvolvimento de meus trabalhos.

Por fim, agradeço ao orientador Marcelo Duart pelos ensinamentos e pela confiança em mim depositada nestes dois anos de pesquisa e, ao professor Luciano Specht, que além de ótimo professor, sempre foi um grande amigo e muito me apoiou durante toda a graduação e, mais ainda, durante o período em que fiz parte do grupo PET.

## RESUMO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no âmbito da construção civil, tanto que nos dias atuais não é possível imaginar a construção de uma obra sem sequer alguma aplicação deste notável produto. Porém, para que o mesmo tenha uma correta utilização, várias de suas características devem ser analisadas, principalmente no tocante à resistência e à trabalhabilidade do material. Seguindo este contexto, este trabalho se destinou à produção de um traço de concreto autoadensável, otimizado com relação à trabalhabilidade, empregando para isto, o melhor proporcionamento possível dos materiais constituintes, materiais estes provenientes da região de Ijuí. Sendo assim, vários traços deste concreto foram produzidos e avaliados com relação à trabalhabilidade após diversas variações no proporcionamento dos agregados graúdos, miúdos, nos teores de argamassa seca e nos percentuais de substituição de cimento por cinza volante. Para cumprir com os objetivos propostos, foram realizados ensaios de caracterização de materiais, slump flow test e caixa – L, ambos no Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ). Estes ensaios serviram, respectivamente, para avaliar as características dos materiais utilizados, a trabalhabilidade do concreto fresco e, por fim, sua fluidez. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que os proporcionamentos e percentuais que melhor desenvolveram a trabalhabilidade para os concretos autoadensáveis produzidos com materiais da região de Ijuí foram: 60% para a brita 0 e 40% para a brita 1 (agregados graúdos), 50% para a areia média e 50% para a areia fina (agregados miúdos), 57% para o teor de argamassa seca e 15% para o percentual de substituição de cimento por cinza volante. Utilizando tais percentuais, foi possível a produção de um traço de concreto autoadensável, o qual alcançou slump de 27 cm, espalhamento de 716,7 mm, 0,96 no parâmetro H1/H2, 0,40s no parâmetro T20 e 0,88s no parâmetro T40, resultados estes, que segundo valores obtidos em Tutikian (2004), se encaixam perfeitamente nas características de um concreto autoadensável de alta qualidade.

Palavras-chave: Trabalhabilidade; reologia; concreto autoadensável.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Exsudação de concretos com aditivos superplastificantes .....                                 | 22 |
| Figura 2 – Exsudação de concretos com aditivos superplastificantes .....                                 | 22 |
| Figura 3 – Ancoragem da ponte Akashi-Kaikyo .....  | 23 |
| Figura 4 – Túnel em Yokahama, Japão .....  | 24 |
| Figura 5 – Shopping Flamboyant em Goiânia.....   | 25 |
| Figura 6 – Programa experimental .....   | 26 |
| Figura 7 – Aglomerantes utilizados.....  | 27 |
| Figura 8 – Agregados graúdos utilizados .....  | 28 |
| Figura 9 – Granulometria dos agregados graúdos .....   | 29 |
| Figura 10 – Agregados miúdos utilizados .....  | 29 |
| Figura 11 – Granulometria dos agregados miúdos.....  | 30 |
| Figura 12 – Aditivos utilizados .....  | 30 |
| Figura 13 – Instante de medição dos parâmetros T20 e T40.....  | 32 |
| Figura 14 – Escoamento total do concreto. ....   | 32 |
| Figura 15 – Limites de resultados e dimensões para ensaio com Caixa-L, segundo diversas referências..... | 32 |
| Figura 16 – Slump flow test sendo executado.....   | 34 |
| Figura 17 – Limites de resultados para o slump flow test, segundo diversas referências .....             | 35 |
| Figura 18 – Limites de resultados para o slump flow test T50 cm, segundo diversas referências .....      | 35 |
| Figura 19 – Dimensões da Caixa-L.....  | 37 |
| Figura 20 – Sequência inicial de produção.....   | 37 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 21 – Etapa final da implementação .....  | 38 |
| Figura 22 – Caixa – L implementada .....  | 39 |
| Figura 23 – Base metálica implementada para utilização no Slump flow test .....         | 40 |
| Figura 24 – Valores de espalhamento.....  | 42 |
| Figura 25 – Valores de slump.....   | 42 |
| Figura 26 – Valores de H1/H2.....   | 42 |
| Figura 27– Valores de espalhamento .....  | 44 |
| Figura 28 – Valores de slump.....   | 44 |
| Figura 29 – Valores de H1/H2.....   | 45 |
| Figura 30 – Valores de T20 .....  | 45 |
| Figura 31 – Valores de T40 .....  | 45 |
| Figura 32– Valores de espalhamento .....  | 47 |
| Figura 33 – Valores de slump.....   | 47 |
| Figura 34 – Valores de H1/H2.....   | 48 |
| Figura 35 – Valores de T20 .....  | 48 |
| Figura 36 – Valores de T40 .....  | 48 |
| Figura 37– Valores de espalhamento .....  | 50 |
| Figura 38 – Valores de slump.....   | 51 |
| Figura 39 – Valores de H1/H2.....   | 51 |
| Figura 40 – Valores de T20 .....  | 51 |
| Figura 41 – Valores de T40 .....  | 52 |
| Figura 42 – Composição granulométrica dos agregados miúdos (Traço A3 – D – 57 – 15 ) .. | 54 |
| Figura 43 – Composição granulométrica dos agregados graúdos (Traço A3 – D – 57 – 15.... | 54 |

---

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Resultados dos ensaios laboratoriais referentes aos aglomerantes .....                      | 28 |
| Tabela 2 – Massa unitária, massa específica e absorção dos agregados graúdos.....                      | 28 |
| Tabela 3 – Massa unitária e massa específica dos agregados miúdos.....                                 | 30 |
| Tabela 4 – Traços testados durante a etapa de produção do traço referência.....                        | 40 |
| Tabela 5 – Nomenclatura e percentuais de agregado graúdo utilizados na produção dos traços de CAA..... | 41 |
| Tabela 6 – Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3.....                            | 43 |
| Tabela 7 Nomenclatura e percentuais de agregado miúdo utilizados na produção dos traços de CAA.....    | 44 |
| Tabela 8 – Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3 - D.....                        | 46 |
| Tabela 9 – Nomenclatura e teores de argamassa seca utilizados na produção dos traços de CAA.....       | 46 |
| Tabela 10 – Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3 – D – 57.....                  | 49 |
| Tabela 11 – Nomenclatura e teores de substituição de cimento por cinza volante nos traços de CAA.....  | 50 |
| Tabela 12 – Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3 – D – 57 – 15.....             | 52 |
| Tabela 12 – Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3 – D – 57 – 15.....             | 52 |



## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

|                   |  |
|-------------------|--|
| a/c               | Relação água/cimento   |
| a/cv              | Relação água/cinza volante   |
| ACI               | American Concrete Institute  |
| A                 | Espessura da parte vertical da caixa – L (mm)  |
| AF                | Areia Fina   |
| AM                | Areia média  |
| B                 | Largura da caixa – L tanto na parte horizontal como na parte horizontal (mm)   |
| B0                | Classe de agregados graúdo com diâmetro máximo de 12,5 mm.   |
| B1                | Classe de agregados graúdo com diâmetro máximo de 19,0 mm.   |
| C                 | Altura da parte vertical da caixa – L (mm)   |
| c.p.              | Corpo de prova   |
| CAA               | Concreto autoadensável   |
| CAD               | Concreto de alto desempenho  |
| cm                | Centímetro   |
| CP                | Cimento Portland   |
| D                 | Comprimento total do fundo da caixa - L (mm)   |
| E                 | Essura da caixa L na parte vertical (mm)   |
| EFNARC            | European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems   |
| h                 | Hora   |
| H1                | Maior altura da camada de material depositada na caixa “L”   |
| H2                | Menor altura da camada de material depositada na caixa “L”   |
| H2/H1             | Relação final entre as alturas do concreto no final do trecho horizontal e a altura do concreto remanescente do trecho vertical da caixa - L |
| Kg                | Quilograma   |
| l/m <sup>3</sup>  | Litros por metro cúbico  |
| Kg/m <sup>3</sup> | Quilograma por metro cúbico  |
| m                 | Metro  |
| m <sup>3</sup>    | Metro cúbico   |
| mm                | Milímetro  |

|      |   |
|------|---|
| P    | Aditivo plastificante   |
| s    | Segundos  |
| SL   | Sem leitura   |
| SP   | Aditivo superplastificante  |
| TA   | Teor de argamassa seca  |
| T    | Tempo   |
| T50  | Tempo gasto pelo concreto até alcançar a marca dos 500 mm no ensaio de espalhamento                         |
| TL20 | Tempo para o concreto em fluxo alcançar um comprimento horizontal de 20 cm na parte horizontal da caixa - L |
| TL40 | Tempo para o concreto em fluxo alcançar um comprimento horizontal de 40 cm na parte horizontal da caixa - L |

## SUMÁRIO

|          |                                       |           |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>               | <b>12</b> |
| 1.1      | TEMA DA PESQUISA .....                | 12        |
| 1.2      | DELIMITAÇÃO DO TEMA.....              | 12        |
| 1.3      | FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO ..... | 12        |
| 1.4      | OBJETIVOS .....                       | 12        |
| 1.4.1    | <i>OBJETIVO GERAL</i> .....           | 12        |
| 1.4.2    | <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> .....    | 12        |
| 1.5      | JUSTIFICATIVA .....                   | 13        |
| 1.6      | SISTEMATIZAÇÃO DA PESQUISA .....      | 15        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>    | <b>16</b> |
| 2.1      | CONCRETO AUTOADENSÁVEL.....           | 16        |
| 2.2      | HISTÓRICO E UTILIZAÇÃO.....           | 20        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>               | <b>25</b> |
| 3.1      | CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO.....          | 25        |
| 3.2      | PLANEJAMENTO DA PESQUISA .....        | 25        |
| 3.3      | MATERIAIS UTILIZADOS.....             | 26        |
| 3.3.1    | <i>AGLOMERANTES</i> .....             | 26        |
| 3.3.2    | <i>AGREGADOS GRAÚDOS</i> .....        | 27        |
| 3.3.3    | <i>AGREGADOS MIÚDOS</i> .....         | 28        |
| 3.3.4    | <i>ADITIVOS</i> .....                 | 29        |
| 3.3.5    | <i>ÁGUA</i> .....                     | 30        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.4      | TÉCNICAS EXPERIMENTAIS .....                       | 30        |
| 3.4.1    | ENSAIO COM CAIXA - L.....                          | 30        |
| 3.4.2    | SLUMP FLOW TEST .....                              | 32        |
| <b>4</b> | <b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b> | <b>35</b> |
| 4.1      | EQUIPAMENTOS IMPLEMENTADOS .....                   | 35        |
| 4.1.1    | CAIXA - L.....                                     | 35        |
| 4.1.2    | CHAPA PARA ENSAIO DE ABATIMENTO.....               | 38        |
| 4.2      | PRODUÇÃO DO TRAÇO REFERÊNCIA.....                  | 39        |
| 4.3      | AJUSTE DOS TEORES DE AGREGADO GRAÚDO.....          | 40        |
| 4.4      | AJUSTE DOS TEORES DE AGREGADO MIÚDO .....          | 42        |
| 4.4.1    | AJUSTE DO TEOR DE ARGAMASSA SECA.....              | 45        |
| 4.4.2    | SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR CINZA VOLANTE.....     | 48        |
| 4.4.3    | DEFINIÇÃO DO TRAÇO FINAL APRIMORADO.....           | 52        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                   | <b>54</b> |
| 5.1      | CONCLUSÃO.....                                     | 54        |
| 5.2      | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....             | 55        |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>            | <b>56</b> |

## **1 INTRODUÇÃO**

### ***1.1 TEMA DA PESQUISA***

O tema da pesquisa é: Materiais de construção civil.

### ***1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA***

Este trabalho é baseado no estudo de concretos do tipo autoadensável.

### ***1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO***

É possível, com a utilização de materiais da região de Ijuí, produzir um traço de concreto autoadensável e aprimorar sua trabalhabilidade exclusivamente através do melhor proporcionamento dos materiais utilizados?

### ***1.4 OBJETIVOS***

#### **1.4.1 Objetivo Geral**

Buscar, através de dosagem experimental, um traço de concreto autoadensável aprimorado com relação à trabalhabilidade, empregando para isto o melhor proporcionamento dos materiais utilizados.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Implementar os equipamentos necessários à avaliação da trabalhabilidade do concreto autoadensável;

- Determinar a melhor proporção entre os agregados graúdos (brita 0 e brita 1), que resulte em melhorias na trabalhabilidade do concreto autoadensável;
- Determinar a melhor proporção entre os agregados miúdos (areia média e areia fina), que resulte em melhorias na trabalhabilidade do concreto autoadensável;
- Determinar o teor de argamassa seca que acarrete mais benefícios a trabalhabilidade do concreto autoadensável;
- Determinar o teor de substituição de cimento por cinza volante que acarrete mais benefícios a trabalhabilidade do concreto autoadensável.

### **1.5 JUSTIFICATIVA**

Um dos mais importantes pilares da economia do Brasil e de muitos outros países é o setor da construção civil. Uma das formas de perceber tal fato está na participação deste setor no PIB do país. Nos últimos anos a parcela do PIB brasileiro referente ao setor da construção civil, além de permanecer alta, vem crescendo notavelmente, proporcionando assim inúmeros ganhos, dentre os quais podem ser citados: a realização de investimentos, o potencial de criação de empregos (diretos e indiretos) e ainda os efeitos benéficos do mesmo sobre a balança comercial e sobre o nível de inflação do país.

Poderia o setor da construção civil estar muito menos desenvolvido, não fosse o descobrimento de um material que, nos dias atuais, é apontado como um dos produtos mais utilizados em todo o mundo: o concreto.

O concreto foi e é, sem dúvida, um recurso de extrema importância para a humanidade. Barragens, pontes, pavimentos e, principalmente, moradias, são os principais destinos desta vasta produção em todo o mundo. Não é possível imaginar, nos dias atuais, grandes empreendimentos sendo projetados sem sequer alguma aplicação deste notável material.

Dentre as mais almejadas características do concreto, sem dúvida, está a capacidade de suportar cargas. Porém, em algumas aplicações específicas, tal propriedade sozinha não é suficiente. Em casos, como por exemplo: estruturas com elevada taxa de armadura, formas

complexas, obras com acabamento em concreto aparente e peças de concreto com formatos não convencionais, além da resistência, outras características são exigidas, dentre as quais são de extrema importância a fluidez, a coesão e a resistência à segregação, propriedades estas que o concreto convencional não atende facilmente.

Tais características, quando bem desenvolvidas, proporcionam ao concreto a capacidade de transpor densas malhas e preencher todo e qualquer espaço vazio, mantendo a coesão e a homogeneidade da massa. Objetivando alcançar tais propriedades, na década de 80, foi produzido no Japão um concreto com excelente resistência e grande trabalhabilidade no estado fresco, o qual foi intitulado Concreto Autoadensável (CAA).

Sendo considerado por muitos autores a mais revolucionária técnica da construção de estruturas em concreto das últimas décadas, o CAA proporciona inúmeras vantagens quando comparado ao concreto convencional. Devido à alta trabalhabilidade que possui, o CAA não necessita de qualquer tipo de vibração, oferece excelente acabamento, bombeamento a grandes distâncias com maior velocidade, otimização e redução de mão-de-obra, mais rapidez na execução da obra, melhores condições de segurança, eliminação de ruídos causados pelo vibrador, redução nas atividades de espalhamento, concretagens possíveis mesmo em estruturas densamente armadas, possibilidade de trabalho em fôrmas pequenas ou muito detalhadas, maior durabilidade (redução das falhas de concretagem) e ainda possibilita ganhos ambientais, já que utiliza, em alguns casos, resíduos como por exemplo a cinza volante, resíduos de corte e polimento de mármore e granito, etc.

Tendo em vista, toda a gama de possibilidades que este novo material tem a oferecer e todas as vantagens, as quais seu uso pode acarretar tanto para a engenharia quanto para o meio ambiente, fica clara a importância do seu estudo.

## ***1.6 SISTEMATIZAÇÃO DA PESQUISA***

O relatório desta pesquisa apresenta a seguinte estrutura:

1º Capítulo: neste capítulo é descrito o tema da pesquisa, a delimitação do tema, a formulação da questão de estudo, os objetivos geral e específicos e a justificativa.

2º Capítulo: este capítulo apresenta a revisão bibliográfica, abordando considerações sobre o concreto autoadensável e ainda um breve histórico sobre a produção e utilização de CAA's.

3º Capítulo: este capítulo apresenta a metodologia, composta pela classificação do estudo e o planejamento da pesquisa (coleta e análise dos dados).

4º Capítulo: neste capítulo são apresentados os resultados obtidos de cada ensaio, seguido da análise, tabulação e interpretação dos mesmos.

5º Capítulo: este capítulo aborda as conclusões obtidas com o decorrer da pesquisa, as principais contribuições da mesma e as sugestões para trabalhos futuros.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

A ideia de um concreto que fosse por si só adensável nunca foi novidade no âmbito da construção civil. A técnica de compactação de concreto em elementos estruturais é considerada uma etapa fundamental da obra. Tal prática garante ao concreto uma estrutura mais homogênea, com menos vazios, proporcionando uma melhor resistência e durabilidade ao concreto. Técnicas de compactação do concreto têm sido desenvolvidas nos últimos anos, mas o processo ainda é bastante complicado quando as estruturas são de difícil acesso, com formas complexas e densamente armadas (NUNES apud CAINELLI, 2008).

Na década de 80, tais técnicas e dificuldades impulsionaram durante vários anos os estudos e pesquisas nos centros de investigação do Japão. O mercado apresentava carência de mão-de-obra qualificada e de equipamentos adequados para atender às exigências das estruturas com elevada taxa de armaduras, que são comuns no país devido aos abalos sísmicos, e de formas complexas (BILLBERG apud CAINELLI, 2008).

Assim, impulsionado pela necessidade, em 1988 no Japão, na Universidade de Tóquio, o professor Hajime Okamura produz um concreto de alto desempenho (CAD) com uma excelente deformabilidade no estado fresco, o qual foi denominado “Concreto Autoadensável”.

O termo concreto autoadensável (CAA) identifica uma categoria de material cimentício que pode ser moldado nas fôrmas e preencher cada espaço vazio exclusivamente através de seu peso próprio, ou seja, sem necessidade de qualquer forma de compactação ou vibração externa (TUTIKIAN, 2004; COPPOLA, 2000; ARAÚJO et al ., 2003; BARBOSA et al ., 2002; MA e DIETZ, 2002; HO et al ., 2002).

Um concreto só será considerado autoadensável, se três propriedades forem alcançadas: a fluidez, a coesão e a resistência à segregação (*EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS, 2002*).

Estas propriedades do CAA no estado fresco, por serem decisivas para sua aplicação na obra, são analisadas com muito mais frequência do que suas propriedades no estado endurecido, que garantem o atendimento do CAA as solicitações estabelecidas em projeto. Isso tem criado certa insegurança na utilização deste material, aumentada pela falta de normalização de procedimentos de ensaios e de confiabilidade nos métodos de dosagem existentes para este tipo de material, o que faz com que surjam novas pesquisas direcionadas para o estudo das propriedades mecânicas e procedimentos de ensaios (CAVALCANTI, 2006).

Esta evolução tecnológica, como é comumente descrito o CAA, só foi possível graças a pesquisas aplicadas e introdução de adições minerais, adições de fílers e aditivos químicos ao concreto tradicional. O desenvolvimento destes materiais, principalmente com a descoberta da extraordinária ação de dispersão dos aditivos superplastificantes e a ação coesiva dos modificadores de viscosidade, tem impulsionado esta tecnologia nos dias atuais.

Conforme descrito em Marangon (2006), o CAA é bastante suscetível em suas propriedades no estado fresco, e algumas características dos materiais constituintes como, por exemplo, tamanho, textura e distribuição granulométrica dos agregados, são importantes para a garantia da fluidez desejada da mistura.

Segundo EFNARC (2002), todos os tipos de agregados graúdos e miúdos utilizados em concretos convencionais são adequados para o emprego em CAA. O volume de agregados ocupa 70 % do volume de concreto, sendo dominante nas propriedades do concreto não somente pela qualidade, mas também pela quantidade. Além disso, todas as areias industrializadas ou naturais usadas em concreto convencional podem ser usadas no CAA. Podem ser usados silícios ou areias calcárias. Partículas menores que 0,125 mm são consideradas como pó e são muito importantes para a reologia do concreto autoadensável.

Porém, conforme descrição de Khayat (2000), as areias artificiais obtidas por britagem, são as menos indicadas por apresentarem elevada superfície específica e aspereza superficial, demandando maior consumo de água e aditivos superplastificantes para se conseguir a fluidez

necessária. Já os agregados naturais possuem uma forma mais arredondada, o que é preferível na produção desses concretos. Uma curva granulométrica contínua, onde os grãos menores dos agregados preenchem os espaços deixados pelos grãos maiores, proporciona melhor resistência à segregação para os CAA's.

Conforme Marangon (2006), todos os tipos de cimento empregados na produção de concretos convencionais podem ser utilizados na produção de CAA. Variações no tipo de cimento, mesmo sendo do mesmo fabricante, afetam diretamente as propriedades do concreto autoadensável, podendo não desenvolver uma interação satisfatória de compatibilidade com os aditivos químicos. Com cimentos mais finos, tem-se maior superfície específica, o que proporciona menor tensão de escoamento e maior viscosidade da mistura, decorrente do aumento da quantidade de partículas em contato com a água, diminuindo a distância entre os grãos e aumentando a frequência de colisão entre eles.

Os agregados graúdos de forma regular, de qualquer natureza, são os mais indicados na produção de concreto autoadensável. Agregados com elevadas superfícies específicas, lamelares e com textura áspera, devem ser empregados em granulometria mais fina e contínua para que seja menor o efeito de redução na fluidez da mistura. O CAA pode ser produzido com agregados graúdos com dimensões de até 20 mm, porém, quanto maior for a dimensão do agregado, maior deverá ser a viscosidade da pasta para evitar a segregação. Além disso, quanto maior for a dimensão do agregado, maior será a ocorrência de bloqueamento em passagens estreitas. Agregados com diâmetro máximo de até 10 mm são os mais utilizados na produção do CAA, por resultar em uma composição mais econômica, e um melhor desempenho das propriedades reológicas (NUNES apud MARANGON, 2006).

Conforme descrito em EFNARC (2002), o CAA difere do concreto convencional em suas propriedades no estado fresco, as quais são vitais para determinar se este poderá ou não pode ser utilizado de forma satisfatória. Os vários aspectos da prática que controlam a coesão, a fluidez e a resistência a segregação precisam ser cuidadosamente controlados para assegurar o potencial máximo do concreto produzido. O nível de fluidez do CAA é regido principalmente pela dosagem do superplastificante. Contudo, a superdosagem pode levar ao risco de segregação e

bloqueio. Prevenir segregação é, portanto, uma característica muito importante do regime de controle. O tempo no qual o CAA mantém suas propriedades reológicas desejadas “*open time*” é muito importante para a obtenção de bons resultados na utilização do concreto. Este tempo pode ser ajustado escolhendo o tipo certo de superplastificante ou retardando o uso combinado de misturas.

A utilização do CAA é vasta, segundo Tutikian (2004), este tipo de concreto é tão versátil que pode ser moldado *in loco* como na indústria de pré-moldados, pode ser dosado no canteiro de obras ou ainda em centrais de concreto e depois transportado via caminhão betoneira para as construções. Também pode ser lançado com bombas de concreto, guias ou simplesmente espalhado.

As principais indicações de uso do CAA são: Fundações executadas por hélice contínua, paredes, vigas e colunas, paredes diafragma, estações, reservatórios de água e piscinas, pisos contrapisos, lajes, pilares, muros, painéis, obras com acabamento em concreto aparente, obras de concreto em locais de difícil acesso, em peças pequenas, com muitos detalhes ou com formatos não convencionais, onde seja difícil a utilização de vibradores e em formas de peças com grande concentração de ferragens (CAMARGOS apud LISBÔA, 2004).

O uso do concreto autoadensável, conforme descrito em Watanabe (2006), é extremamente benéfico e acarreta inúmeras vantagens à obra, entre as quais pode-se citar:

- Excelente acabamento;
- Bombeamento a grandes distâncias com maior velocidade;
- Otimização e redução de mão-de-obra;
- Mais rapidez na execução da obra;
- Melhores condições de segurança;

- Eliminação de ruídos causados pelo vibrador;
- Redução nas atividades de espalhamento e vibração;
- Concretagem possível mesmo em estruturas densamente armadas;
- Mais possibilidades de trabalho em fôrmas pequenas ou muito detalhadas;
- Maior durabilidade, pois reduz falhas de concretagem (nichos).

A trabalhabilidade traz outras vantagens: além de minimizar os riscos de acidentes causados pelo excesso de pessoas sobre as lajes, reduz problemas ergonômicos nos trabalhadores, já que estes reduzem o esforço necessário ao lançamento e acabamento, além de diminuir a possibilidade de problemas auditivos.

## **2.2 HISTÓRICO E UTILIZAÇÃO**

Até meados dos anos 70, o ACI (*American Concrete Institute*) não recomendava que se utilizassem misturas com resultados de abatimento (*slump test*) acima de 175mm, já que a exsudação aumentava exponencialmente. A Figura 1 mostra que além do aumento da exsudação, à medida que o consumo de cimento diminuía o problema se agrava, pois a quantidade de finos é menor. Mas, com o advento dos aditivos superplastificantes, pôde-se dosar concretos fluidos com valores de abatimento acima de 250 mm com nenhuma ou desprezível exsudação (Figura 2). Assim, foi sugerido que aquelas misturas fossem nomeadas de “concretos reodinâmicos”, bastante fluidas, mas ao mesmo tempo coesivas e com baixa tendência à segregação e exsudação (COLLEPARDI apud TUTIKIAN, 2004).

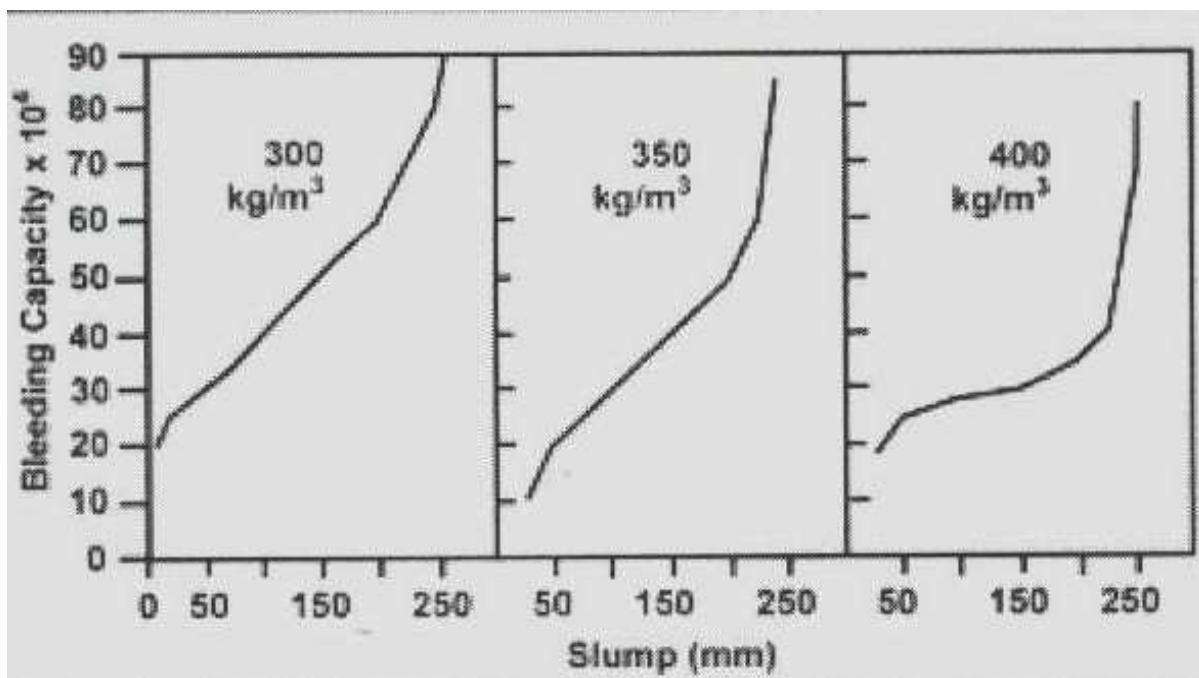


Figura 1: Exsudação de concretos sem aditivos

Fonte: COLLEPARDI apud TUTIKIAN, 2004

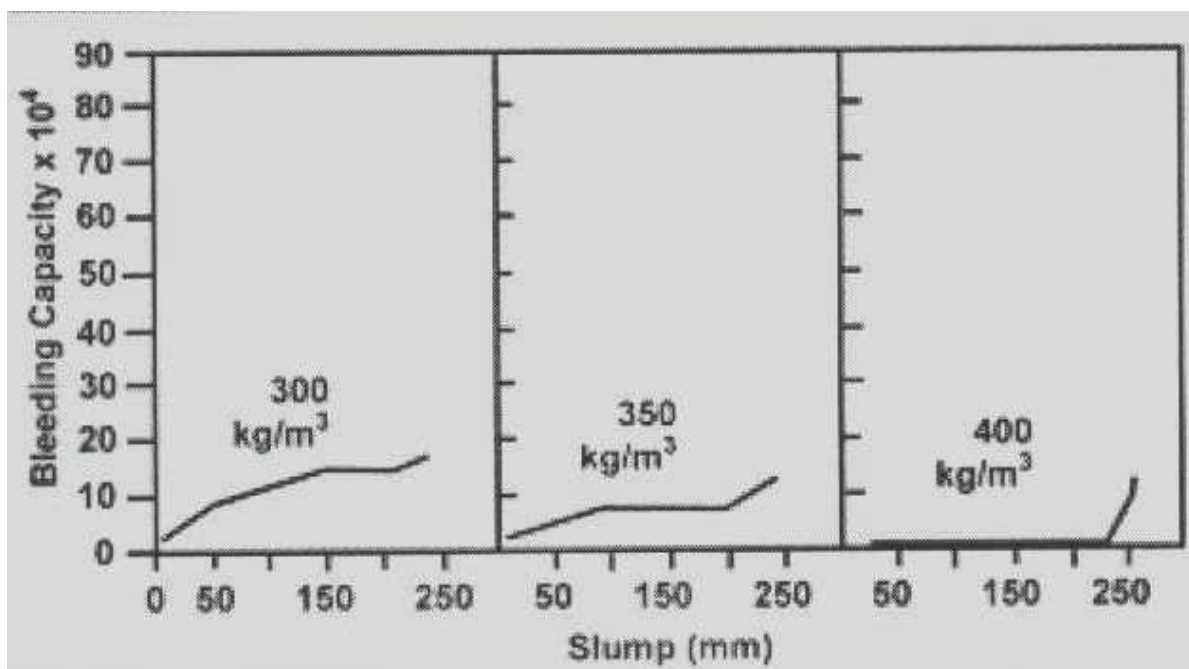


Figura 2: Exsudação de concretos com aditivos superplastificantes

Fonte: COLLEPARDI apud TUTIKIAN, 2004

Segundo Ouchi (1998) desde o desenvolvimento do protótipo de concreto autoadensável em 1988, seu uso em estruturas reais tem aumentado gradualmente. Em 1998, o percentual de concreto autoadensável, no produto anual de concretos usinados no Japão, atingia cerca de 0,1% e 0,5%. Um típico exemplo de aplicação de concreto autoadensável são as duas ancoragens da Akashi-Kaikyo, a ponte de maior vão livre do mundo (1.991 metros). O volume de concreto lançado nas duas ancoragens ultrapassou a marca dos 290.000 m<sup>3</sup>. Nesta obra o concreto foi misturado próximo ao local e bombeado para fora da usina com o auxílio de cerca de 200 metros de dutos. A utilização de concreto autoadensável encurtou a construção do ancoradouro em 20% do período estimado, passando de 2,5 para 2 anos de obras. A Figura 3 apresenta a construção praticamente concluída de um dos ancoradouros da ponte Akashi-Kaikyo.



Figura 3: Ancoragem da ponte Akashi-Kaikyo

Fonte: OKAMURA, 2003

Ainda no Japão, o CAA teve participação na execução de grandes tanques para gases liquefeitos, a exemplo do construído em Ozaka. Os materiais utilizados foram: fíler calcário e o agregado graúdo com diâmetro máximo de 20 mm. Com o uso do CAA, houve redução de quatro

meses no tempo previsto para execução da obra e o número de trabalhadores que era de 150, pôde ser reduzido para 50 (PETERSON apud LISBÔA 2004).

No Japão, o CAA foi bastante aplicado em construções de túneis, com destaque para um construído em Yokohama (Figura 4), que apresenta três metros de diâmetro e um quilômetro de comprimento. A opção pelo uso do CAA foi atribuída à grande quantidade de armaduras do túnel, onde as duas camadas de aço protendido foram preenchidas com este material (TAKEUCHI et al., 1994).

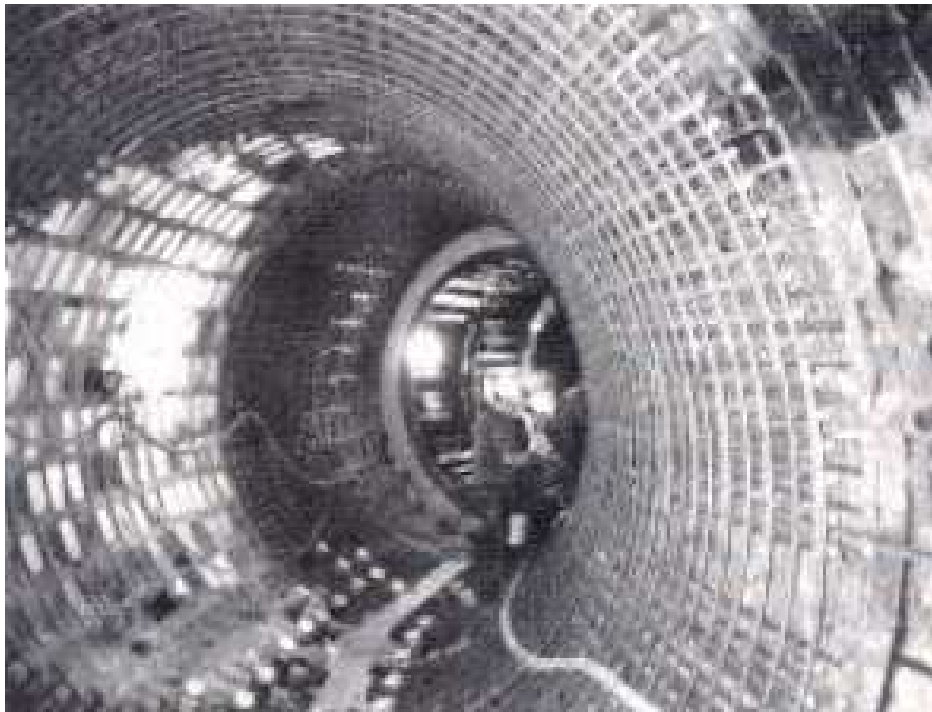


Figura 4: Túnel em Yokohama, Japão

Fonte: TAKEUCHI et al., 1994

Por fim, outro exemplo, agora no Brasil, ocorreu na década de 1980, em Goiânia, no Shopping Flamboyant (Figura 5). Nele, cerca de 3.000 m<sup>3</sup> de concreto autoadensável foram utilizados no reforço de algumas fundações e pilares de concreto já existentes. Esse concreto também foi escolhido para proporcionar maior velocidade na execução das lajes da nova estrutura, composta ainda por pilares e vigas metálicos.



Além da possibilidade de avançar mais rápido no cronograma da obra, em função da maior produtividade propiciada pelo concreto autoadensável, as equipes envolvidas na execução das concretagens, tanto da fornecedora, Realmix, quanto da construtora Toctao, também poderiam ser mais enxutas, já que o produto demanda menos trabalhadores no momento da aplicação.



Figura 5: Shopping Flamboyant em Goiânia

Fonte: Informativo Realmix, 04/2005

Isso garantia, também, uma redução brutal de custos com horas extras de homens que prestavam serviços para a obra. Durante as obras, o shopping continuou funcionando normalmente, o que muitas vezes obriga as equipes a realizar concretagens durante a madrugada, quando o custo da hora extra é maior. Também partindo do ponto de vista técnico, o uso de um material mais fluido tornava muito mais fácil o transporte por bombas a grandes distâncias horizontais, características de shopping centers. Segundo o gerente da Realmix, essas distâncias chegavam a 90 m. A expansão do Flamboyant foi concluída em seis meses (CAINELLI, 2008).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

A pesquisa é de ordem quantitativa, uma vez que diversos traços de concreto autoadensável foram produzidos através de dosagens experimentais e seus resultados tabelados e analisados graficamente. Os ensaios realizados foram: ensaio de abatimento (NBR NM 67), ensaio com Caixa L (EFNARC, 2002) e resistência à compressão (NBR 5739).

#### 3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Tanto a produção como a avaliação dos traços de CAA foi realizada no LEC – Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ. A ordem cronológica da pesquisa seguiu as etapas apresentadas no delineamento programa experimental (Figura 6), apresentado abaixo.

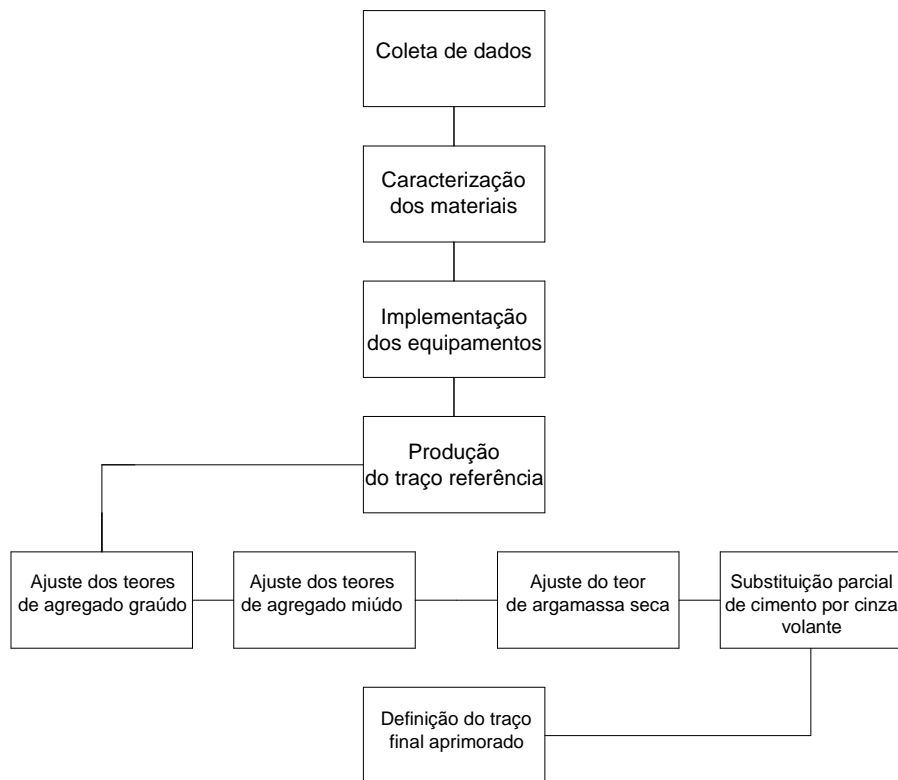


Figura 6: Programa experimental

O volume de concreto para cada traço produzido foi de aproximadamente 40 litros, os quais foram avaliados principalmente no tocante a mobilidade, segregação dos materiais e ainda através dos valores medidos de abatimento, espalhamento, nivelamento e velocidade de escoamento.

### 3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais e equipamentos utilizados nesta pesquisa bem como suas características estão apresentados abaixo.

#### 3.3.1 Aglomerantes

Os aglomerantes utilizados neste estudo foram: cimento CII – F e cinza volante (Figura 7), ambos provenientes da região de Ijuí, coletados de forma a suprir toda a gama de ensaios necessários até o fim do estudo em questão. Seu armazenamento se deu em sacos plásticos fechados, proporcionando assim a conservação das propriedades iniciais e evitando uma possível contaminação dos mesmos.



Figura 7: Aglomerantes utilizados - a) Cimento CII F; b) Cinza volante

As propriedades dos aglomerantes obtidas através de ensaios laboratoriais estão apresentadas na Tabela 1.

| Ensaio                                | Cimento | Cinza |
|---------------------------------------|---------|-------|
| Finura Média (%)                      | 5,09    | 8,00  |
| Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) | 3,08    | 2,06  |
| Flow Table - Fator a/c                | 0,53    | 0,79  |
| Tempo de pega (hrs)                   | 4,36    | -     |
| Grau de pozolanicidade (%)            | -       | 75,00 |

Tabela 1: Resultados dos ensaios laboratoriais referentes aos aglomerantes

### 3.3.2 Agregados graúdos

Os agregados graúdos utilizados neste estudo foram brita 0 e brita 1 (Figuras 8), ambas de origem basáltica, com diâmetro máximo de 19mm, provenientes da região de Ijuí. Estas, após coletadas, foram secas em estufa e, em seguida, depositadas separadamente em padiolas com revestimento plástico. A Figura 9 e a Tabela 2 apresentam respectivamente a granulometria e os resultados de massa específica, massa unitária e absorção para ambos os agregados graúdos obtidos após o término dos ensaios laboratoriais.



a)



b)

Figura 8: Agregados graúdos utilizados – a) Brita 0; b) Brita 1

| Agregado graúdo | Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> ) | Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> ) | Absorção (%) |
|-----------------|--|--------------------------------------|--------------|
| Brita 0         | 2,90                                   | 1,50                                 | 1,40         |
| Brita 1         | 2,94                                   | 1,49                                 | 1,12         |

Tabela 2: Massa unitária, massa específica e absorção dos agregados graúdos

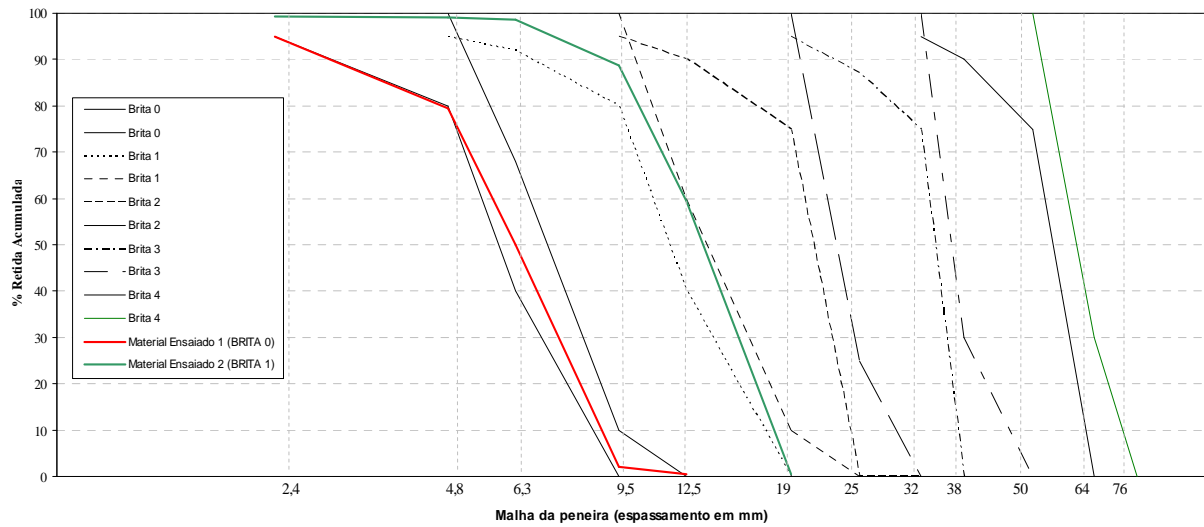


Figura 9: Granulometria dos agregados graúdos

### 3.3.3 Agregados miúdos

Os agregados miúdos utilizados neste estudo foram areias fina e média (Figura 10), extraídas de rio, provenientes da região de Santa Maria – RS, os quais são largamente utilizados em obras de nossa região. Ambas, depois de coletadas, foram secas em estufa e em seguida, depositadas separadamente em padrolas com revestimento plástico. A Figura 11 e a Tabela 3 apresentam respectivamente a granulometria e os resultados de massa específica e massa unitária para ambos os agregados miúdos obtidos após o término dos ensaios laboratoriais.



Figura 10: Agregados miúdos utilizados - a) Areia fina; b) Areia média

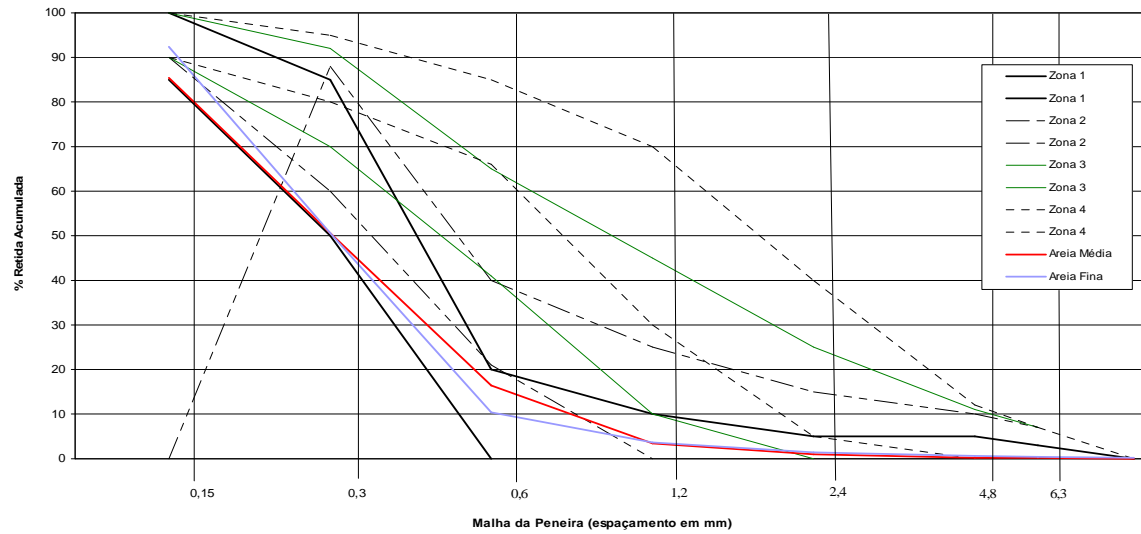


Figura 11: Granulometria dos agregados miúdos

| Agregado miúdo | Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> ) | Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> ) |
|----------------|--|--------------------------------------|
| Areia Fina     | 2,60                                   | 1,63                                 |
| Areia Média    | 2,60                                   | 1,55                                 |

Tabela 3: Massa unitária e massa específica dos agregados miúdos

### 3.3.4 Aditivos

Foram utilizados na produção do CAA dois tipos de aditivo (Figura 12), um superplastificante (reduzidor de água, incorporador de ar e modificador de viscosidade) e um plastificante (reduzidor de água).



Figura 12: Aditivos utilizados

### **3.3.5 Água**

Para a produção dos traços de CAA foi utilizada água proveniente de um poço artesiano localizado no Campus/UNIJUÍ, o qual abastece o LEC – Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí.

## **3.4 TÉCNICAS EXPERIMENTAIS**

Muitos diferentes métodos têm sido desenvolvidos na tentativa de caracterizar as propriedades dos CAA's. Até agora nenhum método ou combinação de métodos alcançou aprovação universal. Sendo assim, cada parâmetro deve ser testado por diferentes tipos de ensaios (EFNARC, 2002).

A seguir encontram-se apresentados os métodos utilizados neste trabalho para a avaliação destes parâmetros.

### **3.4.1 Ensaio com Caixa L**

Este é o ensaio no qual é medida a fluidez do concreto, bem como sua capacidade de transpor obstáculos que estejam em seu percurso, sem que ocorram perdas na coesão. Este equipamento, com formato de L possui uma portinhola, a qual, aprisiona o concreto na parte vertical do aparelho e depois o libera, fazendo com que passe por três barras metálicas verticais, simulando assim, a transposição do concreto através dos obstáculos encontrados em uma obra qualquer, como por exemplo a armadura de uma viga ou de um pilar.

Os espaçamentos entre estas barras não possuem padronização, porém, como descrito em Tutikian (2004), o mais correto seria padronizar apenas a parte fixa do equipamento, enquanto as armaduras seriam escolhidas para cada situação.

#### **Execução do ensaio:**

Inicialmente, deve-se colocar a caixa - L em solo ou piso nivelado e umedecê-la levemente. Logo após, é necessário fechar a portinhola da mesma para então preencher a parte vertical com concreto (para isto, podem ser utilizadas colheres ou conchas para concreto). O

volume de concreto necessário para este ensaio é de aproximadamente 12 litros, os quais, após aberta a portinhola, escoam por entre as barras metálicas atingindo toda a face horizontal da caixa, tendendo ao nivelamento.

Este ensaio fornece a obtenção dos parâmetros T20, T40 (Figura 13) e H2/H1 que são respectivamente, o tempo para o concreto em fluxo alcançar um comprimento horizontal de 20 cm, 40 cm e a relação final entre as alturas do concreto no final do trecho horizontal e a altura do concreto remanescente do trecho vertical da caixa após a abertura da portinhola e o escoamento total do concreto (Figura 14).

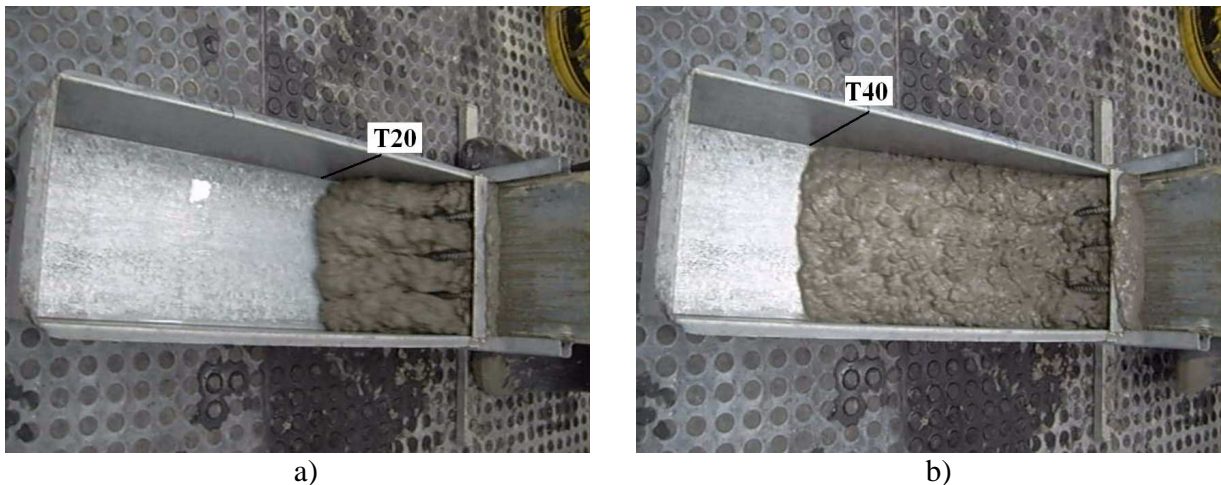


Figura 13: Instante de medição dos parâmetros T20 e T40 - a) Instante de medição do T20; b) Instante de medição do T40



Figura 14: Escoamento total do concreto - a) Nivelamento total do concreto; b) Concreto nivelado entre as barras



Segundo Tutikian (2004) o valor H2/H1 procurado, deve se situar entre 0,80 e 1,00, valor adotado pela maioria dos pesquisadores como indicado na Figura 15, o qual também apresenta as dimensões usuais para este tipo de equipamento. Quanto mais fluida estiver a mistura, mais rápido chegará nas marcas de 20 e 40 cm e mais nivelada terminará. Também se deve observar a movimentação do concreto durante o ensaio, pois se o mesmo este estiver segregando ao passar nos obstáculos, o agregado graúdo irá demorar mais a fluir, enquanto a argamassa do concreto irá chegar primeiro ao final da caixa.

Neste estudo, os parâmetros T20 e T40 foram medidos com o auxílio de uma filmadora digital posicionada a cerca de 1m da caixa. A precisão obtida com a utilização de um software para edição de vídeos foi da ordem de 0,01 segundos.

| REFERÊNCIA                           | MEDIDAS |                     |                     | DIMENSÕES (mm) |     |     |     |     |
|--------------------------------------|---------|---------------------|---------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|
|                                      | H2/H1   | T <sub>20</sub> (s) | T <sub>40</sub> (s) | A              | B   | C   | D   | E   |
| EFNARC (2002)                        | 0,80    | -                   | -                   | 100            | 200 | 600 | 800 | 150 |
| FURNAS (2004d)                       | -       | -                   | -                   | 100            | 200 | 600 | 700 | 150 |
| Gomes (2002)                         | 0,80    | <1                  | <2                  | 100            | 200 | 600 | 700 | 150 |
| Gomes <i>et al.</i> (2003a)          | 0,80    | 0,5-1,5             | 2-3                 | 100            | 200 | 600 | 700 | 150 |
| Araújo <i>et al.</i> (2003)          | 0,80    | -                   | -                   | -              | -   | -   | -   | -   |
| Rigueira Victor <i>et al.</i> (2003) | 0,80    | <1,50               | <3,50               | -              | -   | -   | -   | -   |
| Peterssen (1998 e 1999)              | 0,80    | -                   | -                   | 100            | 200 | 600 | 700 | 150 |
| Barbosa <i>et al.</i> (2002)         | -       | -                   | -                   | 100            | -   | 600 | 700 | 150 |
| Tviksta (2000)                       | 0,85    | -                   | -                   | 100            | 200 | 600 | -   | 150 |
| Coppola (2000)                       | 0,90    | -                   | -                   | 120            | 300 | 600 | 780 | 200 |
| Palma (2001)                         | 0,80    | -                   | 3 a 6               | -              | -   | -   | -   | -   |

Figura 15: Limites de resultados e dimensões para ensaio com Caixa-L, segundo diversas referências

Fonte: TUTIKIAN, 2004

### 3.4.2 Slump flow test

Segundo Tutikian (2004), o slump flow test é utilizado para medir a capacidade do concreto autoadensável de fluir livremente sem segregar. Foi desenvolvido primeiramente no

Japão, para ser usado em concretos submersos. A medida de fluidez a ser obtida do CAA é o diâmetro do círculo formado pelo concreto.

Para concretos convencionais, a trabalhabilidade é medida pela NBR NM 67 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998b): concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – método de ensaio, ou pela NBR NM 68 (ABNT, 1998c): concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. A determinação da consistência do concreto, pelo espalhamento da mesa de Graff, é aplicável para misturas que atinjam o espalhamento mínimo de 350 milímetros, mas limitado ao tamanho da mesa, de 700 milímetros. Pode-se afirmar, a grosso modo, que o slump flow test (Figura 16) é uma adaptação destes dois ensaios, para um concreto excessivamente fluido.



Figura 16: Slump flow test sendo executado – a) Cone de Abrams já preenchido sem compactação; b) Escoamento ocorrido após o içamento do cone

### Execução do ensaio:

Este ensaio consiste em preencher o cone de Abrams até o topo sem qualquer compactação, o qual deverá estar previamente umedecido e apoiado sobre uma chapa metálica nivelada também umedecida. Uma vez preenchido o cone, o mesmo deve ser erguido verticalmente deixando o concreto fluir livremente sobre a superfície da chapa.

Alguns autores apenas avaliam os resultados referentes ao abatimento e espalhamento final do concreto (resultante da média de duas medidas perpendiculares de espraçamento), porém, outros autores avaliam ainda o chamado T50 cm, parâmetro este que se refere ao tempo gasto pelo concreto até alcançar a marca dos 500 mm. As Figuras 17 e 18 descrevem respectivamente, segundo diversas referências, limites máximos e mínimos de resultados para o ensaio de espalhamento e para o parâmetro T50 cm em concretos autoadensáveis.

| REFERÊNCIAS                          | ESPALHAMENTO (mm) |        |
|--------------------------------------|-------------------|--------|
|                                      | MÍNIMO            | MÁXIMO |
| EFNARC (2002)                        | 650               | 800    |
| Gomes (2002)                         | 600               | 700    |
| Gomes <i>et al.</i> (2003a)          | 600               | 750    |
| Araujo <i>et al.</i> (2003)          | 650               | 800    |
| Rigueira Victor <i>et al.</i> (2003) | 600               | 800    |
| Barbosa <i>et al.</i> (2002)         | 550               | 700    |
| Peterssen (1999)                     | 650               | 725    |
| Tviksta (2000)                       | 600               | -      |
| Coppola (2000)                       | 600               | 750    |
| Palma (2001)                         | 650               | 750    |

Figura 17: Limites de resultados para o slump flow test, segundo diversas referências

Fonte: TUTIKIAN, 2004

| REFERÊNCIAS                          | TEMPO (s) |        |
|--------------------------------------|-----------|--------|
|                                      | MÍNIMO    | MÁXIMO |
| EFNARC (2002)                        | 2         | 5      |
| Gomes (2002)                         | 4         | 10     |
| Gomes <i>et al.</i> (2003a)          | 3         | 7      |
| Araujo <i>et al.</i> (2003)          | 2         | 5      |
| Rigueira Victor <i>et al.</i> (2003) | 3         | 6      |
| Peterssen (1999)                     | 3         | 7      |
| Tviksta (2000)                       | 3         | 7      |
| Coppola (2000)                       | 5         | 12     |
| Palma (2001)                         | 3         | 6      |

Figura 18: Limites de resultados para o slump flow test T50 cm, segundo diversas referências

Fonte: TUTIKIAN, 2004

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo estão apresentados os resultados dos ensaios laboratoriais de diferentes traços de concreto autoadensável, os quais, foram produzidos a partir de dosagem experimental com o intuito de aprimorar suas propriedades enquanto material fresco. Para isto, foram utilizadas variações nos teores de ambos os agregados graúdos e miúdos, no teor de argamassa seca e ainda substituições de cimento por cinza volante.

Ainda neste capítulo, podem ser visualizadas as características, propriedades e dimensões dos materiais utilizados na implementação dos equipamentos, os quais, conforme descrito na metodologia, se tornaram indispensáveis para a avaliação dos diversos traços de CAA produzidos.

### **4.1 EQUIPAMENTOS IMPLEMENTADOS**

#### **4.1.1 Caixa - L**

Uma das mais importantes propriedades do CAA é a fluidez, ou seja, a capacidade existente no concreto fresco de fluir por entre obstáculos mantendo a coesão da mistura. Tal parâmetro é medido por vários autores através de um ensaio conhecido como “L – Box Test” ou simplesmente, ensaio com Caixa – L.

Este ensaio apesar de não normatizado no Brasil, tem grande utilização em meio aos produtores e pesquisadores deste tipo de concreto, fato este, que tornou essencial à implementação do equipamento antes mesmo do início dos ensaios laboratoriais deste estudo. A Figura 19 ilustra o modelo e as dimensões utilizadas na implementação da caixa – L.

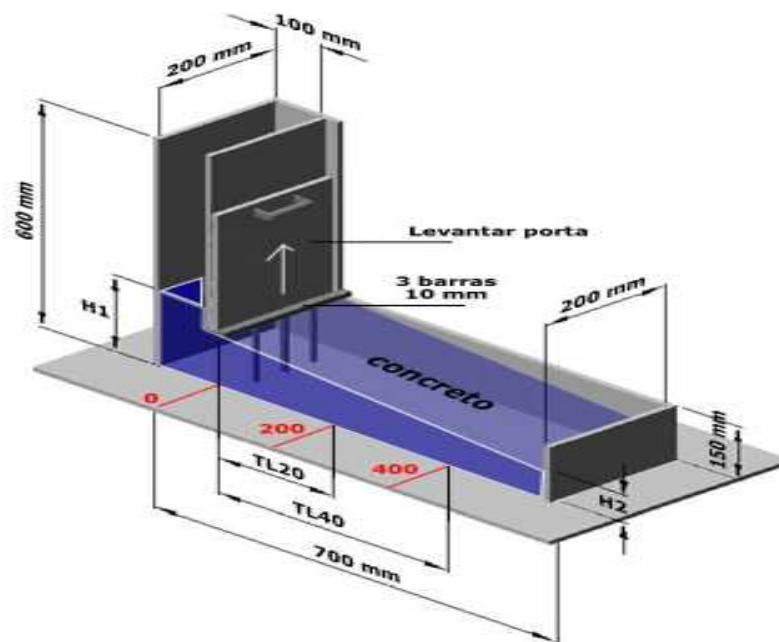


Figura 19: Dimensões da Caixa-L

Fonte: CAVALCANTI, 2006

A seqüência de produção da caixa se deu da seguinte forma: inicialmente, as estruturas vertical e horizontal da caixa foram recortadas em chapa metálica galvanizada. Logo após, as mesmas foram dobradas e soldadas em todas as extremidades (Figura 20).



a)



b)

Figura 20: Sequência inicial de produção – a) Dobra das chapas; b) Estruturas horizontal e vertical da caixa

O próximo passo foi adaptar as canaletas da portinhola à estrutura em formato de L (Figura 21) juntamente com as barras de aço de 10 mm de diâmetro, espaçadas 40,6 mm entre si. Terminado este processo, um perfil metálico (tubo 20 x 30 mm) foi soldado a base da caixa aumentando assim sua estabilidade e evitando o tombamento da mesma durante os ensaios.

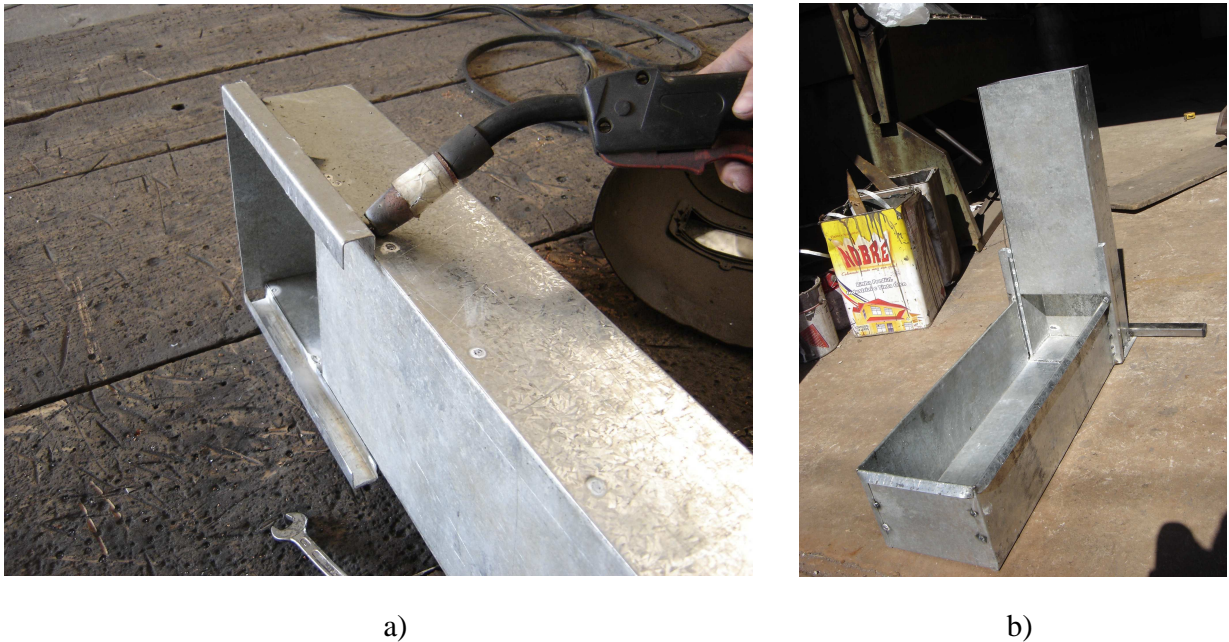


Figura 21: Etapa final da implementação – a) Montagem das canaletas; Perfil metálico já soldado ao fundo da caixa

Já com o corpo todo estruturado, a caixa recebeu a portinhola produzida em chapa de nylon para evitar o atrito com o concreto. O último passo foi a pintura, a qual foi realizada em tinta sintética (cor alumínio) para evitar corrosão nos pontos de corte e dobra das chapas. A Figura 22 ilustra a caixa após o término de todas as etapas de implementação.



Figura 22: Caixa – L implementada

#### ***4.1.2 Chapa para ensaio de abatimento***

O ensaio de abatimento para concretos autoadensáveis é um ensaio bastante simples, o qual é realizado com praticamente as mesmas ferramentas utilizadas no ensaio de abatimento do concreto convencional. Ambos utilizam o Cone de Abrams (NBR NM 67), porém possuem diferenças quanto ao tamanho da base sobre a qual o concreto escoar, que quando utilizada em concretos autoadensáveis necessita de um tamanho de no mínimo 800mm de lado. O tamanho de base usualmente utilizado para CAA's é de 1000 x 1000 mm de lado (TUTIKIAN, 2004). A Figura 23 ilustra o Cone de Abrams e a base metálica implementada (1000 x 1000 mm) em chapa galvanizada para utilização nos ensaios. Além de ter os cantos e pontas esmerilhadas, a mesma recebeu ainda uma alça de forma a facilitar seu içamento e limpeza.



Figura 23: Base metálica implementada para utilização no Slump flow test

#### 4.2 PRODUÇÃO DO TRAÇO REFERÊNCIA

Após implementados todos os equipamentos, tiveram início os trabalhos laboratoriais, onde através de várias tentativas, buscou-se produzir um concreto que agregasse todas as características necessárias de um CAA. Ao todo foram 12 tentativas, nas quais, com o auxílio das bibliografias encontradas, tentou-se alcançar um concreto com um mínimo de 600 mm de espalhamento e 0,8 para o parâmetro H1/H2 obtidos respectivamente através do ensaio Slump flow test e ensaio com caixa – L. O traço utilizado foi 1 : 2 : 2,5 e com exceção apenas dos teores de agregado miúdo e do teor de argamassa, todos os outros parâmetros sofreram variações aleatórias nos proporcionamentos, como pode ser verificado na Tabela 4.

| Traços | Cons. de água (l/m <sup>3</sup> ) | Cons. de cimento (kg/m <sup>3</sup> ) | TA (%) | Brita 1 | Brita 0 | AM  | AF  | SP (%) | P (%) | Espalhamento (mm) | Slump | (H1/H2) |
|--------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------|---------|---------|-----|-----|--------|-------|-------------------|-------|---------|
| L      | 170                               | 350                                   | 53,6   | 60%     | 40%     | 60% | 40% | 0,8    | 0,3   | 300               | 17,0  | -       |
| K      | 234                               | 350                                   | 53,6   | 60%     | 40%     | 60% | 40% | 0,8    | 0,3   | 330               | 19,5  | -       |
| J      | 243                               | 350                                   | 53,6   | 60%     | 40%     | 60% | 40% | 0,8    | 0,3   | 395               | 22,0  | -       |
| I      | 256                               | 350                                   | 53,6   | 60%     | 40%     | 60% | 40% | 0,8    | 0,3   | 430               | 23,0  | -       |
| H      | 270                               | 350                                   | 53,6   | 60%     | 40%     | 60% | 40% | 0,8    | 0,3   | 480               | 25,0  | -       |
| G      | 193                               | 380                                   | 53,6   | 40%     | 60%     | 60% | 40% | 0,9    | 0,3   | 800               | 27,0  | -       |
| F      | 183                               | 400                                   | 53,6   | 40%     | 60%     | 60% | 40% | 0,9    | 0,3   | 600               | 25,0  | -       |
| E      | 190                               | 400                                   | 53,6   | 35%     | 65%     | 60% | 40% | 0,9    | 0,3   | 725               | 24,5  | 0,6     |
| D      | 190                               | 400                                   | 53,6   | 50%     | 50%     | 60% | 40% | 0,9    | 0,3   | 710               | 23,5  | 0,5     |
| C      | 190                               | 400                                   | 53,6   | 20%     | 80%     | 60% | 40% | 0,9    | 0,3   | 690               | 26,0  | 0,7     |
| B      | 190                               | 400                                   | 53,6   | 30%     | 70%     | 60% | 40% | 0,9    | 0,3   | 730               | 26,0  | 0,7     |
| A      | 190                               | 400                                   | 53,6   | 40%     | 60%     | 60% | 40% | 0,9    | 0,3   | 750               | 26,0  | 0,8     |

Tabela 4: Traços testados durante a etapa de produção do traço referência



O traço referência resultante desta etapa foi o traço A, o qual atingiu os parâmetros necessários estabelecidos e permaneceu com a seguinte configuração:

| <b>TRAÇO REFERÊNCIA</b>                        | <b>RESULTADOS</b> |
|--|-------------------|
| Traço  | 1 : 2 : 2,5       |
| Fator a/c                                      | 0,475             |
| Consumo de água ( l )                          | 190               |
| Consumo de cimento (kg)                        | 400               |
| Consumo de cinza volante (kg)                  | 0                 |
| Teor de argamassa seca (%)                     | 53,6              |
| Massa total de agregado graúdo (kg)            | 1032              |
| Brita 0: 60% (Kg)                              | 619               |
| Brita 1: 40% (Kg)                              | 413               |
| Massa total de agregado miúdo (kg)             | 792               |
| Areia média: 60% (Kg)                          | 475               |
| Areia fina: 40% (Kg)                           | 317               |
| P: 0,3% ( l )                                  | 1,2               |
| SP: 0,9% ( l )                                 | 3,6               |
| Teor de ar incorporado (%)                     | 2,00              |
| OBS: Valores para 1m <sup>3</sup> de concreto. |                   |

Quadro 1: Configuração do traço A (traço referência)

#### **4.3 AJUSTE DOS TEORES DE AGREGADO GRAÚDO**

Nesta etapa foram produzidos 7 diferentes traços de CAA com as mesmas características do traço referência. A única diferenciação se deu nas proporções de agregados graúdos, as quais variaram de 20% a 80% para ambos, objetivando assim, encontrar a porcentagem que agregasse ao traço um melhor desempenho nos ensaios realizados. A Tabela 5 apresenta o traço referência (agora com nomenclatura A3), a nomenclatura dos novos traços e as diferentes porcentagens de agregado graúdo utilizadas em sua produção.

| <b>TRAÇOS</b> | <b>Brita 1</b> | <b>Brita 0</b> |
|---------------|----------------|----------------|
| A 1           | 20%            | 80%            |
| A 2           | 30%            | 70%            |
| A 3 (REF)     | 40%            | 60%            |
| A 4           | 50%            | 50%            |
| A 5           | 60%            | 40%            |
| A 6           | 70%            | 30%            |
| A 7           | 80%            | 20%            |

Tabela 5 : Nomenclatura e percentuais de agregado graúdo utilizados na produção dos traços de CAA

Os resultados obtidos nesta etapa após a conclusão dos ensaios laboratoriais de avaliação do concreto fresco estão representados abaixo nas Figuras 24, 25 e 26.

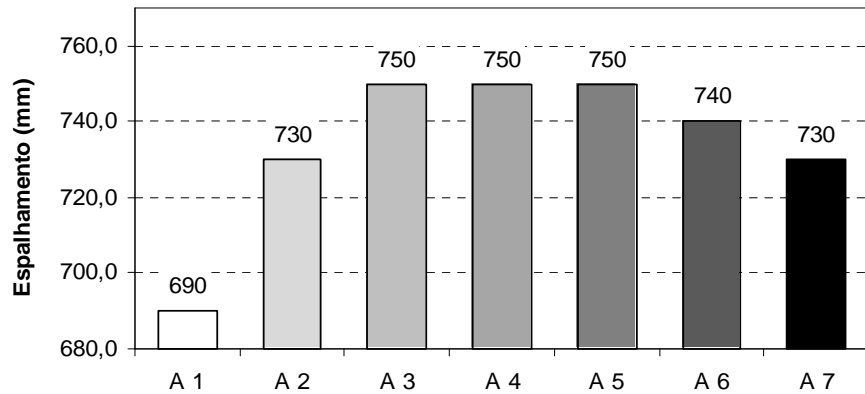


Figura 24: Valores de espalhamento

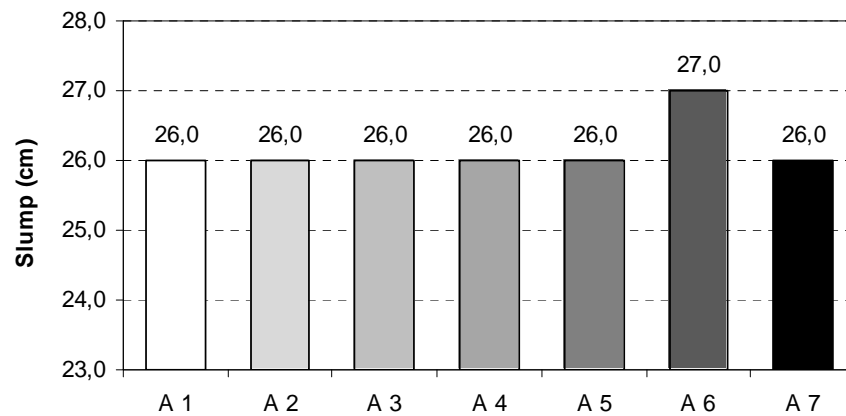


Figura 25: Valores de slump

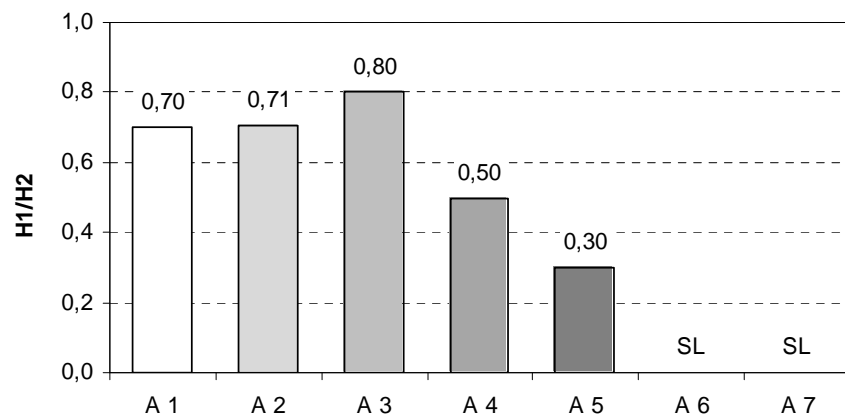


Figura 26: Valores de H1/H2

Ao fim desta, etapa pode-se perceber que os diferentes proporcionamentos dos agregados graúdos de nossa região causaram grande influência na trabalhabilidade dos CAA's produzidos, fato este evidenciado pela ampla variação do parâmetro H1/H2 (Figura 26). Tais variações evidenciaram um único traço que alcançou os parâmetros necessários para ser considerado um CAA, o traço de nomenclatura A3 que, por coincidência, permaneceu com o mesmo proporcionamento do traço referência e portanto com os mesmos resultados nos parâmetros avaliados. Os resultados obtidos para este traço estão apresentados na Tabela 6.

Como descrito no Figura 15, apenas concretos com parâmetros H1/H2 maiores que 0,8 podem ser considerados autoadensáveis, portanto para todos os traços desta etapa com exceção apenas do A3, nenhum parâmetro T20 e T40 teve sua medição realizada. Os parâmetros H1/H2 resultantes dos ensaios com os traços A6 e A7 não puderam ser medidos devido ao fato de que a grande proporção de brita 1 fez com que ambos os traços segregassem acarretando agrupamento de material na parte vertical da caixa, impossibilitando assim uma leitura satisfatória.

| <b>A3</b>         |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>ENSAIOS</b>    | <b>RESULTADOS</b> |
| Espalhamento (mm) | 750               |
| Slump (cm)        | 26                |
| H1/H2             | 0,80              |
| T20 (s)           | 0,48              |
| T40 (s)           | 1,36              |

Tabela 6: Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3

#### **4.4 AJUSTE DOS TEORES DE AGREGADO MIÚDO**

Nesta etapa 7 diferentes traços de CAA foram produzidos com as mesmas características do traço A3 (traço de melhor desempenho escolhido na etapa anterior). A única diferenciação se deu nas proporções de agregados miúdos as quais variaram de 20% a 80% para ambos, objetivando assim, encontrar a porcentagem que agregasse ao traço um melhor desempenho nos ensaios realizados. A Tabela 7 apresenta a nomenclatura dos traços, bem como as diferentes porcentagens de agregado miúdo utilizadas em sua produção.

| TRAÇOS  | AREIA MÉDIA | AREIA FINA |
|---------|-------------|------------|
| A 3 - A | 20%         | 80%        |
| A 3 - B | 30%         | 70%        |
| A 3 - C | 40%         | 60%        |
| A 3 - D | 50%         | 50%        |
| A 3 - E | 60%         | 40%        |
| A 3 - F | 70%         | 30%        |
| A 3 - G | 80%         | 20%        |

Tabela 7: Nomenclatura e percentuais de agregado miúdo utilizados na produção dos traços de CAA

A seguir estão apresentados os resultados obtidos após o término dos ensaios laboratoriais desta etapa, bem como sua análise e interpretação. Cada barra identifica um dos traços produzidos, juntamente com sua nomenclatura e o resultado proveniente do respectivo ensaio.

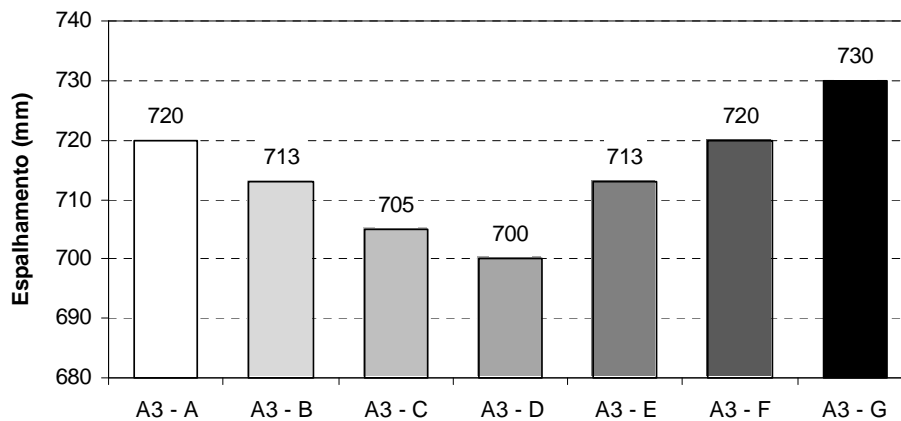


Figura 27: Valores de espalhamento

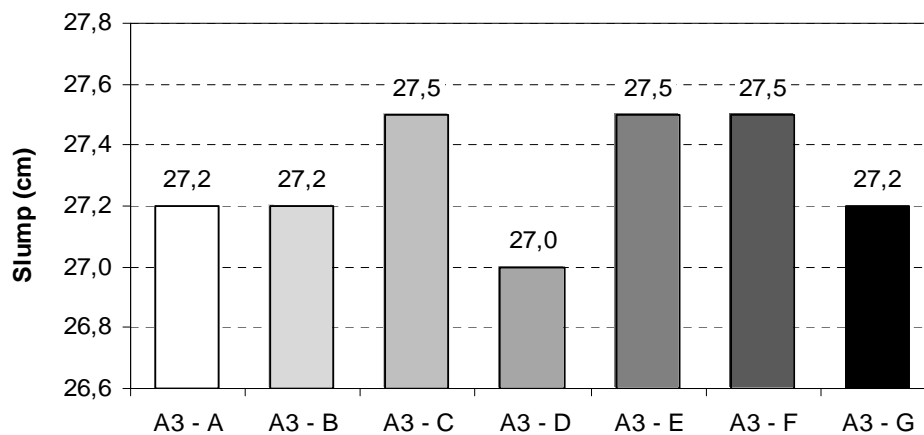


Figura 28: Valores de slump

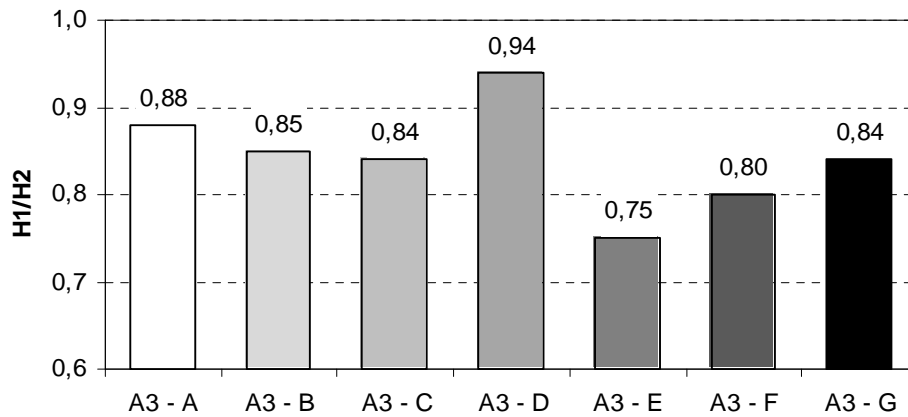


Figura 29: Valores de H1/H2

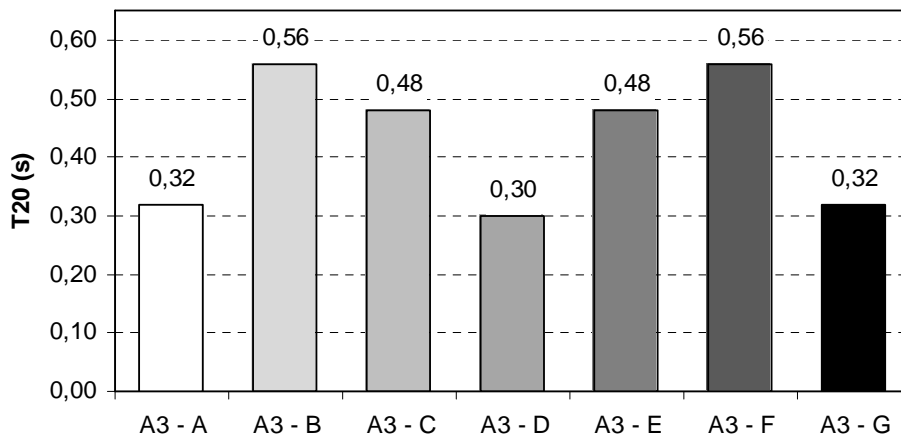


Figura 30: Valores de T20

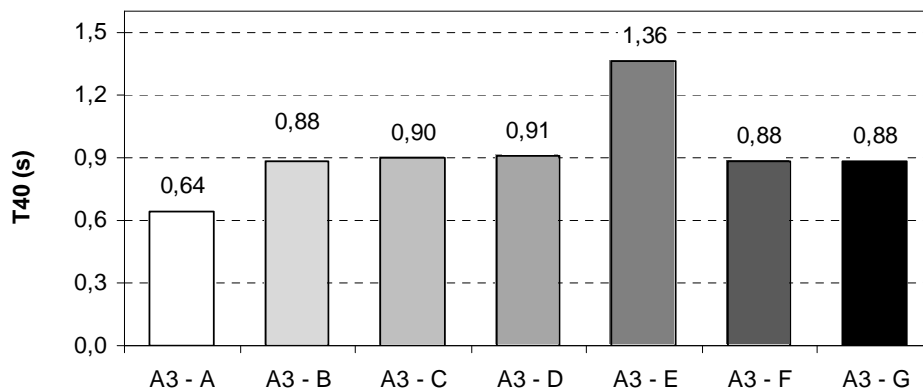


Figura 31: Valores de T40

Ao fim desta etapa pôde-se perceber que devido à semelhança das composições granulométricas das areias de nossa região, utilizadas na produção dos traços, os resultados obtidos para os três ensaios realizados não apresentaram grandes variações, ao contrário dos resultados obtidos na etapa anterior. Porém, apesar de pequenas, as variações nos resultados evidenciaram um traço com fluidez ainda mais acentuada que o traço A3 escolhido na etapa anterior. A Tabela 8 apresenta os valores obtidos após o término dos ensaios laboratoriais realizados com o novo traço de nomenclatura A3 – D, escolhido para dar continuidade à pesquisa.

| <b>A3 - D</b>     |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>ENSAIOS</b>    | <b>RESULTADOS</b> |
| Espalhamento (mm) | 700               |
| Slump (cm)        | 27                |
| H1/H2             | 0,94              |
| T20 (s)           | 0,30              |
| T40 (s)           | 0,91              |

Tabela 8: Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3 - D

Pode-se perceber, que apesar de apresentar um valor menor de espalhamento, quando comparado ao traço A3, obtido na etapa anterior, o traço A3 – D se destaca pela elevada fluidez identificada pelo alto valor H1/H2, pelos baixos valores de T20 e T40 e ainda pelo alto valor de slump. O valor de espalhamento, ainda que mais baixo que o valor obtido com o traço A3, é perfeitamente aceitável como descreve a Figura 17. Observou-se também que não havia indícios de segregação no traço e que a exsudação se manteve muito baixa.

#### **4.4.1 AJUSTE DO TEOR DE ARGAMASSA SECA**

Nesta etapa 6 diferentes traços de CAA foram produzidos com as mesmas características do traço A3 – D (traço de melhor desempenho escolhido na etapa anterior). A única diferenciação se deu no teor de argamassa seca, o qual foi modificado de um traço para outro, objetivando assim, encontrar o teor que mais benefícios traria ao desempenho do traço nos ensaios realizados. A Tabela 9 apresenta a nomenclatura dos traços, bem como os diferentes teores de argamassa seca testados na produção dos CAA's.

| Traço        | Teor de argamassa seca |
|--------------|------------------------|
| A 3 - D - 50 | 50%                    |
| A 3 - D - 53 | 53%                    |
| A 3 - D - 55 | 55%                    |
| A 3 - D - 57 | 57%                    |
| A 3 - D - 60 | 60%                    |
| A 3 - D - 65 | 65%                    |

Tabela 9: Nomenclatura e teores de argamassa seca utilizados na produção dos traços de CAA

A seguir estão apresentados os resultados obtidos após o término dos ensaios laboratoriais desta etapa, bem como sua análise e interpretação. Cada barra identifica um dos traços produzidos, juntamente com seu respectivo teor de argamassa seca e o resultado proveniente do ensaio realizado.

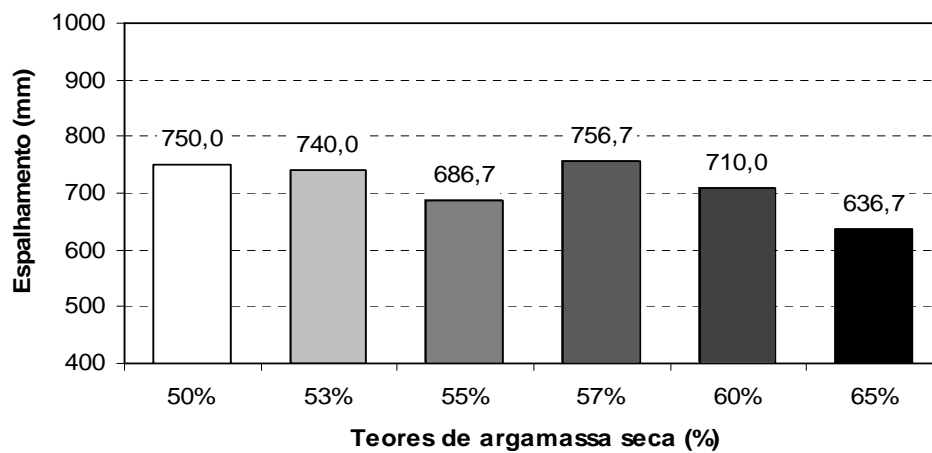


Figura 32: Valores de espalhamento

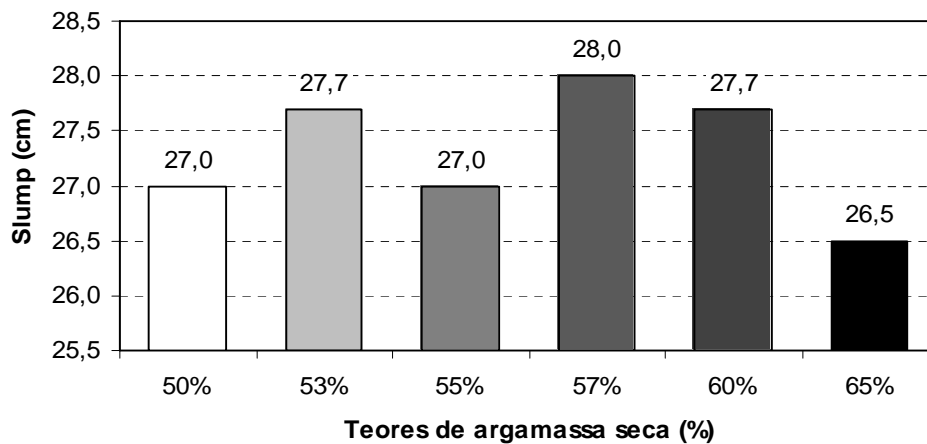


Figura 33: Valores de slump

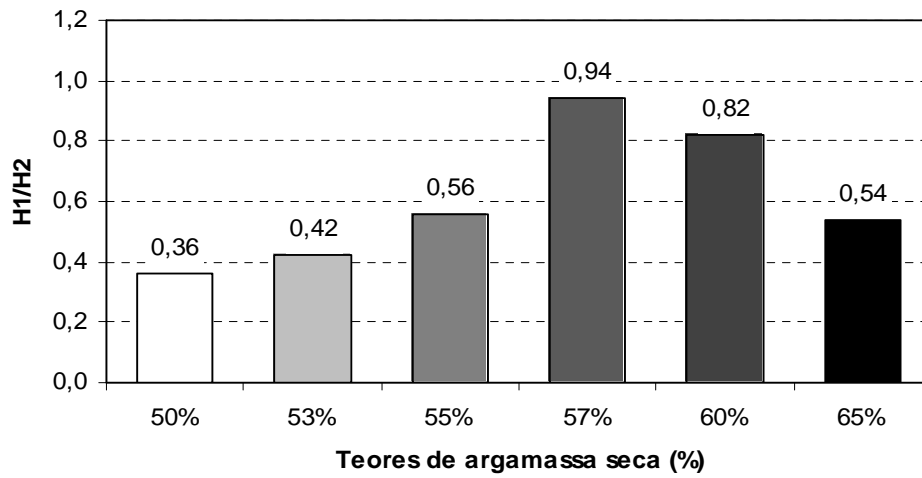


Figura 34: Valores de H1/H2

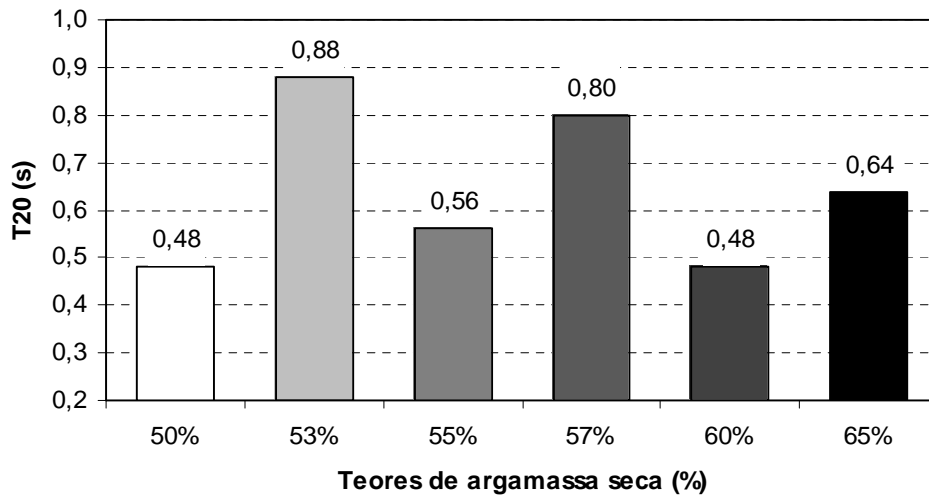


Figura35 Valores de T20

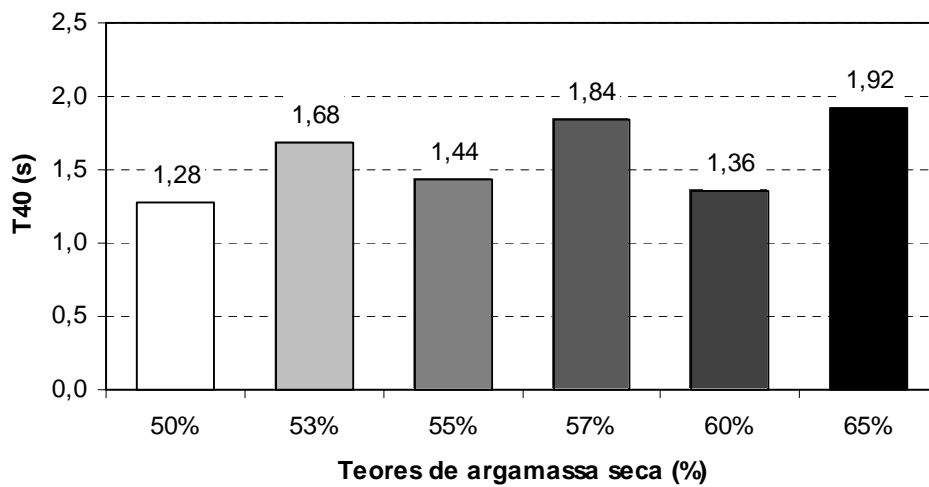


Figura 36: Valores de T40



Ao final dos ensaios percebeu-se que o aumento gradativo do teor de argamassa seca causou variações importantes principalmente no tocante à mobilidade do concreto na caixa medida através do parâmetro H1/H2. O traço mais bem sucedido nesta etapa, evidenciado através dos resultados gráficos, foi o A3 – D – 57, cujos resultados estão apresentados abaixo na Tabela 10.

| <b>A3 - D - 57</b> |                   |
|--------------------|-------------------|
| <b>ENSAIOS</b>     | <b>RESULTADOS</b> |
| Espalhamento (mm)  | 756               |
| Slump (cm)         | 28                |
| H1/H2              | 0,94              |
| T20 (s)            | 0,80              |
| T40 (s)            | 1,84              |

Tabela 10: Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3 – D – 57

Pode-se perceber que este traço alcançou o mesmo parâmetro H1/H2 do traço obtido na etapa anterior, porém percebe-se também, aumentos interessantes no valor do slump e no valor do espalhamento, indicando assim um concreto mais fluído e trabalhável que os anteriores. Os parâmetros T20 e T40 aumentaram consideravelmente quando comparados aos obtidos no traço A3 – D obtido na etapa anterior e como descrito na Figura 18, estes valores são perfeitamente aceitáveis para concretos do tipo autoadensável e estão dentro dos limites estabelecidos por diversos autores.

#### **4.4.2 SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR CINZA VOLANTE**

Nesta etapa 5 diferentes traços de CAA foram produzidos com as mesmas características do traço A3 – D – 57 (traço de melhor desempenho escolhido na etapa anterior). A única diferenciação se deu no teor de substituição de cimento por cinza volante, o qual foi modificado de um traço para outro, objetivando assim, encontrar o teor que mais benefícios traria ao desempenho do traço nos ensaios realizados. A Tabela 11 apresenta a nomenclatura dos traços, bem como os diferentes teores de substituição testados na produção dos CAA's.

| Traço             | Teor de substituição |
|-------------------|----------------------|
| A 3 - D - 57 - 5  | 5%                   |
| A 3 - D - 57 - 10 | 10%                  |
| A 3 - D - 57 - 15 | 15%                  |
| A 3 - D - 57 - 20 | 20%                  |
| A 3 - D - 57 - 25 | 25%                  |

Tabela 10 : Nomenclatura e teores de substituição de cimento por cinza volante nos traços de CAA

A seguir estão apresentados os resultados obtidos após o término dos ensaios laboratoriais desta etapa, bem como sua análise e interpretação. Cada barra identifica um dos traços produzidos, juntamente com seu respectivo teor de substituição e o resultado proveniente do ensaio realizado.

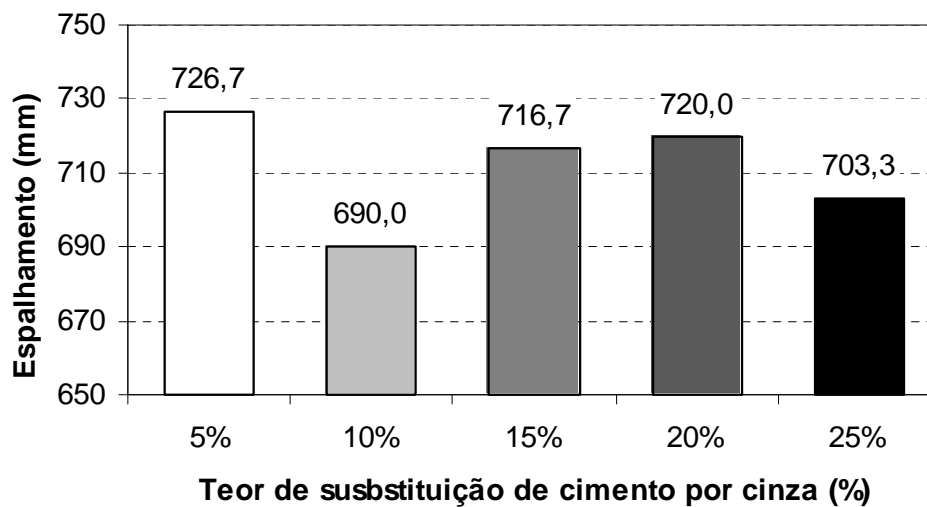


Figura 37: Valores de espalhamento

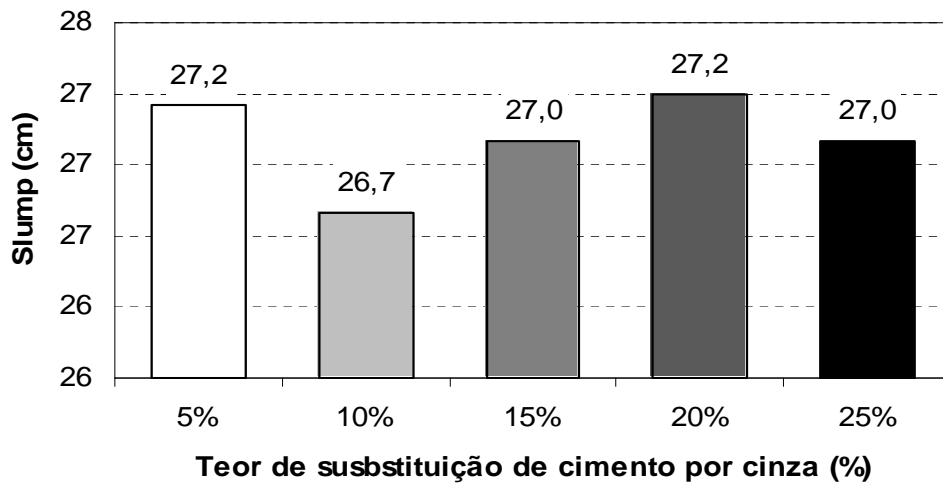


Figura 38: Valores de slump

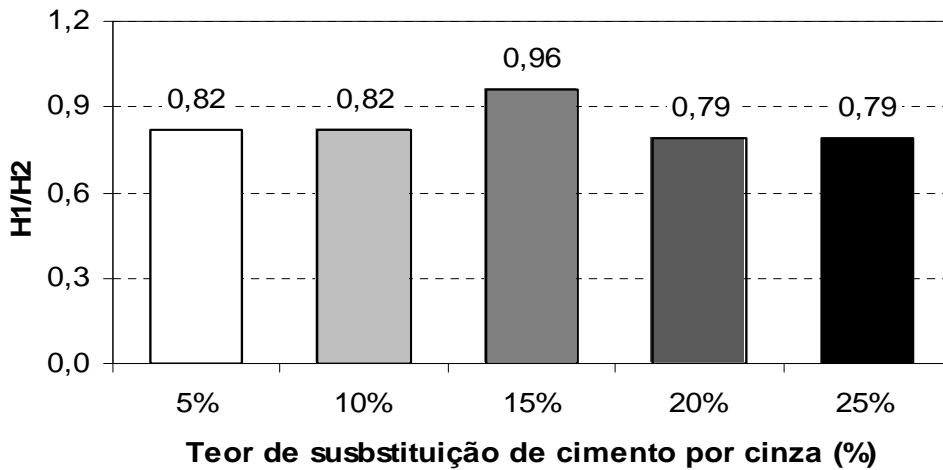


Figura 39: Valores de H1/H2

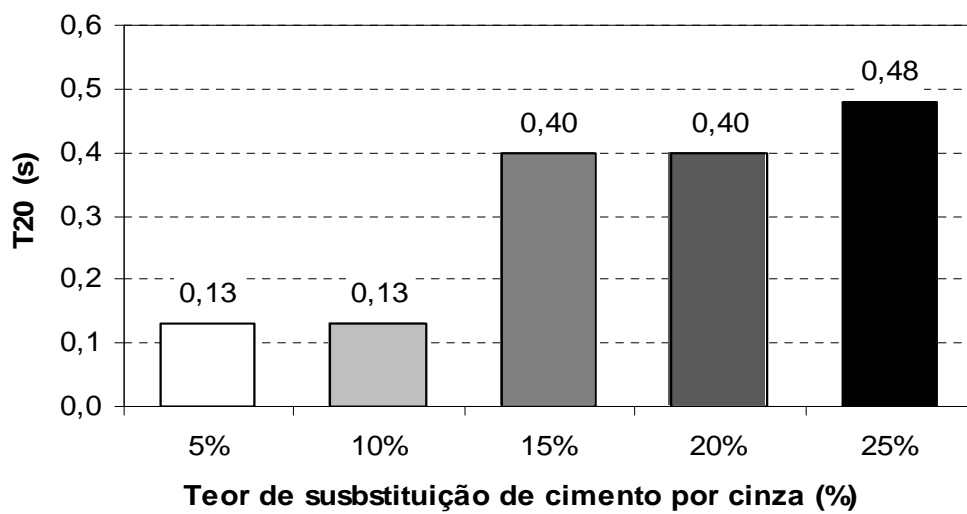


Figura 40: Valores de T20

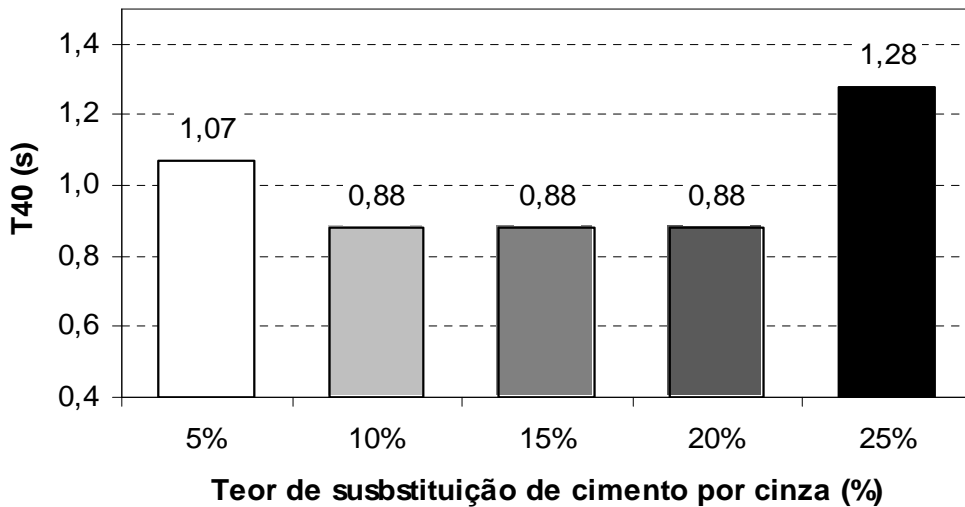


Figura 41: Valores de T40

Ao final desta etapa percebeu-se que substituindo gradativamente o cimento do traço por cinza volante nas porcentagem descritas acima, a velocidade final de escoamento do concreto na caixa – L aumentou consideravelmente, fato este evidenciado claramente pelos baixos valores de T40 apresentados na Figura 41. Observou-se também que o traço A3 – D – 57 – 15 alcançou o mais alto parâmetro H1/H2 de todos os traços produzidos durante a pesquisa (Figura 39), indicando um CAA de alta qualidade, sendo que o mais alto valor possível para este parâmetro é 1, valor este que faz referência ao nivelamento total do concreto no trecho horizontal da caixa.

O traço mais bem sucedido nesta etapa, evidenciado através dos resultados gráficos, foi o A3 – D – 57 – 15, cujos resultados estão apresentados abaixo na Tabela 11.

| <b>A3 - D - 57 - 15</b> |                   |
|-------------------------|-------------------|
| <b>ENSAIOS</b>          | <b>RESULTADOS</b> |
| Espalhamento (mm)       | 716,7             |
| Slump (cm)              | 27                |
| H1/H2                   | 0,96              |
| T20 (s)                 | 0,40              |
| T40 (s)                 | 0,88              |

Tabela 11: Resultados dos ensaios laboratoriais obtidos com o traço A3 – D – 57 – 15

#### 4.4.3 Definição do traço final aprimorado

A Sequência a seguir, compreende todas as etapas realizadas e os traços aprimorados nelas definidos:

- Produção do traço referência Traço escolhido: A
- Ajuste dos teores de agregado graúdo Traço escolhido: A3
- Ajuste dos teores de agregado miúdo Traço escolhido: A3 – D
- Ajuste do teor de argamassa seca Traço escolhido: A3 – D – 57
- Substituição de cimento por cinza volante Traço escolhido: A3 – D – 57 – 15

A configuração do traço escolhido na última etapa, ou seja, o traço que melhor atendeu as características de trabalhabilidade medidas através do ensaios realizados, está disposta a seguir:

| TRAÇO APRIMORADO                               | RESULTADOS  |
|--|-------------|
| Traço  | 1 : 2 : 2,5 |
| Fator a/c                                      | 0,475       |
| Consumo de água ( l )                          | 190         |
| Consumo de cimento (kg)                        | 340         |
| Consumo de cinza volante (kg)                  | 60          |
| Teor de argamassa seca (%)                     | 57          |
| Massa total de agregado graúdo (kg)            | 953         |
| Brita 0: 60% (Kg)                              | 572         |
| Brita 1: 40% (Kg)                              | 381         |
| Massa total de agregado miúdo (kg)             | 862         |
| Areia média: 50% (Kg)                          | 431         |
| Areia fina: 50% (Kg)                           | 431         |
| P: 0,3% ( l )                                  | 1,2         |
| SP: 0,9% ( l )                                 | 3,6         |
| Teor de ar incorporado (%)                     | 2,00        |
| OBS: Valores para 1m <sup>3</sup> de concreto. |             |

Quadro 2: Configuração do traço A3 – D – 57 – 15 (traço final aprimorado)

A Figura 41 apresenta a composição granulométrica resultante do proporcionamento dos agregados miúdos do traço A3 – D – 57 – 15 (AM – 50% e AF – 50%).

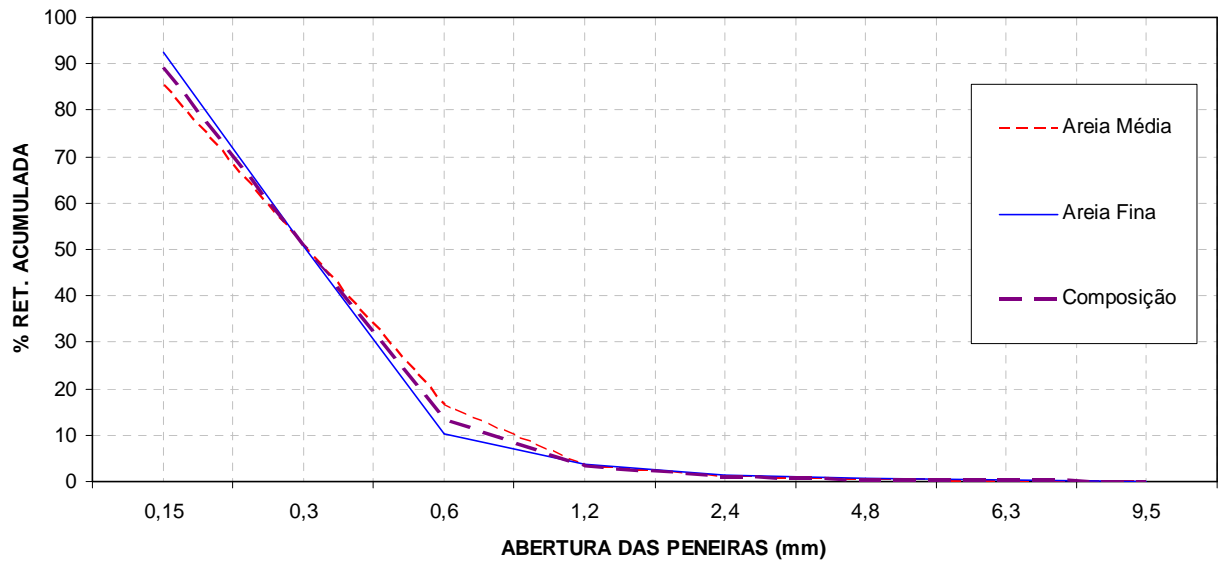


Figura 41: Composição granulométrica dos agregados miúdos (Traço A3 – D – 57 – 15 )

A Figura 42 apresenta a composição granulométrica resultante do proporcionamento dos agregados graúdos do traço A3 – D – 57 – 15 (B0 – 60% e B1 – 40%).

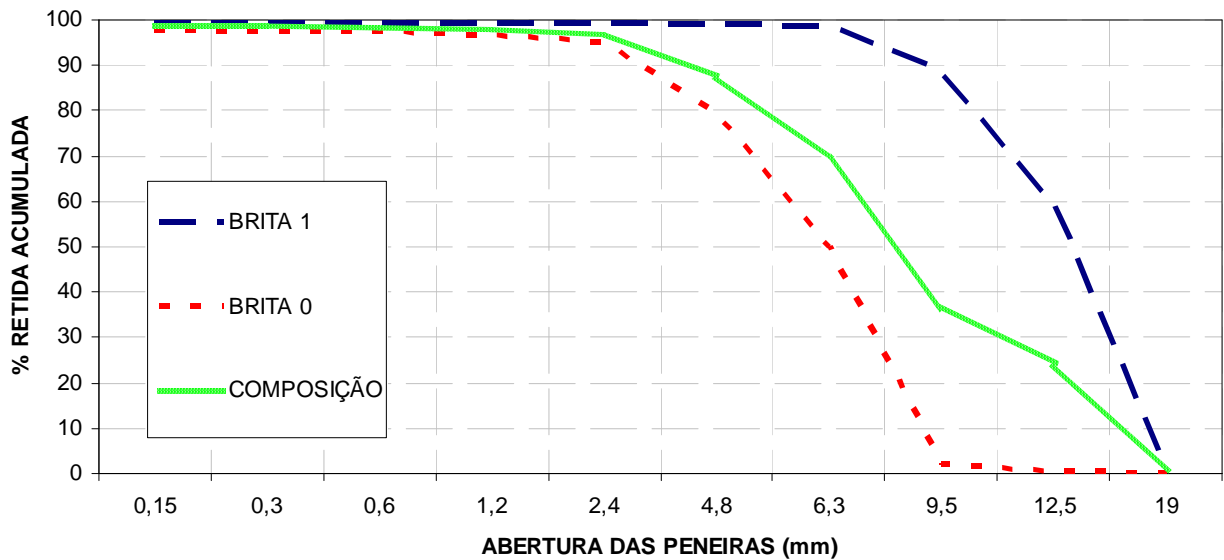


Figura 42: Composição granulométrica dos agregados graúdos (Traço A3 – D – 57 – 15 )

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusão

Considerando o estudo realizado para o desenvolvimento desta pesquisa, cujos objetivos eram: Implementar os equipamentos necessários à avaliação da trabalhabilidade do concreto autoadensável; determinar a melhor proporção entre os agregados graúdos (brita 0 e brita 1), que resultem em melhorias na trabalhabilidade do concreto autoadensável; determinar a melhor proporção entre os agregados miúdos (areia média e areia fina), que resultem em melhorias na trabalhabilidade do concreto autoadensável; determinar o teor de argamassa seca que acarrete mais benefícios a trabalhabilidade do concreto autoadensável; determinar o teor de substituição de cimento por cinza volante que acarrete mais benefícios a trabalhabilidade do concreto autoadensável estabeleceram-se as seguintes conclusões:

- Com relação a implementação e utilização dos equipamentos necessários à avaliação da trabalhabilidade do concreto autoadensável, apesar de pioneira na região, teve sua eficiência comprovada com o decorrer dos ensaios laboratoriais, sendo que em nenhuma das etapas ocorreram falhas devido ao uso ou ao modo com que os mesmos foram implementados.
- Em relação ao proporcionamento dos agregados graúdos (brita 0 e brita 1), observou-se que sua variação causou grande influência na trabalhabilidade dos CAA's produzidos e que para o estudo em questão o melhor proporcionamento, para estes materiais, permaneceu com a seguinte configuração: B0: 60% e B1: 40% da massa total de agregados graúdos do traço.
- Quanto ao proporcionamento dos agregados miúdos (areia média e areia fina), percebeu-se que sua variação desencadeou uma influência bastante branda sobre os resultados laboratoriais, fato este, resultante da semelhança entre as faixas granulométricas de ambas as areias. Observou-se também, que o melhor proporcionamento entre estes materiais

permaneceu com a seguinte configuração: AM: 50% e AF: 50% da massa total de agregados miúdos do traço.

- Observou-se que o aumento gradativo do teor de argamassa seca causou variações importantes principalmente no tocante a mobilidade do concreto na caixa medida através do parâmetro H1/H2. Verificou-se também que o teor de argamassa seca que desenvolveu maior trabalhabilidade no traço foi 57%.
- Sobre a substituição de cimento por cinza volante, percebeu-se que em todas as porcentagens testadas houve um aumento expressivo na velocidade do concreto e que no teor de 15 % para o traço em estudo, a fluidez do concreto se torna muito alta, fato este evidenciado pelo elevado resultado obtido no parâmetro H1/H2.
- Sendo assim pode-se afirmar que é possível, utilizando materiais da região de Ijuí, produzir um traço de concreto autoadensável de alta qualidade e que alie propriedades reológicas de interesse da engenharia.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

- Avaliar o ganho de resistência a longo prazo proporcionado pela adição de cinza ao concreto autoadensável.
- Avaliar as relações de segregação do concreto autoadensável utilizando funil V e tubo U.
- Avaliar a porosidade do concreto autoadensável através de microscopia eletrônica.
- Avaliação das implicações da porosidade na resistência e na durabilidade dos traços de concreto autoadensável produzidos.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.** C1611 / C1611M - 09b.

ARAÚJO, J.L.; BARBOSA, N.P.; DOS SANTOS, S.B; REGIS, P.A. **Concreto autoadensável com materiais locais no nordeste brasileiro.** In: 45º Congresso brasileiro do concreto. CD-ROM, Vitória, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados:** Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Champman. NBR 9775. Rio de Janeiro, 1987. p. 3.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento portland e outros materiais em pó:** Determinação da massa específica. NM 23 . Rio de Janeiro, 1998. p. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland:** Determinação da finura por meio da peneira 75µm (nº 200). MB 3432 . Rio de Janeiro, 1991. p. 3.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland:** Determinação da água da pasta de consistência normal. MB 3433 . Rio de Janeiro, 1991. p. 3.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto:** Amostragem de concreto fresco. NBR NM 33. Rio de Janeiro, 1998 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto:** Determinação da Consistência pelo Espalhamento na Mesa de Graff. **NBR NM 68.** Rio de Janeiro, 1998 c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto:** Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: método de ensaio. NBR NM 67. Rio de Janeiro, 1998 b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos:** Determinação de atividade pozolânica com cimento portland – Índice de atividade pozolânica com cimento. NBR 5752. Rio de Janeiro, 1992. p. 3.

BARBOSA, M.P; BOSCO, A.R.C.; BERTO, R.B.; SALLES, F.M. **Um estudo das características e propriedades do concreto auto-adensável (CAA).** In: 44º Congresso brasileiro do concreto. CD-ROM, Belo Horizonte, 2002.

CAINELLI, L.R. **Levantamento do estado da arte de concreto autoadensável.** 2008. p. 64. Trabalho de conclusão de curso - Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

CAVALCANTI, D.H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** 2006. p. 141. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

COPPOLA, L. **Self-compacting concrete.** In: Concrete Technology, p. 42-47, 2000.

EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **Specification and guidelines for self-compacting concrete.** In: EFNARC. Fevereiro, 2002. p. 1-32.

HO, D.W.S; SHEINN, A.M.M; TAM, C.T. **The use of quarry dust for SCC applications.** In: Cement and Concrete Research, n. 32, p. 505-511, 2002.

KHAYAT, K.H. **Optimization and performance of air-entrained, selfconsolidating concrete.** ACI Materials Journal, v.97, n.5, set/out. 2000, p.526-535.

LISBÔA, E.M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas.** 2004. 115p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

MA, J.; DIETZ, J. **Ultra high performance self compacting concrete.** In: Lacer, n.7, p.33-42, 2002.

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibras de aço.** 2006. p. 142. Dissertação - Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, maio. 2006.

OKAMURA, H; OUCHI, M, **Self-Compacting Concrete,** Japão, 2003, Vol. 1, n. 1, p. 5-15, março. 2003.

OUCHI, M; EDAMATSU, Y. **A simple evaluation method for interaction between coarse aggregate and mortar particles in the self-compacting concrete.** In: International RILEM Symposium on Selfcompacting Concrete, 1, 1999, Stockholm. France: RILEM Publications, 1999, p.121-130.

TAKEUCHI, H.; HIGUCHI, M.; NANNI, A. **Application of Flowable Concrete in a Tunnel Lining.** Concrete International, v.16, n. 4, 1994, p.26-29.

TUTIKIAN, B.F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** Porto Alegre: UFRGS, 2004. Dissertação - Mestrado em Engenharia, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

WATANABE, L.T. **Concreto auto-adensável: Qualidade plástica.** REVISTA TÉCNICA, jul. 2006, nº 111, p. 1-5.