

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS – CAMPUS PALMAS**  
**COORDENAÇÃO DA ÁREA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE**  
**EDIFÍCIOS**

**ANDRÉ SOARES MENDES**  
**JOAQUIM JOSÉ DA SILVA XAVIER**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO PÓ DE QUARTZO NO**  
**ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DO CONCRETO**  
**CONVENCIONAL**

Palmas - TO  
2016

ANDRÉ SOARES MENDES  
JOAQUIM JOSÉ DA SILVA XAVIER

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO PÓ DE QUARTZO NO  
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DO CONCRETO  
CONVENCIONAL

Trabalho de conclusão de Curso  
apresentado à Coordenação da Área de  
Construção Civil como requisito parcial  
para obtenção da conclusão do Curso de  
Tecnologia em Construção de Edifícios do  
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia  
do Tocantins – Campus Palmas.

Orientador: Octaviano Sidinei Furtado  
Co-orientador: Me. Danilo Gomes Martins

Palmas -TO  
2016

ANDRÉ SOARES MENDES  
JOAQUIM JOSÉ DA SILVA XAVIER

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO PÓ DE QUARTZO NO  
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DO CONCRETO  
CONVENCIONAL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como cumprimento às exigências legais do currículo do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios pela Coordenação da Área de Construção Civil no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas.

Palmas, \_\_\_\_\_ de 2016.

---

Prof.Esp.Octaviano Sidinei Furtado  
Supervisor do Trabalho de Conclusão de Curso

Banca Examinadora:

---

Prof.Esp.Octaviano Sidinei Furtado  
Presidente e Orientador

---

Prof. Me. Danilo Gomes Martins  
Co-orientador e Membro da Banca Examinadora

---

Prof. Me. Adriano dos Guimarães  
Membro de Banca Examinadora

---

Prof. Me. Adriana S.A. Monteiro  
Membro de Banca Examinadora

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, e todos nossos familiares, colegas de turma e professores que com seus talentos especiais contribuíram para mudanças significativas em nossas vidas.

Aos professores Danilo Gomes Martins, Octaviano Sidinei Furtado e Thiago Dias que nos acolheu na hora que mais precisávamos, pelos seus conhecimentos e grande auxílio na concretização desse trabalho.

## RESUMO

O concreto é o material de construção mais utilizado do mundo por isso tem sido alvo de variados tipos de estudos e análises, tornando-o um dos principais materiais na construção civil. Seja para reduzir o consumo, aumentar resistência, evitar desperdícios ou economizar no orçamento, o concreto é o material que mais permite mudanças e adequações no seu preparo. O estudo executado possibilitou a avaliação da adição do pó de quartzo industrializado nas características do concreto convencional em seu estado fresco e endurecido. No estado fresco pode-se observar que quando maior a adição de pó menor foi a trabalhabilidade do concreto, ou seja dependendo do tipo de aplicação para este concreto algumas precauções deverão ser tomadas como por exemplo um uso de um aditivo superplastificante ou a mudança de fator água/cimento para água/aglomerante. Já em seu estado endurecido foram ensaiados corpos de provas à resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias e a resistência a tração por compressão diametral, e foi possível observar aumentos de resistência de quase 25% em relação ao traço de referência deste trabalho.

Palavras-chave: Adição de quartzo, concreto convencional, resistência a compressão.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Pirâmides do Egito.....                                                            | 15 |
| Figura 2: Panteão Romano. ....                                                               | 16 |
| Figura 3: Tipos de areia quanto às dimensões.....                                            | 18 |
| Figura 4: Britas de dimensões variadas.....                                                  | 18 |
| Figura 5: Lascas de quartzo natural coordenada por verificação visual. ....                  | 23 |
| Figura 6: Pó de Quartzo .....                                                                | 28 |
| Figura 7: Gráfico com resultados de Slump. ....                                              | 30 |
| Figura 8: Slump Teste do traço com adição de 20% de pó de quartzo.....                       | 31 |
| Figura 9: Evolução da resistência à compressão.....                                          | 33 |
| Figura 10: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 7 dias.....  | 33 |
| Figura 11: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 28 dias..... | 34 |
| Figura 12: Corpo de prova após ensaio de tração por compressão diametral.....                | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Características físicas da areia.....                                                                           | 26 |
| Tabela 2: Características físicas da brita.....                                                                           | 27 |
| Tabela 3: Dosagem do traço de referência T-0 .....                                                                        | 29 |
| Tabela 4: Slump Teste em Relação ao teor de adição de pó de quartzo. ....                                                 | 30 |
| Tabela 5: Resistência à compressão axial aos 7 dias.....                                                                  | 32 |
| Tabela 6: Resistência à compressão axial aos 28 dias. ....                                                                | 32 |
| Tabela 7: Resistência à tração por compressão diametral em função da adição de<br>Quartzo.....                            | 35 |
| Tabela 8: Valores de abatimento recomendados pelo ACI. ....                                                               | 36 |
| Tabela 9: Valores de abatimento dos traços estudados e intervalo de abatimento<br>recomendado para peças estruturais..... | 36 |
| Tabela 10: Avaliação da Influência da Adição do pó de quartzo na resistência a<br>compressão do CCV .....                 | 36 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| m <sup>3</sup>   | metros cúbicos               |
| mm               | milímetros                   |
| g                | gramas                       |
| cm <sup>2</sup>  | centímetros quadrado         |
| min              | minuto                       |
| %                | por cento/porcentagem        |
| pol <sup>2</sup> | polegadas ao quadrado        |
| a/c              | relação água cimento         |
| H                | relação água/materiais secos |

## SUMÁRIO

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                        | 10 |
| 2. PROBLEMA .....                                          | 12 |
| 3. OBJETIVOS .....                                         | 12 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL .....                                   | 12 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                            | 12 |
| 4. JUSTIFICATIVA.....                                      | 13 |
| 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                             | 14 |
| 5.1 CONCRETO.....                                          | 14 |
| 5.2 HISTÓRIA DO CIMENTO .....                              | 15 |
| 5.3 AGREGADOS.....                                         | 16 |
| 5.3.1 Definição .....                                      | 17 |
| 5.3.2 Origem .....                                         | 17 |
| 5.3.3 Dimensões .....                                      | 17 |
| 5.3.4 Obtenção dos agregados graúdo naturais .....         | 18 |
| 5.3.5 Propriedades dos agregados de densidade normal ..... | 19 |
| 5.4 QUARTZO.....                                           | 19 |
| 5.4.1 Regularidade e Composição.....                       | 19 |
| 5.4.2 Qualidades elásticas do quartzo .....                | 20 |
| 5.4.3 Eventos Geológicos.....                              | 21 |
| 5.4.4 Exploração do quartzo .....                          | 22 |
| 5.4.5 Beneficiamento.....                                  | 22 |
| 5.4.6 Uso e Desempenhos .....                              | 24 |
| 6. METODOLOGIA.....                                        | 25 |
| 6.1 Sequência de execução do trabalho.....                 | 25 |
| 6.2 Materiais utilizados e suas propriedades .....         | 26 |
| 6.2.1 Cimento .....                                        | 26 |
| 6.2.2 Areia.....                                           | 26 |
| 6.2.3 Brita.....                                           | 27 |
| 6.2.4 Pó de Quartzo .....                                  | 28 |
| 6.3 Dosagem do Concreto .....                              | 28 |
| 6.3.1 Traço de Referência.....                             | 29 |
| 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                            | 30 |
| 7.1 Abatimento do tronco de cone (Slump Test) .....        | 30 |
| 7.2 Ensaios de Resistência.....                            | 31 |
| 7.2.1 Resistência à Compressão Axial.....                  | 31 |
| 7.2.2 Resistência à tração por Compressão diametral.....   | 35 |
| 8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....      | 36 |
| 8.1 Conclusões.....                                        | 36 |
| 8.2 Sugestões para trabalhos futuros.....                  | 37 |
| 9. REFERÊNCIAS.....                                        | 38 |

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é hoje o segundo produto mais consumido no mundo. Projeções otimistas presumem que o material possa ocupar o primeiro lugar a partir de 2025, superando a geração de água potável. No Brasil, não é diferente. Por isso, a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) encomendou a mais ampla pesquisa sobre o mercado nacional do concreto. O estudo, coordenado pela e8 Inteligência e pela UBM Brazil, coletou dados do período entre 2005 e 2012 para projetar tendências do setor nos próximos anos. Uma delas é que o concreto dosado em central definitivamente está incorporado ao dia a dia da construção civil brasileira. Em sete anos, seu consumo cresceu 180%.

Em 2012, por exemplo, as concreteiras instaladas no país produziram 51 milhões de m<sup>3</sup>, revela a pesquisa. “O concreto preparado em centrais cresce a uma taxa superior ao crescimento da construção civil porque seus sistemas construtivos têm ganhado a preferência dos construtores e porque tem caído o número de obras que rodam concreto sem o uso do serviço das concreteiras”, afirma Valter Frigieri, diretor de mercado e planejamento da ABCP, detectando nesta tendência uma mudança cultural dos construtores – hoje mais focados em sistemas construtivos racionais. A ponto de o estudo demonstrar que, em 2012, 20,7% de todo o cimento produzido no país foi consumido pelas concreteiras.

Segundo Pedroso (2009):

” o concreto é material construtivo amplamente disseminado. Podemos encontrá-lo em nossas casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, até em plataformas de extração petrolífera móveis. Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Ibero Americana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. ”

Diante da afirmação de Pedroso (2009), observa-se que o concreto tem sido amplamente utilizado no mundo, por ser um material moldável podendo assumir diversas formas geométricas, característica que ajuda muito na sua utilização, tornando-o um material tão utilizado e disseminado no mundo, por isso a importância de se pesquisar sobre este tema.

O pó de quartzo vem sendo utilizado e pesquisado com grande frequência em concretos de pós reativos (CPR), um material que ainda não tem sido utilizado em larga escala, sendo escolhido apenas para obras muito especiais, com isso o presente trabalho tem como objetivo testar a sua influência no concreto convencional, pois este tem sido utilizado com grande frequência em nossas obras mundo e no Brasil.

O CPR é um concreto que utiliza-se pós reativos como sílica ativa e pó de quartzo com granulometria inferior a  $37\mu\text{m}$ , no CPR a união de um cimento fino com pós reativos (Sílica e Quartzo), juntamente com o agregado miúdo com dimensões inferiores que 1,2 mm conseguimos atingir resistências de 200 a 800 MPa, com isso no CPR é retirado o agregado graúdo pois nossas rochas comumente utilizadas como granito e basalto alcançam apenas resistências medias de 70 a 250 Mpa.

## **2. PROBLEMA**

Qual a influência da adição do pó de quartzo na resistência a compressão do concreto convencional?

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a influência da adição do pó de quartzo na resistência a compressão de um concreto convencional.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a influência da adição do pó de quartzo no estado fresco do concreto através do ensaio de slump teste;
- Verificar a ação dos teores de 5%, 10 e 20% do pó de quartzo adicionados ao concreto convencional em função da massa do cimento;
- Aferir a influência da adição do pó de quartzo na resistência à compressão do concreto convencional aos 7 e 28 dias de idade;
- Aferir a influência da adição do pó de quartzo na resistência à tração por compressão diametral;

#### 4. JUSTIFICATIVA

Segundo Isaia (2011), as adições minerais normalmente utilizadas são resíduos provenientes de outras indústrias, que seriam normalmente descartadas em grandes quantidades em locais impróprios, gerando o risco de contaminação do solo e fontes de água. De acordo com Sjöström *apud* Isaia (2011), o setor da construção é o maior consumidor individual de recursos naturais, utilizando entre 20% e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade.

A grande influência da adição do pó de quartzo é a redução da porosidade. Se trabalharmos com a adição de um pó de quartzo com tamanho médio de 30  $\mu\text{m}$ , substituindo uma fração da areia convencional, podemos reduzir em até 15% os espaços vazios do concreto, VANDERLEI (2004). Se ao invés disso, trabalharmos com uma mistura de pós, entre 100 e 10  $\mu\text{m}$ , pode-se reduzir ainda mais a porosidade, reduzindo em até 30% a porosidade do concreto. Uma das consequências de uma porosidade menor é a melhor distribuição das tensões na microestrutura do concreto, aumentando sua resistência à compressão axial.

O quartzo é relativamente um dos minerais mais profusos da crosta terrestre. Possui estrutura cristalina trigonal composta por tetraedros de sílica (dióxido de silício,  $\text{SiO}_2$ ). O Brasil detém as maiores e melhores reservas do mundo, porém sua participação nesse segmento é reduzida devida à falta de domínio de tecnologias avançadas nessa área.

O mercado de construção civil foi o setor que mais se desenvolveu na última década, conseqüentemente, as demandas por técnicas mais eficientes e tecnológicas no setor foram intensamente demandadas. Considerando a demanda do setor e a possibilidade de gerar uma destinação mais nobre de rejeitos de quartzo dos garimpos de Cristalândia, propõe-se que o pó de quartzo seja adicionado ao concreto convencional, analisando assim sua influência podendo assim dar um destino aos rejeitos de quartzo.

## **5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1 CONCRETO**

Conforme descrito por Mehta; Monteiro (1994), o concreto é um dos materiais de construção mais antigos. No Egito já se empregava a argamassa com função e composição parecidas com a de um concreto na construção das estruturas das pirâmides e das sepulturas onde a mesma servia como material responsável pela junção das peças. O concreto é um material que ao longo do tempo apresenta variações significativas de suas propriedades. Variações das quais apresentam velocidades individualizadas ao longo da vida.

No concreto a máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, devido ao alto custo do cimento, faz-se a junção de outros materiais, chamados de agregados, em que, para uma dada resistência e uma dada consistência, há uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/grauído) que minimiza a quantidade de pasta. Seu desempenho depende das propriedades das matérias-primas, e das quantidades combinadas e empregadas na sua composição e produção (ISAIA, 2011).

As características do concreto dependem do seu estado físico. No seu estado fresco, um atributo importante é a trabalhabilidade, responsável por facilitar sua aplicação. Já no estado endurecido, a durabilidade, permeabilidade e, principalmente, a resistência são suas principais características

## 5.2 HISTÓRIA DO CIMENTO

A palavra cimento deriva do latim *caementum*, que significa união. O cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico constituído de óxidos (cálcio, silício, ferro e alumínio) que em contato com a água tem a capacidade de endurecer. A ASTM C 150 define Cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfatos de cálcio como um produto de adição.

Uma das mais antigas, ou talvez as mais antigas, evidências de uso de cimento se encontra nas pirâmides do Antigo Egito (Figura 1). Nesta época eles produziam uma liga formada por uma mistura de gesso calcinado. Mais adiante, os romanos e os gregos começaram a utilizar um material obtido da queima de um gesso composto de calcário e cinzas vulcânicas, e este era misturado com areia e cacos de telhas. Essa argamassa foi utilizada em construções que existem até os dias atuais. Um exemplo de construção romana, que resiste até hoje é o Panteão (Figura 2), que foi construído em 27 a.C.



Figura 1: Pirâmides do Egito

Fonte: Site [www.historiadomundo.com.br](http://www.historiadomundo.com.br)



Figura 2: Panteão Romano.

**Fonte:** Associação Brasileira de Cimento Portland.

### 5.3 AGREGADOS

O agregado, um dos ingredientes mais importantes na elaboração da dosagem de concreto. Sobretudo porque aproximadamente 70 a 80% do volume do concreto é composto por agregados, o que torna o custo mais baixo por unidade de volume, devido os mesmos serem de menor custo que o cimento. A atuação dos agregados é de forma decisiva em certas propriedades, entre as quais: redução de retração na pasta do cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhoria na trabalhabilidade entre outros (NEVES, 2009).

A utilização dos agregados deve-se ao fato de que quanto maior a quantidade de agregado menos será o fator água/cimento efetivo, em outros casos, um teor maior de agregado resultaria em menor retração e menor exsudação e, portanto menor dano à aderência entre o agregado e a pasta do cimento e também seriam menores as variações térmicas devidas ao calor de hidratação do cimento. (NEVILLE,1997).

Segundo Neville (1997), a influência do agregado na resistência do concreto não é somente devida a sua resistência mecânica, mas também e significativamente, à sua absorção e às características de aderência. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante fator de resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. Um exemplo que podemos dar a cerca desse conceito é que uma superfície mais áspera como a de partículas britadas, resulta em uma melhor aderência devido ao intertravamento mecânico.

### 5.3.1 Definição

A NBR 9935/2011 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define o agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de concreto e argamassa (NEVES, 2009).

### 5.3.2 Origem

Os naturais de densidade média: serão encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada de agregado: areias de barranco, mina, rios, dunas, e mar, seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solo pedregulhoso (NEVILLE,1997). .

Os naturais de densidade leve: inorgânico celular granulados constituídos da matéria prima por fontes naturais como: pedras pomes, escória vulcânicas ou tufo.

Nota: os agregados pesados não são encontrados na natureza já fragmentados.

Os artificiais de densidade média: são aqueles que a matéria prima necessita ser triturada, trabalhada enfim beneficiada de alguma maneira para chegar a forma das partículas dos agregados miúdos e graúdos em condições apropriadas para utilização em concreto normal. Os mais conhecidos são formados através da moagem a britagem de rocha estáveis (NEVES, 2009).

### 5.3.3 Dimensões

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias quartzosas, os graúdos: seixos rolado, cascalho, britas e os agregados pétreos de grandes grãos de pedras 250 mm, entre 76mm e 250mm, conforme estabelecido especificações da ABNT- NBR- 7211/2009 e 9935/2011.

Os agregados inorgânicos leve, celular granulado, segundo as especificações Brasileira, encontra-se em dois grupos: o grupo I, os miúdos cujos grãos passam pelo menos 98% na peneira de 4,8mm. No grupo II, os graúdos cujos grãos passam pelo menos 90% na peneira de 12,5mm, conforme os limites estabelecidos através da ABNT- NBR- 7213/2013.

Os agregados miúdos de densidade leve, média ou alta são: a areia de origem natural ou artificial resultante do esmagamento a moagem de vermiculita

expandida, rochas estáveis, minério de bário além de outros ou a mistura de todos, cujos grãos passam pelo menos 95% na peneira 4,8 mm conforme NBR-5734, a melhor definição é apresentada nas faixas dos limites granulométricos estabelecidos para agregados miúdos: areia muito fina, fina, média ou grossa, conforme as especificações da ABNT-NBR- 7211/2009 para agregado normal e pesado, quanto aos agregados leve, conforme os limites estabelecidos através da NBR-7213/2013 (NEVES, 2009).



**Figura 3:** Tipos de areia quanto às dimensões.

**Fonte:** Grupo Aleixo.



**Figura 4:** Britas de dimensões variadas.

**Fonte:** Sucess Engenharia.

#### 5.3.4 Obtenção dos agregados graúdo naturais

Pedregulho, seixo rolado ou cascalhado são nomes que poderão ser dados ao agregado graúdo de origem natural médio, que pode ser encontrado na natureza em jazidas de rio formadas no leito, no fundo ou nas margens dos rios, ou nas jazidas de solo, pedregulhos e arenosos na superfície, ou em maior profundidade do terreno. Este tipo de jazida é muito comum nas regiões de cerrados e desertos. Poderá obter cascalho de boa textura, resistente ao desgaste, mas, exige uma

atenção especial com o teor de argila que o material poderá trazer na superfície das partículas.

O fato é que os materiais encontrados, tanto na jazida de rio como na jazida de solo, é retirado da natureza sem sofrer processo de beneficiamento que altere suas características, porque ele já vem fragmentado, isto é, com as suas partículas definidas. O material extraído através da jazida do rio, em alguns casos não necessita passar por tratamento, processo de lavagem, apenas a classificação de tamanho. Quanto ao extraído através da jazida do solo, geralmente precisa passar por um processo mais energético de lavagem para retirar o teor de argila, pó e outras impurezas existentes que vêm envolvidas nas partículas dos grãos. Todos os agregados, sem exceção, antes da utilização deverão ser analisados em laboratório e submetidos à classificação dos limites estabelecidos conforme as especificações da NBR – 7211/2009.

Os agregados graúdos de altas densidades (pesados) não são encontrados na natureza prontos para ser usados. Ao alcance do nosso conhecimento até o momento constatamos que todos os citados necessitaram de beneficiamento para serem utilizados em concreto. Assim sendo, não temos conhecimento de alguma publicação a respeito (NEVES, 2009).

### 5.3.5 Propriedades dos agregados de densidade normal

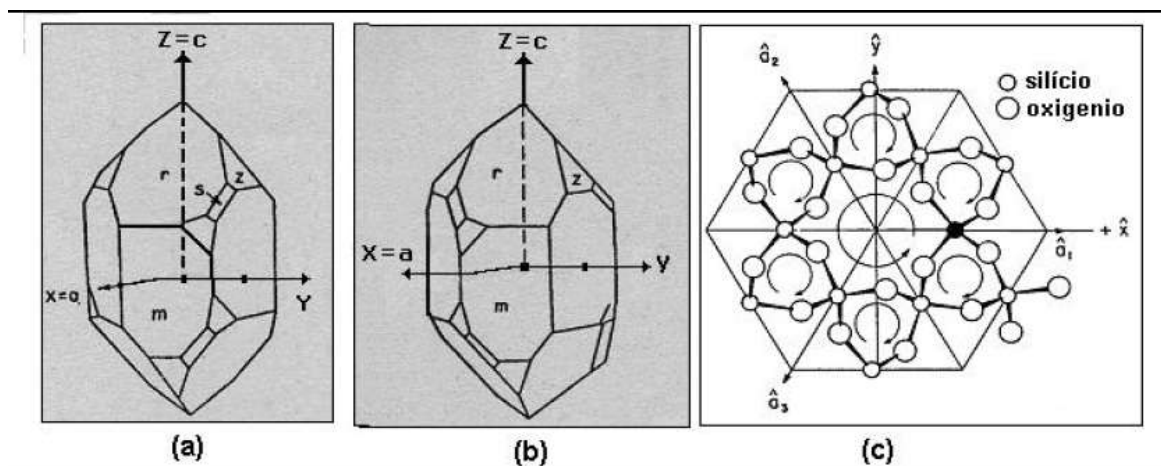
Os agregados naturais de densidade média têm forma de grãos cuboides de superfície arredondada e lisa, apresentam baixos teores de absorção de água ótima trabalhabilidade, em virtude da falta de aspereza e rugosidade dos grãos, se não tomar certos cuidados na dosagem, no manuseio e lançamento, poderá apresentar problemas de aderência na pasta de cimento de água (NEVES, 2009).

## 5.4 QUARTZO

### 5.4.1 Regularidade e Composição

A Figura 5 (c) mostra as possíveis projeções dos átomos de Silício e Oxigênio no plano perpendicular ao eixo projetado no quartzo. É possível observar que a célula unitária do mineral de quartzo possui três átomos propriamente de silício e seis de oxigênio. Os íons Silício têm arranjos tetraédricos, ou seja, eles ocupam os centros dos tetraedros cujos vértices são ocupados pelos íons Oxigênio. A coesão

no interior do tetraedro é garantida por forças Inter atômicas de natureza eletrostática, entre os íons de Silício e Oxigênio confinantes.



**Figura 5** - Quartzo direito (a) e esquerdo (b) com os eixos ortogonais definidos de acordo com a norma IRE (1949) e projeção das posições atômicas no plano basal (0001) (c).

**Fonte:** CETEM (2008).

A Figura 5, apresenta as projeções dos eixos ortogonais do quartzo de acordo com sua estrutura e orientação cristalográfica, possui poucos elementos de simetria, as propriedades físicas do quartzo dependem vigorosamente da orientação cristalográfica devido sua formação ser irregular provocado pelas altas temperaturas na formação geológica.

#### 5.4.2 Qualidades elásticas do quartzo

A dureza do quartzo na escala Mohs é 7,0. É frágil e não possui um plano de clivagem pelo fato de sua estrutura ser uma cadeia tridimensional de tetraedros  $\text{SiO}_4$  interligados. O aspecto morfológico da superfície fraturada do quartzo é tido como conchoidal ou subconchoidal. A anisotropia também se manifesta na dureza e no índice de tenacidade à fratura dos planos cristalinos. O quartzo possui também ampla resistência química. À temperatura ambiente, ele é atacado somente pelo ácido fluorídrico para retirar suas impurezas. Essas propriedades são importantes para a fabricação de ressonadores e sensores porque ela se dá, sobretudo, por processos de usinagem por abrasão (corte, retificação, lapidação, polimento, etc) e por ataque químico (GUZZO 2000).

### 5.4.3 Eventos Geológicos

As principais reservas mundiais de quartzo estão exclusivamente no Brasil, e sendo explorada a grande maioria através da lavra garimpeira e, em menor quantidade, em Madagascar. Cristais menores e lascas também são encontrados em alguns Países como nos EUA, Namíbia, Angola, África do Sul, Ucrânia e Venezuela. Destacam-se ainda as ocorrências de quartzo na cadeia dos Alpes, em particular na Suíça e França. Além do Brasil, cristais hialinos de grandes dimensões foram encontrados apenas em Madagascar. Tais cristais podem pesar até 10 ton.

Cassedanne (1971) classificou as ocorrências de quartzo no território brasileiro da seguinte forma:

- Veios hidrotermais;
- Pegmatitos;
- Drusas em basalto;
- Depósitos eluviais e aluviais.

Peças de alta beleza cristalina e com amplas dimensões são encontradas nos veios hidrotermais cuja localização e descrição morfológica de vários depósitos de quartzo, foi realizado durante a Segunda Guerra Mundial (WWII). Os depósitos localizados entre Sete Lagoas e Montes Claros (MG) e aqueles de Mimoso (BA), Cristalina (GO) e Cristalândia (TO) foram os responsáveis pela maior quantidade de cristal de rocha exportados para os EUA durante a WWII. Trabalhos recentes sobre a tipologia e aspectos mineralógicos dos veios de quartzo da Serra do Espinhaço Meridional (MG) foram realizados por Carvalho (1982).

Além da morfologia dos depósitos e das rochas que compõem o ambiente, a formação dos cristais de admiráveis hialinos ainda não foi investigada do ponto de vista das propriedades termodinâmicas dos cristais, tais como pressão, temperatura da solução hidrotermal e a ação gravitacional. Recentemente, a gênese dos depósitos de quartzo localizados entre Cristalândia e Pium (TO) foi abordada por Marko *et al* (2006). Esse estudo analisou as inclusões fluidas em cristais hialinos com auxílio do micro termometria e espectroscopia Raman.

#### 5.4.4 Exploração do quartzo

A exploração do quartzo natural no Brasil ocorre manualmente, sobretudo em lavras a céu aberto proveniente de lavra garimpeira. As lavras subterrâneas, em quantidade abundantemente menor, ocorrem na forma de poços ou túneis. Em torno de um afloramento, são iniciadas escavações utilizando pás e picaretas ou, quando muito, carregadeiras frontais de pequeno porte. As explorações dos veios hidrotermais ocorrem verticalmente. Uma vez encontrado, a massa de quartzo, constituída por regiões leitosas e hialinas, é removida pela ação mecânica de marretas, martelos e em algumas ocasiões, explosivos, onde as frentes de lavra podem chegar até centenas de metros de comprimento e dezenas de metros de profundidade. Geralmente, a quantidade de quartzo hialino não ultrapassa 1% do total do quartzo explorado (Stoiberet *et al.*, 1945 apud Marko *et al.*, 2006).

Os quartzos dos corpos pegmatíticos são geralmente subprodutos oriundos da exportação de gemas como água-marinha, berilo, topázio e turmalinas. Os pegmatitos são lavrados em subsuperfície, seguindo pequenas escavações de galerias de pequeno porte, abertas com pá e picareta na cobertura de alteração do depósito. As lavras são a céu aberto e concentram-se principalmente em depósitos secundários, em aluviões, colúvios e elúvios e em pegmatitos intemperizados (Ferreira *et al.*, 2005). Atualmente, muitos depósitos de quartzo das regiões produtoras encontram-se desativadas. Marko *et al.* (2006) relatam essa situação para os veios de quartzo nos municípios de Cristalândia e Pium no estado do Tocantins.

#### 5.4.5 Beneficiamento

O quartzo natural é processado em função de sua qualidade, como principais características estão relacionadas ao seu tamanho, da sua transparência visual e da definição de sua morfologia externa, ou seja, da existência de faces naturais perfeitas. Com o propósito de suprir a demanda das indústrias de dispositivos eletrônicos e ópticos, o seu processamento ocorre com duas finalidades, quais sejam: a produção de lascas e o processamento dos monocristais de grandes dimensões. Já no uso como aditivos em concretos, o quartzo é lavado, britado e moído a uma granulometria extremamente fina, nesse caso o beneficiamento é bem simples.

A maior parte do quartzo natural lavrado dos veios hidrotermais destina-se à produção de pequenos fragmentos, onde são conhecidas internacionalmente como “lascas”. De acordo com sua transparência visual, as lascas são classificadas em seis classes: primeira, mista, segunda, terceira, quarta e quinta essas classes variam de acordo com a pureza do quartzo, onde a composição e grau de pureza são analisados para determinar o uso e função que cada um apresenta. Apesar de esta classificação ser meramente subjetiva, ela está associada ao teor de inclusões fluidas (regiões leitosas) e fissuras contidas na peça. Assim, uma lasca de primeira, é aquela que com transparência total, despojada de inclusões e fissuras internas que possam ser observadas a olho nu em ambiente bem iluminado. Para as classes subsequentes, a transparência visual diminui gradativamente, pois o teor de inclusões e fissuras tende a aumentar podendo ser observado visualmente a olho nu (CETEM 2008).

Na Figura 5 constam algumas lascas de quartzo classificadas de acordo com a inspeção visual adotada pelos garimpeiros.



**Figura 5:** Lascas de quartzo natural coordenada por verificação visual.

**Fonte:** CETEM (2008).

O critério visual de classificação das lascas não está baseado em nenhum parâmetro que leve em consideração aspectos como pureza ou perfeição cristalina. As lascas de primeira são usadas na obtenção de sílica vítrea de alta pureza para confecção de vidros especiais e pré-formas de fibras ópticas. As lascas de segunda são destinadas à produção de quartzo cultivado, enquanto que as lascas de terceira, quarta e quinta são hoje usadas na produção de silício grau metalúrgico que, após purificação química, é empregado na produção de fibras ópticas e silício grau

semicondutor. As lascas de transparência inferior também são destinadas a diversas aplicações convencionais como a produção de vidros, tintas anticorrosivas podendo ser beneficiada para agregados miúdos na construção civil e como pós reativos para concretos especiais. (CETEM 2008).

#### 5.4.6 Uso e Desempenhos

Os recursos de quartzo natural são aplicados em diversos segmentos, desde aplicações convencionais, onde, quando muito, o mineral é utilizado diretamente após algum processamento primário, como britagem, moagem, lavagem ou classificação, até as aplicações que requerem um grande aporte de conhecimento tecnológico para processá-lo. Neste item, serão consideradas as aplicações do segundo caso, ainda pouco difundidas nos setores de extração mineral do Brasil e cujo impacto tecnológico e econômico é muito superior. Em particular serão focalizadas a produção de quartzo cultivado e produção de silício e sílica vítrea de alta pureza. As aplicações do quartzo, quartzitos e arenitos visando a produção de vidros (planos, embalagens, tubos e bulbos, tendo uma grande utilidade na fabricação de sílica para adição em concretos especiais e cerâmicas refratárias, porcelanas, fibras de vidro dentre outras funções (CETEM, 2008).

## **6. METODOLOGIA**

### **6.1 Sequência de execução do trabalho**

O trabalho proposto é de caráter experimental, cujos ensaios serão realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas, o qual já dispõem dos equipamentos necessários aos procedimentos a seguir relacionados:

1. Caracterização dos materiais para o cálculo do traço de referência conforme normas pertinentes a cada ensaio de massa específica e unitária, análise granulométrica, sendo todos esses ensaios para agregados.
2. Cálculo do traço de referência pelo método ACI – Seven Steps Method.
3. Definição dos teores de adição do pó de quartzo: 5%, 10% e 20% em função da massa do cimento.
4. Execução do traço de referência (T-0) e dos traços com adição do pó de quartzo T-5, T-10 e T-20.
5. Execução do ensaio de slump teste, conforme a norma NM 67 (1998).
6. Confeção dos corpos de prova conforme a NBR 5738 (2015), sendo 12 corpos de prova para cada traço sendo 6 corpos para rompimento aos 7 dias e 6 para rompimento aos 28 dias .
7. Cura úmida dos corpos de prova até as idades de rompimento, conforme prescrições da NBR 5738 (2015).
8. Determinação da resistência a compressão axial dos corpos de prova conforme a NBR 5739 (2007).
9. Tabulação dos resultados obtidos através de análise estatísticas dos dados.

## 6.2 Materiais utilizados e suas propriedades

Para o desenvolvimento do trabalho foram adotados materiais encontrados na região de Palmas/TO, com exceção do pó de quartzo que veio da cidade de Analândia-SP.

### 6.2.1 Cimento

Foi utilizado o cimento Portland tipo CP-II-Z, fabricado pela Cimentos Planalto – CIPLAN.

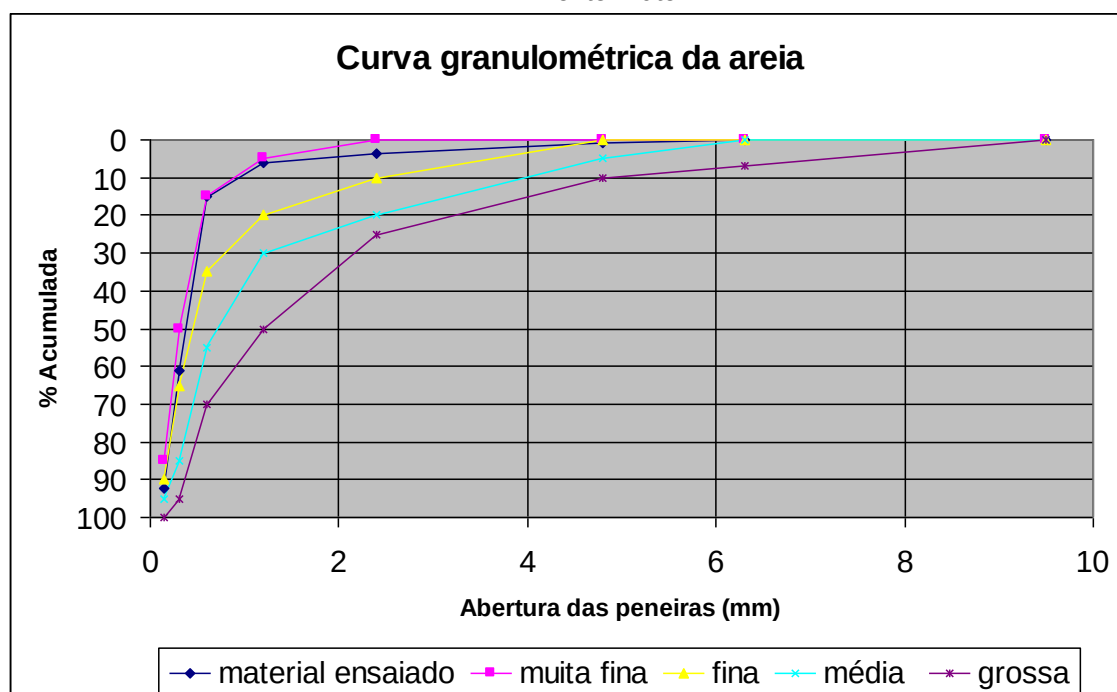
### 6.2.2 Areia

Foi adotada areia da região de Palmas doada pela Castelo Forte Materiais para Construção extraída pela Mineração Capital. Suas características podem ser observadas na tabela 1 e sua curva granulométrica no gráfico 1.

**Tabela 1: Características físicas da areia.**

| Características físicas da areia                 |                        |
|--------------------------------------------------|------------------------|
| Massa específica (NBR NM 52:2009)                | 2660kg/m <sup>3</sup>  |
| Massa unitária (NBR NM 45:2006)                  | 1,42kg/dm <sup>3</sup> |
| Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003) | 2,4mm                  |
| Classificação (NBR 7211:2009)                    | Areia muito fina       |
| Modulo de Finura (MF) (NBR NM 248:2003)          | 1,8                    |

Fonte: Autor.



**Gráfico 1: Curva granulométrica da areia**

Conclui-se que, o módulo de finura caracterizou se em 1,8 uma vez que, a grande concentração de amostra ficou retida entre as peneiras 0,6 e 0,15mm. Configurando areia do tipo muito fina, aprovando o material para dosagem de concreto.

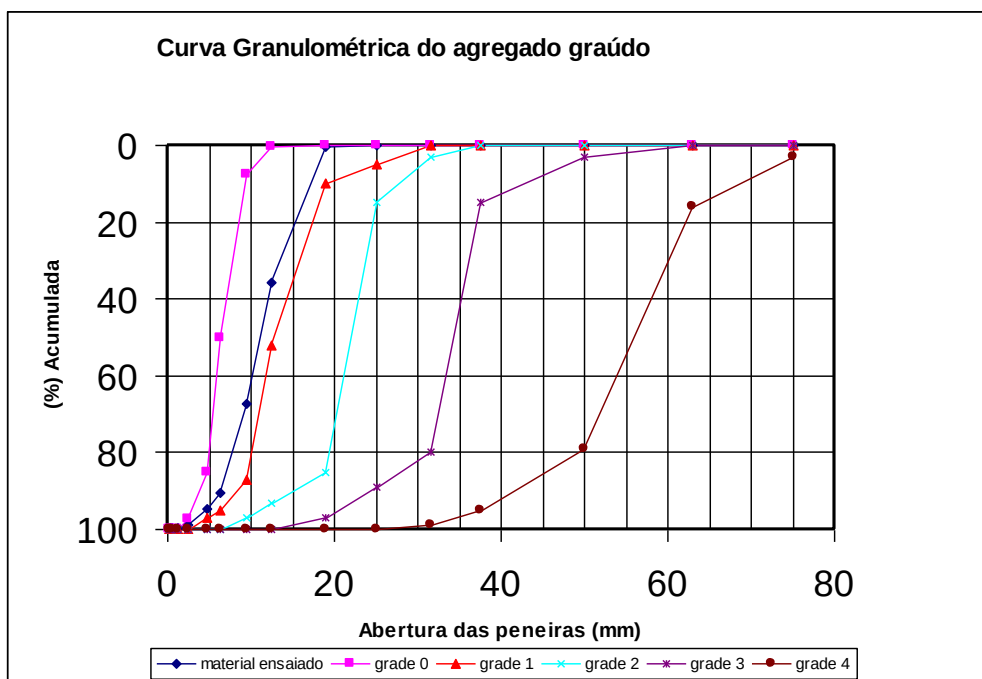
### 6.2.3 Brita

A brita utilizada foi doada pela Castelo Forte Materiais para Construção, suas características estão dispostas na tabela 2 e sua curva granulométrica no gráfico 2.

**Tabela 2: Características físicas da brita.**

| Características físicas da brita                 |                         |
|--------------------------------------------------|-------------------------|
| Massa específica (NBR NM 53:2009)                | 2710kg/m <sup>3</sup>   |
| Massa unitária (NBR NM 45:2006)                  | 1,35 kg/dm <sup>3</sup> |
| Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003) | 19,0mm                  |
| Classificação (NBR 7211:2009)                    | Brita 1                 |
| Classificação geológica                          | Granítica               |

Fonte: Autor.



**Gráfico 2: Curva granulométrica da brita**

Concluimos que o material enquadra de forma análoga sua visualização, ficando entre a grade 0 e 1, no entanto nosso material aproxima-se mais da brita 1.

#### 6.2.4 Pó de Quartzo

O pó de quartzo utilizado também foi fornecido pela Mineração Jundu. O ensaio granulométrico mostrou que 90% dos grãos da amostra tinham diâmetro menores que  $37,37\mu\text{m}$ , 50% possuíam diâmetro menores que  $10,80\mu\text{m}$ , e 10% apresentaram diâmetro menores que  $1,33\mu\text{m}$ , a ficha técnica deste material encontra-se nos anexos desse trabalho.



**Figura 6: Pó de Quartzo**

Fonte: <http://mjundu.com.br/produtos#silica>

### 6.3 Dosagem do Concreto

Dosagem do concreto é a determinação da mistura mais econômica de um concreto, com características capazes de atender às condições de serviço, utilizando os materiais disponíveis. Neste sentido, este trabalho avalia o desempenho de traço para a dosagem de concretos com resistência à compressão axial de 25 MPa, pelo método de dosagem ACI (American Concrete Institute).

O método ACI Seven Steps Method é composto de 7 etapas abaixo representadas em sua ordem de execução:

1. Escolha do abatimento;
2. Escolha do  $\varnothing$  máximo do agregado graúdo;
3. Estimativas dos teores de água e Ar incorporado
4. Estimativa do fator água/cimento
5. Cálculo de teor de cimento
6. Cálculo de teor de agregado Graúdo
7. Cálculo do agregado miúdo

### 6.3.1 Traço de Referência

Após calculados os 7 passos do método chegou-se ao seguinte traço de referência em massa também denominado de T-0 mostrado na tabela 3.

**Tabela 3: Dosagem do traço de referência T-0**

| Materiais       | Relação em massa | Quantidade (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|------------------|---------------------------------|
| Cimento         | 1                | 397,28                          |
| Agregado Miúdo  | 1,95             | 774,06                          |
| Agregado Graúdo | 2,45             | 972                             |
| Água            | 0,516            | 205                             |

O memorial de cálculo desta dosagem encontra-se nos apêndices deste trabalho.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

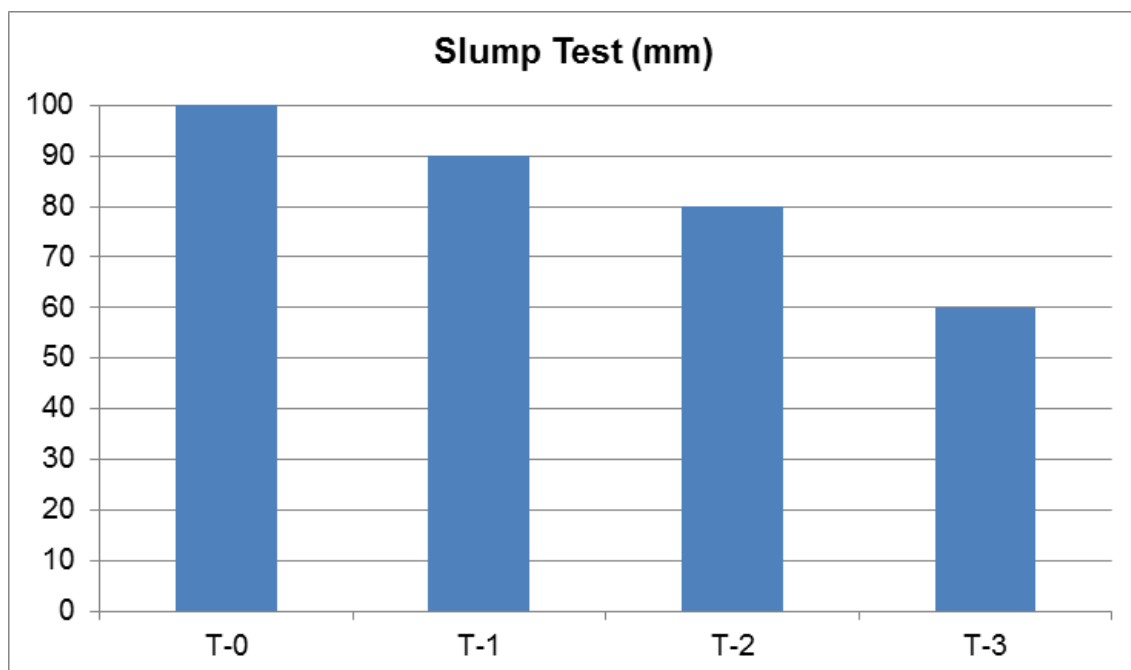
### 7.1 Abatimento do tronco de cone (Slump Test)

Adições minerais, como a sílica ativa e a cinza da casca de arroz, podem provocar a necessidade de aumento no consumo de água quando adicionadas ao concreto, devido à sua extrema finura. Este problema, entretanto, pode ser resolvido com a utilização de aditivos plastificantes e superplastificantes, Fonseca (2010).

Portando devido à elevadíssima finura do pó de quartzo, no caso do abatimento de tronco de cone, os concretos com adições muito finas apresentam um abatimento menor que os concretos convencionais, devido essencialmente à maior finura necessita-se de mais água para uma melhor trabalhabilidade conforme (FONSECA, 2010), os resultados de slump teste obtidos neste trabalho se encontram na tabela 4 e na figura 7.

**Tabela 4: Slump Teste em Relação ao teor de adição de pó de quartzo.**

| <b>Traço</b> | <b>Dosagem de Pó de Quartzo em relação a massa do cimento (%)</b> | <b>Slump Test (mm)</b> |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|
| T-0          | 0                                                                 | 100                    |
| T-1          | 5                                                                 | 90                     |
| T-2          | 10                                                                | 80                     |
| T-3          | 20                                                                | 60                     |



**Figura 7: Gráfico com resultados de Slump.**

A Figura 8 mostra o abatimento do tronco de cone do traço T-3, que foi de 6 cm. Observa-se que o quartzo diminuiu consideravelmente o abatimento do concreto, que define sua trabalhabilidade, portanto aumentando o teor de quartzo no concreto e mantendo o fator água/cimento o resultado será um concreto menos trabalhável.



Figura 8: Slump Teste do traço com adição de 20% de pó de quartzo.

## 7.2 Ensaaios de Resistência

### 7.2.1 Resistência à Compressão Axial

Como era esperado a adição de pó de quartzo aumentou a resistência do concreto convencional, entretanto foi diagnosticado que para grandes teores de adições como 20% houve uma redução na resistência mecânica do concreto em relação ao TR. As tabelas 5 e 6, mostram a evolução da resistência do concreto em função das idades. Foram moldados 6 CP's para cada idade de rompimento, sendo feitos os rompimentos nas idades de 7 e 28 dias.

Os resultados obtidos de resistência à compressão axial com idade de 7 dias podem ser observados na tabela 5.

Tabela 5: Resistência à compressão axial aos 7 dias

| TRAÇO | CORPOS DE PROVA |      |      |      |      |      | MÉDIA | DESVIO PADRÃO | CV (%) | MARGEM DE ERRO | IC (95%) |      |
|-------|-----------------|------|------|------|------|------|-------|---------------|--------|----------------|----------|------|
|       | (MPa)           |      |      |      |      |      |       |               |        |                | Lmín     | Lmáx |
|       | CP 1            | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 | (Mpa) | (MPa)         |        | (MPa)          | (MPa)    |      |
| T-0   | 26,3            | 23,8 | 22,7 | 22,9 | 20,3 | 23,2 | 23,20 | 1,9           | 8,34   | 17,4           | 5,8      | 40,6 |
| T-1   | 27,2            | 26,8 | 26,8 | 28,2 | 25,2 | 29,3 | 27,25 | 1,4           | 5,12   | 12,5           | 14,7     | 39,8 |
| T-2   | 23,3            | 18,4 | 21,8 | 24,1 | 25,5 | 25,5 | 23,10 | 2,7           | 11,67  | 24,2           | -1,1     | 47,3 |
| T-3   | 21,4            | 22,4 | 19,1 | 23,3 | 20,9 | 20,6 | 21,28 | 1,5           | 6,88   | 13,1           | 8,1      | 34,4 |

Fonte: Autor.

Observando os dados encontrados na dispersão pode-se analisar os resultados mais estatisticamente. O desvio padrão nos mostra o quanto de variação houve em relação à média, portando observando os valores encontrados o desvio padrão da resistência à compressão aos 7 dias foi relativamente baixo. O coeficiente de variação é a razão entre o desvio padrão e a média multiplicado por 100 para se obter em porcentagem, então sem quartzo (T-0) os desvios em relação à média atinge 8,34%, o T-1 atinge 5,12%, o T-2 atinge 11,67% e o T-3 atinge 6,68%.

A margem de erro expressa o quanto de erro de amostragem existe no resultado da pesquisa, foi trabalhado com um índice de confiança de 95%, a margem de erro foi maior no T-2, o que resultou num intervalo muito grande entre o limite mínimo e máximo das resistências.

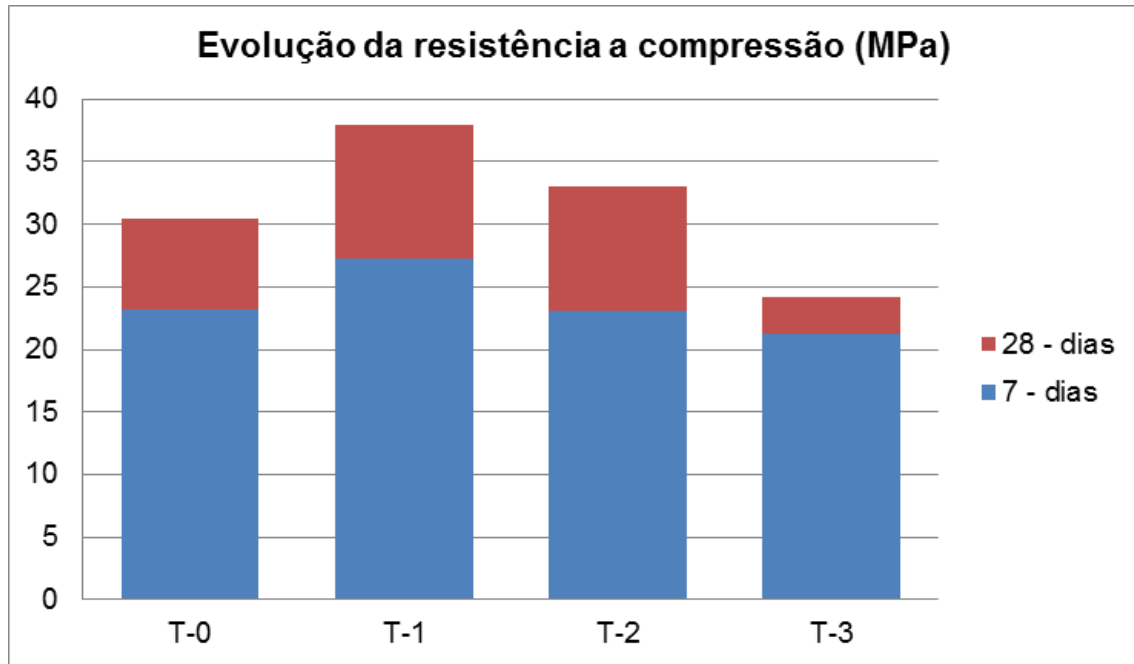
Tabela 6: Resistência à compressão axial aos 28 dias.

| TRAÇO | CORPOS DE PROVA |      |      |      |      |      | MÉDIA | DESVIO<br>PADRÃO | CV (%) | MARGEM<br>DE ERRO | IC (95%) |       |
|-------|-----------------|------|------|------|------|------|-------|------------------|--------|-------------------|----------|-------|
|       | (MPa)           |      |      |      |      |      |       |                  |        |                   | Lmín     | Lmáx  |
|       | CP 1            | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 |       |                  |        | (Mpa)             | (MPa)    | (MPa) |
| T-0   | 27,4            | 34,4 | 34,9 | 27,7 | 29,9 | 28,6 | 30,48 | 3,3              | 10,98  | 30,1              | 0,4      | 60,5  |
| T-1   | 38,2            | 39,5 | 37,3 | 36,7 | 40,7 | 35,1 | 37,92 | 2,0              | 5,29   | 18,0              | 19,9     | 55,9  |
| T-2   | 31,7            | 33,8 | 32,1 | 32,4 | 32,2 | 36,1 | 33,05 | 1,7              | 5,01   | 14,9              | 18,2     | 47,9  |
| T-3   | 22,8            | 21,3 | 27,6 | 25,4 | 21,1 | 27,2 | 24,23 | 2,9              | 11,96  | 26,0              | -1,8     | 50,3  |

Fonte: Autor.

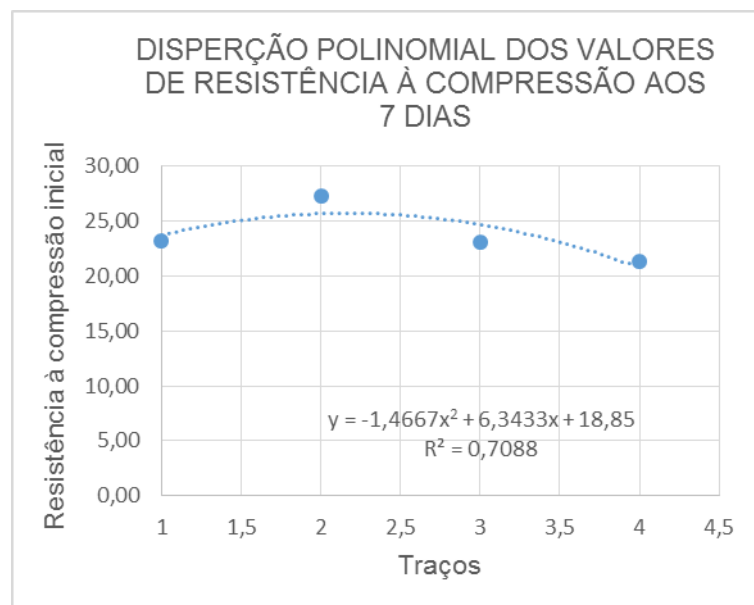
Conforme os dados apresentados na tabela 6, o desvio padrão apresentou-se baixo e uniforme. Já o coeficiente de variação não foi considerado baixo: no T-0 o desvio em relação à média atinge 10,98%, no T-1 atinge 5,29%, no T-2 atinge 5,01% e no T-3 atinge 11,96%.

A evolução da resistência dos traços em função da idade pode ser observada na figura 9.

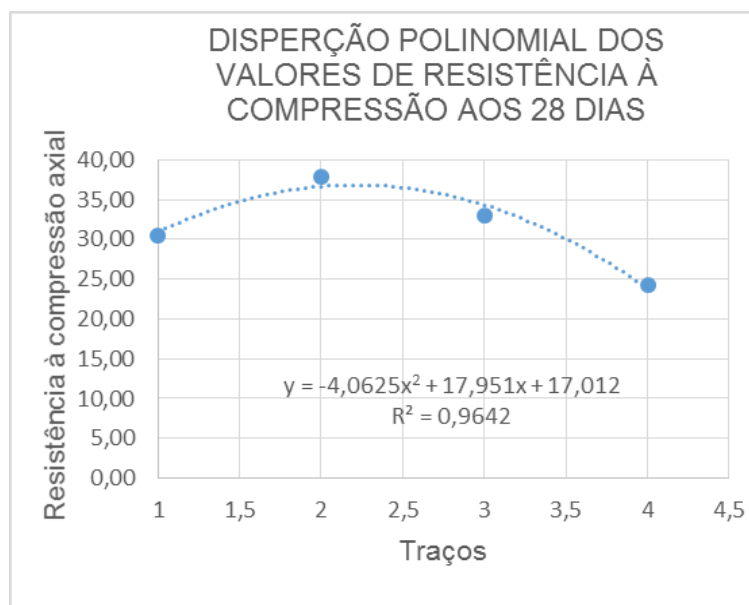


**Figura 9: Evolução da resistência à compressão**

Para uma melhor análise dos resultados foi feita a regressão polinomial dos dados de resistência à compressão axial nas idades de 7 e 28 dias, como pode ser observado nas figuras 10 e 11.



**Figura 10: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 7 dias.**



**Figura 11: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 28 dias.**

Observando a regressão polinomial de 28 dias temos que a função matemática que expressa essa regressão é dada por:  $y = -4,0625x^2 + 17,951x + 17,012$ . O coeficiente de explicação ( $R^2$ ) indica quantos por cento a variação explicada pela regressão representa da variação total, quanto mais próximo de 1 for o  $R^2$  mais próximo de 100% os pontos estarão sobre a linha de regressão. Neste caso o  $R^2$  encontrado foi de 0,9642, ou seja, 96,42% das variações de  $y$  são explicadas pelas variações de  $x$  através da função encontrada.

Se tratando deste estudo, observamos que ao aumentar o teor de pó de quartzo em função massa de cimento a resistência do concreto aumenta até certo ponto e depois começa a diminuir, como podemos observar na regressão polinomial. Possivelmente, a resistência à compressão do concreto se comporta dessa maneira devido a finura do pó de quartzo por ter partículas mais finas que a do cimento e por ser pó absorve a água que deveria ter hidratado mais partículas de cimento deixando assim partículas do cimento sem hidratação diminuindo assim a resistência a compressão do concreto.

### 7.2.2 Resistência à tração por Compressão diametral

Assim como a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral também teve aumento nos traços T-1 e T-2 e redução no traço T-3. Os resultados obtidos por este ensaio estão dispostos na tabela 7.

**Tabela 7: Resistência à tração por compressão diametral em função da adição de Quartzo**

| Traço | Dosagem de Pó de Quartzo (%) | Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa) |
|-------|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| T-0   | 0                            | 3,38                                                |
| T-1   | 5                            | 4,21                                                |
| T-2   | 10                           | 3,67                                                |
| T-3   | 20                           | 2,69                                                |

Fonte: Autor.

A figura 12 mostra um corpo de prova após o ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



**Figura 12: Corpo de prova após ensaio de tração por compressão diametral.**

## 8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 8.1 Conclusões

Em relação ao abatimento do tronco de cone, nenhum dos traços atingiu o abatimento do traço de referência T-0, mas mesmo que não tenham atingido, todos ficaram dentro das recomendações para peças estruturais. A tabela 8, mostra os valores de abatimento recomendados pelo ACI.

**Tabela 8: Valores de abatimento recomendados pelo ACI.**

| Tipos de Construção                               | Abatimento (mm) |        |
|---------------------------------------------------|-----------------|--------|
|                                                   | Máximo*         | Mínimo |
| Paredes de fundações armadas e sapatas            | 75              | 25     |
| Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação | 75              | 25     |
| Vigas e paredes armadas                           | 100             | 25     |
| Pilares de edifício                               | 100             | 25     |
| Pavimentos e lajes                                | 75              | 25     |
| Concreto massa                                    | 50              | 25     |

\*Pode ser aumentada em 25mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração

Fonte: Mehta; Monteiro; *apud* ACI.

Na tabela 9 é possível observar que todos os traços estudados ficaram dentro do intervalo recomendado de abatimento do concreto para peças estruturais.

**Tabela 9: Valores de abatimento dos traços estudados e intervalo de abatimento recomendado para peças estruturais.**

| Traço | Abatimento (mm) | Intervalo de Abatimento para Peças Estruturais (mm) |
|-------|-----------------|-----------------------------------------------------|
| T-0   | 100             | 25 - 100                                            |
| T-1   | 90              |                                                     |
| T-2   | 80              |                                                     |
| T-3   | 60              |                                                     |

Fonte: Autor.

Em relação a resistência a compressão podemos observar na tabela 10 o comportamento do concreto convencional diante a adição do pó de quartzo.

**Tabela 10: Avaliação da Influência da Adição do pó de quartzo na resistência a compressão do CCV**

| Traço | Dosagem de Pó de Quartzo (%) | Resistência média à Compressão aos 28 dias (MPa) | Ganho de Resistência pela adição de Pó de Quartzo (MPa) |
|-------|------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| T-0   | 0                            | 30,48                                            | -                                                       |
| T-1   | 5                            | 37,92                                            | 7,44                                                    |
| T-2   | 10                           | 33,05                                            | 2,57                                                    |
| T-3   | 20                           | 24,23                                            | -6,25                                                   |

Fonte: Autor.

Analisando os dados da tabela 10 podemos observar que a adição do pó de quartzo se mostrou viável nos traços T-1 e T-2 onde obtivemos aumento de 24,41% e 8,43% na resistência desses traços em relação ao T-0, já no traço T-3 observamos uma queda de resistência de 20,5 %. No presente estudo isso evidencia que o pó de quartzo em concreto convencional pode ser benéfico ao concreto até adições de 10% em relação a massa do cimento, acima disso podemos concluir que haverá uma super dosagem da adição e isso acaba influenciando negativamente os resultados de resistência a compressão.

A possível causa dessa redução de resistência dá-se pela finura do pó de quartzo por ter partículas mais finas que a do cimento e por ser pó absorve a água que deveria ter hidratado mais partículas de cimento deixando assim partículas do cimento sem hidratação diminuindo assim a resistência a compressão do concreto.

## **8.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Para a utilização do pó de quartzo como adição visando melhorias nas características do concreto convencional, é interessante que mais pesquisas sejam realizadas, para proporcionar maior confiabilidade e segurança na utilização deste material em concreto convencional. Abaixo há sugestões para a realização de novas pesquisas:

- Realizar o estudo com diferentes teores de adição em quantidades menores como por exemplo o intervalo de 0,1% a 4,9%;
- Realizar a utilização do pó em conjunto com um aditivo superplastificante.
- Realizar estudo com a substituição parcial do cimento pelo pó de quartzo.

## 9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

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

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 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7213**: Agregados leves para concreto isolante térmico — Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. 2009. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

CASSEDANNE, J. P. **Le quartz au Brésil**. Bulletin de l'Association Française de Gemmologie, 1971, vol. 27, p. 8-11.

CARVALHO, A.S. **Geologia e gênese das mineralizações de quartzo no Espinhaço Meridional, Minas Gerais - Brasil**. Brasília: Departamento de Geociências-UnB, 1982. 94p. (Tese de Mestrado).

LUZ, A.B.DA & LINS, F.A.F. In: LUZ, A.B.DA & LINS, F.A. (Editores). Rochas e minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MME, p. 107-126, 2005.

FAVACHO-SILVA, M. D. **Variedades gemológicas de quartzo em Minas Gerais: geologia, mineralogia, causas de cor, técnicas de tratamento e aspectos mercadológicos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2000. 155 f. (Dissertação de Mestrado).

FERREIRA, M. S. F; FONSECA, M. A. e PIRES, F. R. M. (2005). Pegmatitos mineralizados em água-marinha e topázio do Ponto da Marambaia, Minas Gerais: Tipologia e relações com o Granito Caladão. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 35, no 4, p. 463-473 in CETEM 2 ed, 2008.

FONSECA, Gustavo Celso da. **ADIÇÕES MINERAIS E AS DISPOSIÇÕES NORMATIVAS RELATIVAS À PRODUÇÃO DE CONCRETO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM EPISTÊMICA**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-8ALHAQ/disserta\\_\\_o\\_mestrado\\_gustavo.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-8ALHAQ/disserta__o_mestrado_gustavo.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 11 jun. 2016.

GUZZO, P. L. e BOY, J. J. (2000). The roles of crystallographic orientation and crystal origin in ferrobielastic twinning of quartz under uniaxial stress. **The European Physical Journal - Applied Physics**, vol. 12, p. 17-30 in CETEM 2 ed, 2008.

IBRACON (Instituto Brasileiro de Concreto). GERALDO CECHELLA ISAIA (São Paulo). (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ipsi Gráfica e Editora, 2011. 931 p.

MARKO, Frantisek et al. Tectonic and fluid inclusion constraints on the origin of quartz veins with giant crystals in the Tocantins structural province, Cratlandia, central Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, South American, n. 12, p.239-251, 2006.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Editora Pini Ltda, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

NEVES, Idécio França Das. Materiais de construção: **Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**, Editora Pini, 2º ed., pp.828, 1997.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**, São Paulo, n. 53, p. 14-19, jan.-fev.-mar, 2009

PET CIVIL UFJF. **Adições Minerais ao Concreto de Cimento Portland**. 2012. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com/2012/05/11/adicoes-minerais-ao-concreto-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 30 set. 2015.

SANTOS, Altair. **Pesquisa ressalta presente e futuro do concreto**. 2013. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/pesquisa-ressalta-presente-e-futuro-do-concreto/>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

VANDERLEI, Romel Dias. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. 2004. Tese (Doutorado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-23082006-095043/>>. Acesso em: 2016-05-16.

## ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO PÓ DE QUARTZO

Mineração Jundu Ltda.

FCQE3030  
Controle Qualidade

### Especificação de Expedição - Padrão

15/07/2011 14:57

**Número 855**      **Revisão: 2**

**Produto :** SM - 325 - E.      Areia Quartzosa - Sílica Moída # 325 - E.

**Unidade Produtora :** 22      Analândia

| Elemento                               | Mínimo | Máximo | Típico | Unidade | Controle     |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------------|
| # 325                                  | 0.0    | 8.0    | 7.6    | %       | Especificado |
| Umidade                                | 0.000  | 0.200  | 0.100  | %       | Especificado |
| Temperatura                            | 0.0    | 40.0   | 25.0   | °C      | Especificado |
| Perda ao Fogo                          | 0.000  | 0.630  | 0.110  | %       | Especificado |
| Teor de SiO <sub>2</sub>               | 99.000 |        | 99.680 | %       | Especificado |
| Teor de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.000  | 0.050  | 0.045  | %       | Especificado |
| Teor de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.000  | 0.300  | 0.230  | %       | Especificado |
| Teor de TiO <sub>2</sub>               | 0.000  | 0.035  | 0.028  | %       | Especificado |

#### Outras Especificações

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DOS TEORES QUÍMICOS: FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA: VIA ÚMIDA

CÓPIA NÃO CONTROLADA

## APÊNDICE A - MEMORIAL DE CÁLCULO DE DOSAGEM

Dosagem TCC - Memorial de Cálculo

Dados:

$$MF = 1,80$$

$$FCK = 25 \text{ MPa}$$

$$Sd = 4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 3150 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_a = 2660 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_{sa} = 1420 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_b = 2710 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_{sb} = 1350 \text{ Kg/m}^3$$

$$\phi_{MAX} = 19 \text{ mm}$$

1º Passo - Abatimento -

$$75 \pm 25 \text{ mm}$$

2º Passo -  $\phi$  MAX. A. Graúdo

$$\phi 19 \text{ mm}$$

3º Passo:  $H_2O$  e Ar

$$H_2O = 205 \text{ L/m}^3 \quad \text{Ar} = 2\%$$

4º Passo: A/C

$$f_{cd} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

$$f_{cd} = 25 + 1,65 \times 4$$

$$f_{cd} = 31,6 \text{ MPa}$$

5º Passo: Cimento

$$CC = \frac{H_2O}{AC} \Rightarrow \frac{205}{0,516} = \boxed{397,28 \text{ Kg/m}^3}$$

Interpretação:

$$\frac{34 - 28}{0,48 - 0,57} = \frac{34 - 31,6}{0,48 - x}$$

$$\frac{6}{-0,09} = \frac{2,4}{0,48 - x}$$

$$-6x + 2,88 = -0,216$$

$$-6x = -0,216 - 2,88$$

$$x = \frac{3,096}{6}$$

$$x = 0,516 \rightarrow \text{A/C}$$

6º Passo: Brita (A B)

$$0,72 \times \gamma_b = 0,72 \times 1350$$

$$M_b = 972 \text{ Kg/m}^3$$

7º Passo: Areia (A M)

$$1 \text{ m}^3 = V_c + V_b + V_a + V_{ar} + V_{H_2O}$$

$$V_a = 1 - (V_c + V_b + V_{ar} + V_{H_2O})$$

$$V_a = 1 - (0,126 + 0,358 + 0,02 + 0,205)$$

$$V_a = 0,291 \text{ m}^3 \rightarrow 0,291 \times \gamma_a = 774,06 \text{ Kg/m}^3$$

$$TM = \frac{M_c}{M_c} : \frac{M_a}{M_c} : \frac{M_b}{M_c} : \text{A/C}$$

$$TM = 1 : 1,95 : 2,45 : 0,516$$





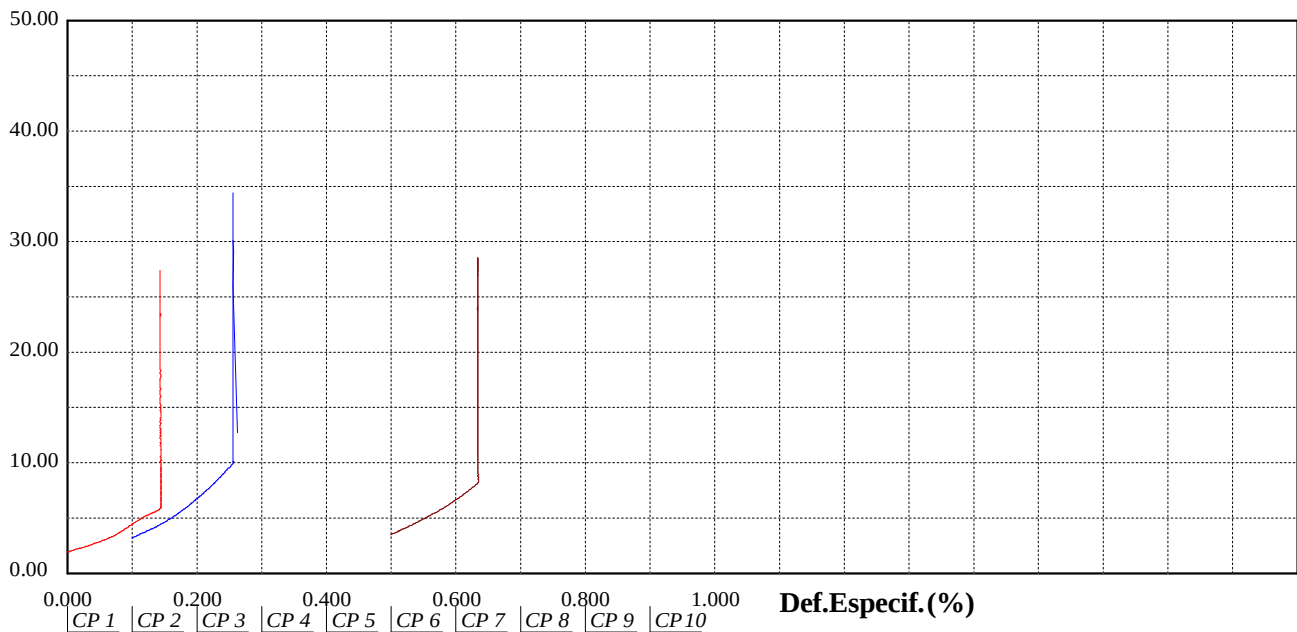
**CEULP/ULBRA**  
Laboratório de Materiais de Construção

# Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000**    Célula: **Trd 30**    Extensômetro: **Trd 10**    Data: **01/01/2003**    Hora: **00:15:26**    Trabalho n° **1056**  
Programa: **Tesc versão 1.10**    Método de Ensaio: **Concreto compressão extensômetro 180tf**  
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>> Cliente: **TCC Andre e Joaquim**    Data moldagem: **22/10/2015**    Idade Amostra: **28 dias**

| Corpo de Prova | Força Ruptura (kgf) | Tensão Ruptura (MPa) |
|----------------|---------------------|----------------------|
| CP 1           | <b>21964</b>        | <b>27.4</b>          |
| CP 2           | <b>27580</b>        | <b>34.4</b>          |
| CP 3           | <b>27937</b>        | <b>34.9</b>          |
| CP 4           | <b>22213</b>        | <b>27.7</b>          |
| CP 5           | <b>23948</b>        | <b>29.9</b>          |
| CP 6           | <b>22886</b>        | <b>28.6</b>          |
| Número CPs     | <b>6</b>            | <b>6</b>             |
| Média          | <b>24420</b>        | <b>30.49</b>         |
| Desv.Padrão    | <b>2677</b>         | <b>3.343</b>         |
| Coef.Var.(%)   | <b>10.96</b>        | <b>10.96</b>         |
| Mínimo         | <b>21960</b>        | <b>27.42</b>         |
| Máximo         | <b>27940</b>        | <b>34.88</b>         |

**Tensão (MPa)**



**Observação: Aplicação do concreto:**

**Tipo de ruptura dos corpos de prova:**

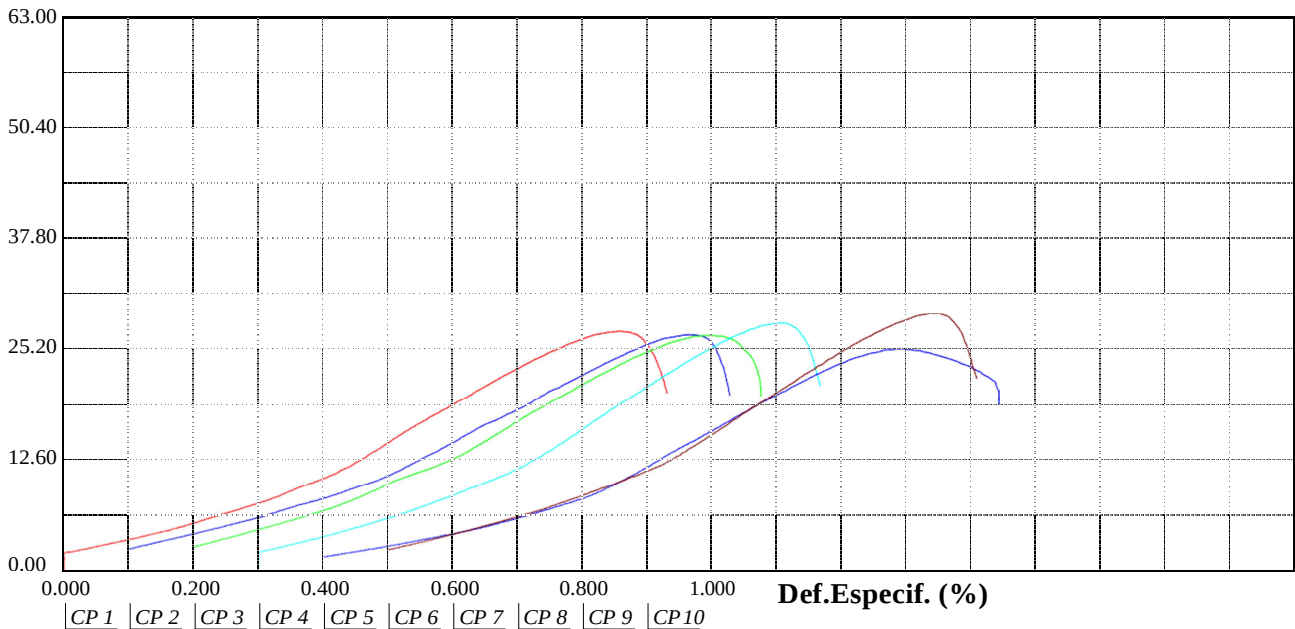
**CEULP/ULBRA**  
Laboratório de Materiais de Construção

# Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000**    Célula: **Trd 30**    Extensômetro: **Trd 10**    Data: **30/10/2015**    Hora: **00:05:45**    Trabalho n° **0927**  
Programa: **Tesc versão 1.10**    Método de Ensaio: **Concreto compressão extensômetro 180tf**  
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>    Cliente: **TCC Andre e Joaquim**    Data moldagem: **23/10/2015**    Idade Amostra: **07 Dias**

| Corpo de Prova | Força Ruptura (kgf) | Tensão Ruptura (MPa) |
|----------------|---------------------|----------------------|
| CP 1           | <b>21801</b>        | <b>27.2</b>          |
| CP 2           | <b>21487</b>        | <b>26.8</b>          |
| CP 3           | <b>21454</b>        | <b>26.8</b>          |
| CP 4           | <b>22582</b>        | <b>28.2</b>          |
| CP 5           | <b>20197</b>        | <b>25.2</b>          |
| CP 6           | <b>23449</b>        | <b>29.3</b>          |
| Número CPs     | <b>6</b>            | <b>6</b>             |
| Média          | <b>21830</b>        | <b>27.26</b>         |
| Desv.Padrão    | <b>1106</b>         | <b>1.381</b>         |
| Coef.Var.(%)   | <b>5.066</b>        | <b>5.066</b>         |
| Mínimo         | <b>20200</b>        | <b>25.22</b>         |
| Máximo         | <b>23450</b>        | <b>29.28</b>         |

**Tensão (MPa)**



**Observação: Traço 01**

**Observação: Defeitos eventuais do corpo de prova:**

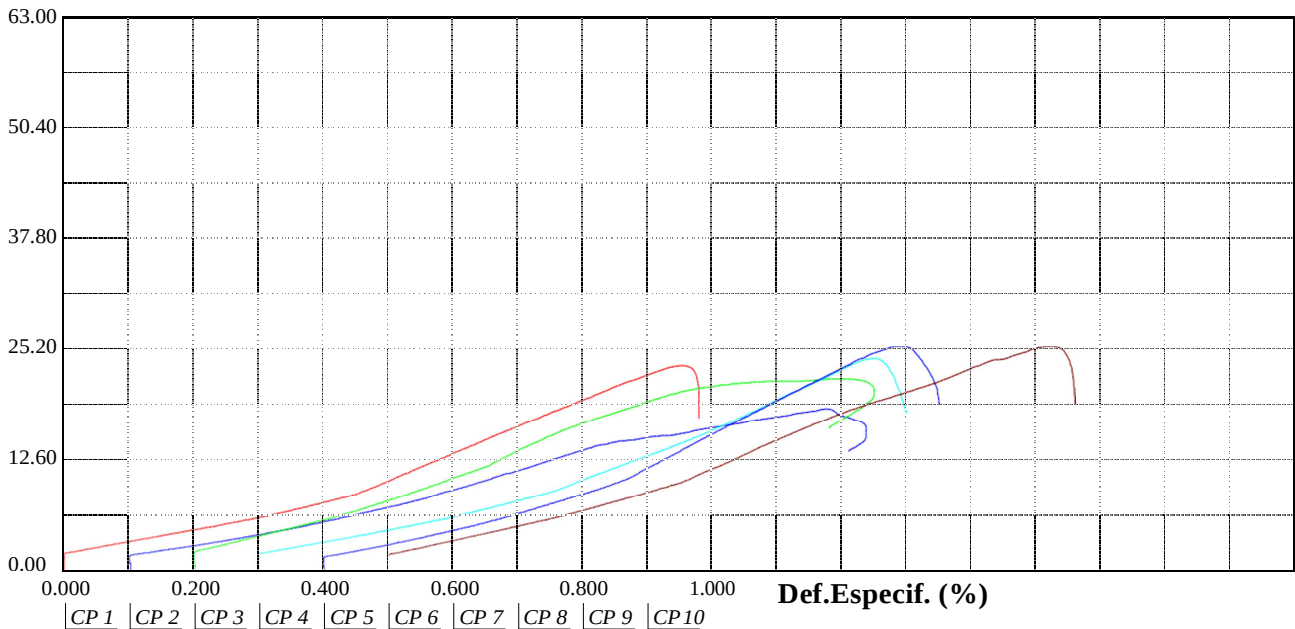
**CEULP/ULBRA**  
Laboratório de Materiais de Construção

# Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000**    Célula: **Trd 30**    Extensômetro: **Trd 10**    Data: **30/10/2015**    Hora: **00:17:06**    Trabalho n° **0928**  
Programa: **Tesc versão 1.10**    Método de Ensaio: **Concreto compressão extensômetro 180tf**  
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>    Cliente: **TCC Andre e Joaquim**    Data moldagem: **23/10/2015**    Idade Amostra: **07 Dias**

| Corpo de Prova | Força Ruptura (kgf) | Tensão Ruptura (MPa) |
|----------------|---------------------|----------------------|
| CP 1           | <b>18690</b>        | <b>23.3</b>          |
| CP 2           | <b>14744</b>        | <b>18.4</b>          |
| CP 3           | <b>17487</b>        | <b>21.8</b>          |
| CP 4           | <b>19319</b>        | <b>24.1</b>          |
| CP 5           | <b>20435</b>        | <b>25.5</b>          |
| CP 6           | <b>20425</b>        | <b>25.5</b>          |
| Número CPs     | <b>6</b>            | <b>6</b>             |
| Média          | <b>18520</b>        | <b>23.12</b>         |
| Desv.Padrão    | <b>2158</b>         | <b>2.695</b>         |
| Coef.Var.(%)   | <b>11.66</b>        | <b>11.66</b>         |
| Mínimo         | <b>14740</b>        | <b>18.41</b>         |
| Máximo         | <b>20440</b>        | <b>25.52</b>         |

**Tensão (MPa)**



**Observação: Aplicação do concreto:**

**Tipo de ruptura dos corpos de prova:**

**Observação: Defeitos eventuais do corpo de prova:**





**Observação: Defeitos eventuais do corpo de prova:**

**CEULP/ULBRA**  
Laboratório de Materiais de Construção

# Relatório de Ensaio

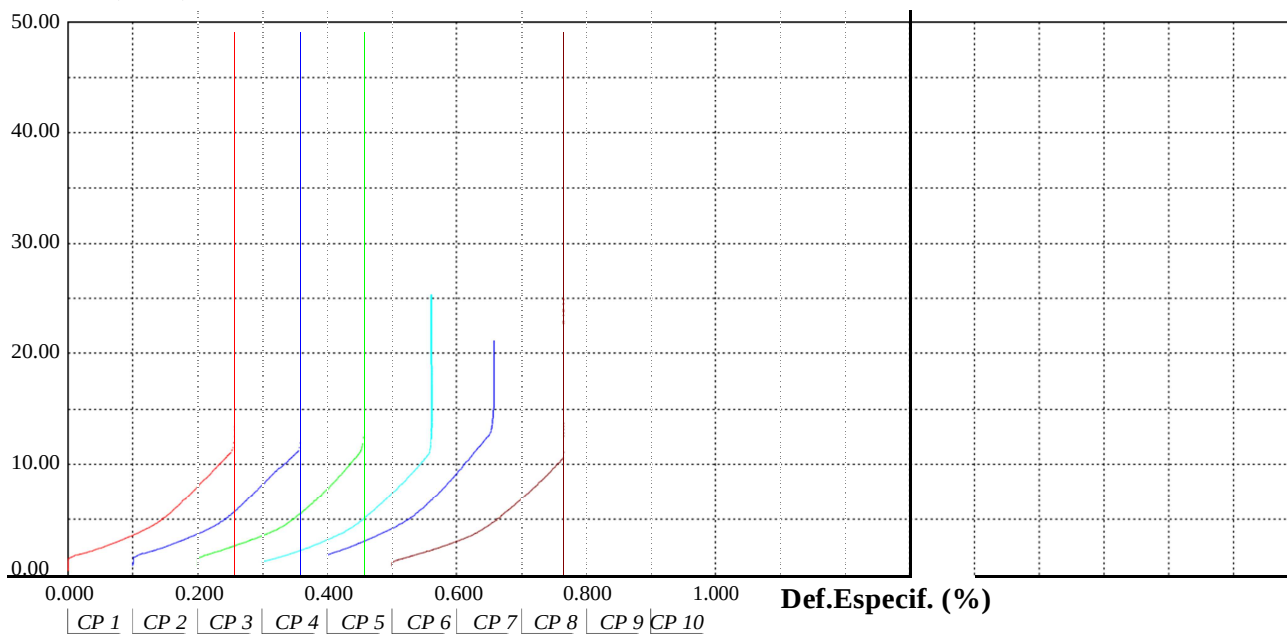
Máquina: **Emic DL30000**    Célula: **Trd 30**    Extensômetro: **Trd 10**    Data: **01/02/2003**    Hora: **03:34:10**    Trabalho n° **1090**  
Programa: **Tesc versão 1.10**                      Método de Ensaio: **Concreto compressão extensômetro 180tf**

---

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>> Cliente: **TCC II ANDRÉ E KIM**    Data moldagem: **12/01/2016**    Idade Amostra: **28 DIAS**

| Corpo de Prova | Força Ruptura (kgf) | Tensão Ruptura (MPa) |
|----------------|---------------------|----------------------|
| CP 1           | 18278               | 22.8                 |
| CP 2           | 17096               | 21.3                 |
| CP 3           | 22083               | 27.6                 |
| CP 4           | 20316               | 25.4                 |
| CP 5           | 16934               | 21.1                 |
| CP 6           | 21801               | 27.2                 |
| Número CPs     | 6                   | 6                    |
| Média          | 19420               | 24.25                |
| Desv.Padrão    | 2300                | 2.872                |
| Coef.Var.(%)   | 11.84               | 11.84                |
| Mínimo         | 16930               | 21.14                |
| Máximo         | 22080               | 27.57                |

**Tensão (MPa)**



**Observação: Aplicação do concreto:**

**Tipo de ruptura dos corpos de prova:**