

## **ESTUDO DA VIABILIDADE PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE VIDRO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NA CIDADE DE PALMAS-TO**

*FEASIBILITY STUDY FOR THE PRODUCTION OF CONCRETES WITH ADDITION OF  
GLASS WASTE IN SUBSTITUTION TO FINE AGGREGATE  
FOR THE CITY OF PALMAS-TO*

**Rafael dos Santos Cordeiro**  
**Adão Lincon Bezzerra Montel**  
*Universidade Federal do Tocantins- UFT*

---

### **RESUMO**

O presente artigo apresenta, por meio de análise das propriedades mecânicas, o resultado do estudo da viabilidade técnica do reaproveitamento do resíduo de vidro, proveniente de vidraçarias e associações de reciclagem da cidade de Palmas/TO, em substituição parcial do agregado miúdo em concretos para aplicação em leitos e camadas preparatórias. Foram moldados corpos de prova com substituição parcial do agregado miúdo (areia) pelo vidro (5, 10, 15, 20 e 25%) para determinação da resistência à compressão. Aos 28 dias de cura, em comparação aos resultados dos corpos de prova referência, foram obtidos resultados acima da média para todos corpos de prova com substituição. Os resultados obtidos nas pesquisas e experimentos mostram que o resíduo de vidro pode ser utilizado na fabricação de concretos simples, influenciando diretamente no aumento da resistência do mesmo ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Construção civil; Reciclagem do vidro.

### **ABSTRACT**

This article presents, through analysis of the mechanical properties, the result of the study the technical feasibility of reuse of glass waste from glassworks and recycling associations of the city of Palmas / TO in partial replacement of the fine aggregate in concretes for application on beds and preparatory layers. Test specimens were molded with partial replacement of the fine aggregate (sand) by the glass (5, 10, 15, 20 and 25%) for determination of compressive strength. After 28 days of curing concrete, in comparison to the results of the test specimens reference, were obtained above average results for all the test specimens with substitution. The results obtained in the researches and experiments show that the glass waste can be used in the manufacture of concrete simple, directly influencing the increase in resistance of the same over time.

**Keywords:** Sustainability; Building construction; Recycling of glass.

Recebido em 14/09/2015. Aceito em 24/09/2015. Publicado em 03/12/2015.

---

### **INTRODUÇÃO**

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas principais qualidades são a transparência e a dureza. O vidro tem incontáveis aplicações nas mais variadas indústrias, dada suas características de inalterabilidade, dureza, resistência e propriedades térmicas, ópticas e

acústicas, tornando-se um dos poucos materiais ainda insubstituível, estando cada vez mais presente nas pesquisas de desenvolvimento tecnológico para o bem-estar do homem (CEBRACE 2014).

No Brasil é produzido em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos. Esses cacos são provenientes em parte de refugo nas fábricas e em parte na coleta seletiva dos municípios. Apenas 47% das embalagens de vidro foram recicladas em 2010 no Brasil, somando 470 mil ton/ano. O principal mercado para recipientes de vidros usados é formado pelas vidrarias, que compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem diretamente de suas campanhas de reciclagem. Além de voltar à produção de embalagens, a sucata pode ser aplicada na composição de asfalto e pavimentação de estradas, construção de sistemas de drenagem contra enchentes, produção de espuma e fibra de vidro, bijuterias e tintas reflexivas (CEMPRE, 20014).

Em sua forma pura, o vidro é um óxido metálico superesfriado transparente, de elevada dureza, essencialmente inerte e biologicamente inativo, que pode ser fabricado com superfícies muito lisas e impermeáveis. Essas propriedades desejáveis conduzem a um grande número de aplicações, distinguindo-se de outros materiais por várias características, tais como baixa porosidade, absorvidade, dilatação e condutibilidade térmica, suportando pressões de 5.800 a 10.800 kg/cm<sup>2</sup> (Ferrari e Jorge, 2010).

O vidro é um material frágil, porém não fraco. Ele tem grande resistência à ruptura, podendo mesmo ser utilizado em pisos, é duro e rígido, porém não tenaz não sendo apropriado para aplicações sujeitas a impactos. O vidro é um material cerâmico, sólido não cristalino de óxido tradicional. Entre as principais características do vidro destaca-se sua elevada durabilidade química (Shachelford, 2008).

Na construção civil, a produção de concreto é como uma grande fábrica de reciclagem com potencial para absorver vários tipos de resíduos. A adição de outros resíduos no concreto, na forma de agregado fino ou grosseiro já foi estudada por vários pesquisadores. Alguns desses resíduos são adicionados com o intuito de melhorar as características mecânicas dos concretos como a sílica, misturas de materiais pozolânicos, cinzas, pó de basalto, escórias, etc (Babu e Prakash, 1995).

Foi constatado em 1995 que o vidro pode influenciar na qualidade do concreto por outros efeitos que não o pozolânico e o da reação álcali/sílica. Foi verificado que o benefício da adição do vidro estava relacionado ao preenchimento de vazios entre os grãos do agregado

fino (melhora do empacotamento das partículas). Já o efeito pozolânico aconteceria com vidros de granulometria fina ( $< 0,75$  mm) uma vez que as partículas finas favorecem uma rápida e benéfica reação pozolânica. Para vidros com granulometria grosseira ( $> 0,75$  mm), a reação álcali/sílica acontece com maior frequência, gerando o aumento do volume do concreto e causando diversos problemas futuros (Babu e Prakash, 1995).

Grande parte da manufatura rotineira do vidro, o SiO<sub>2</sub> está prontamente disponível em depósitos de areia locais com pureza adequada (Shachelford, 2008). Essa característica permite a utilização em grande escala do vidro na indústria, implicando numa grande geração de resíduos.

Em consequência da diversidade de aplicações do vidro, é gerada constantemente, uma grande quantidade de resíduos. E diferente de outros materiais, o vidro possui um aproveitamento possível de 100% em sua reciclagem, ou seja, uma quantidade de vidro descartado e posteriormente reciclado pode produzir essa mesma quantidade de vidro novo da mesma qualidade. Podendo acarretar uma economia de energia de 4% e redução de 5% na liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera na utilização de 10% de caco de vidro na produção de vidro novo. No entanto, apesar desse grande número de vantagens, em 2007, o índice de reciclagem no Brasil foi de 47% (ABIVIDRO, 2014).

Novas pesquisas buscam desenvolver destinos viáveis a esses resíduos, tornando a manufatura do vidro mais sustentável. O resíduo de vidro utilizado neste artigo é proveniente de lixamentos em vidraçarias da cidade de Palmas-TO, sem nenhum outro beneficiamento, com o objetivo de evitar um possível gasto de energia com tratamentos.

Como exemplos da utilização de vidro em escala real, pode-se destacar o exemplo da Austrália que já utiliza o vidro moído proveniente do lixo em concretos para construção (Crentsil *et al.*, 2005) e ainda do estado norte-americano de Nova York que já apresenta recomendações para o uso deste material em concretos.

O significativo aumento dos resíduos destinados a aterros e lixões inspira a busca de soluções ecologicamente corretas e sustentáveis. A presente pesquisa visa analisar propriedades de concretos com diferentes concentrações de resíduo proveniente de vidraçarias da cidade de Palmas-TO, em substituição de parte do agregado miúdo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral:**

Realizar um comparativo das propriedades que o concreto assume quando, durante sua produção, recebe uma adição de pó de vidro em substituição ao agregado miúdo, e efetuar um estudo de viabilidade para a produção deste concreto a partir dos resíduos gerados por indústrias e pela sociedade da cidade de Palmas, Tocantins.

### **2.2 Metas específicas:**

- Efetuar um estudo sobre as principais indústrias geradoras e a quantidade do resíduo de vidro gerado na cidade de Palmas-TO.
- Realizar um estudo comparativo das propriedades mecânicas entre o concreto comum e o concreto com adição do pó de vidro em substituição ao agregado miúdo.
- Realizar um estudo de viabilidade para a utilização do resíduo de vidro em substituição parcial ou total do agregado miúdo para a cidade de Palmas-TO.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Criação do banco de dados**

#### **3.1.1 Relação das empresas geradoras de resíduo**

Através de pesquisas na internet e em listas telefônicas foram coletadas informações como nome e endereço das fábricas, vidraçarias e associações de reciclagem de vidro da cidade de Palmas-TO, posteriormente, por meio de entrevistas, as informações coletadas foram armazenadas em um banco de dados no formato de tabela do Excel.

#### **3.1.2 Volumes de resíduo de vidro gerados**

As empresas e associações foram visitadas com o objetivo de buscar informações sobre a quantidade estimada de resíduo vítreo gerado no intervalo de um ano.

#### **3.1.3 Origem do resíduo utilizado no estudo**

Por meio de solicitação, enviada na forma de ofício, para a empresa VitralBox®, maior geradora de resíduos na cidade de Palmas, recebemos a doação de uma boa

quantidade de resíduo decorrente do lixamento de placas de vidro para a fabricação de portas em Blindex.

### **3.2 Caracterizações dos materiais**

Nesta etapa foram caracterizados os agregados (grãos, miúdos e resíduo de vidro) utilizados na fabricação do concreto de acordo com as normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, as características do aglomerante (cimento) foram extraídas da embalagem do fabricante. Foram realizados os ensaios para determinação da massa específica, granulometria, dimensão máxima e módulo de finura.

#### **3.2.1 Ensaios de massa específica**

Os ensaios de massa específica foram realizados de acordo com o disposto nas ABNT NBR NM 26 - Amostragem de agregados - método de ensaio, ABNT NBR NM 27 - Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório, ABNT NBR 9776 - Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman, ABNT NBR 9937 - Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado grão.

#### **3.2.2 Ensaios de granulometria**

Os ensaios granulométricos (série normal) foram realizados conforme as NBR NM 248 – Agregados - Determinação da composição granulométrica, NBR NM-ISSO 3310-1 – Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1 - Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico, NM 26 – Amostragem de agregados, NM 27 – Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório, e NM 46 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 $\mu$ m por lavagem.

As peneiras foram agitadas com o auxílio do agitador mecânico associado ao processo manual. Os materiais retidos em cada peneira foram pesados em uma balança digital com precisão de 0,01g e os resultados foram anotados e usados para a confecção das tabelas de caracterização granulométrica dos agregados grãos e miúdos, as quais relacionam de forma detalhada os valores das porcentagens retidas, retidas acumuladas e passantes. Depois de calculadas as porcentagens de material passante, foram traçados os gráficos das curvas granulométricas para cada agregado.

#### **3.2.3 Módulo de finura e Dimensão máxima**

O módulo de finura foi determinado levando-se em consideração a porcentagem, em peso, do agregado presente em cada peneira, conforme definido pela ABNT NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

### 3.3 Definição do traço de referência

O traço de referência utilizado foi o de 1:5 escolhido de maneira aleatória em uma tabela de traços convencionais com resistência de 254 Kg/cm<sup>2</sup> para ensaios de compressão aos 28 dias, sendo:

**Quadro 3.3.1:** Traço de referência / Reference concrete composition.

**Table 3.3.1:** Trace Reference / Reference concrete composition

| Cimento | Areia | Brita | Água |
|---------|-------|-------|------|
| 1       | 1,94  | 3,06  | 0,5  |

### 3.4 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados em fôrmas metálicas de dimensões precisas conforme definido pela ABNT NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

### 3.5 Cura dos corpos de prova

Os corpos de prova foram submetidos à cura do tipo úmida em câmara úmida, conforme disposto pela ABNT NBR 5738 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

### 3.6 Ensaio das propriedades mecânicas

Todos os traços foram submetidos aos ensaios de compressão conforme disposto pela ABNT NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Para cada traço com substituição de agregado miúdo por resíduo vítreo foram confeccionados e rompidos 3 (três) corpos de prova por intervalo de idade, tal quantidade de rupturas possibilitou o cálculo das resistências médias com uma boa precisão e também a determinação do desvio padrão para as médias das resistências. Os ensaios ocorreram nos intervalos de 7, 14 e 28 dias. Foram produzidos 40 (quarenta) corpos de prova (dez por traço) para a realização de todo o projeto de pesquisa, sendo que apenas 36 (trinta e seis) foram submetidos aos ensaios de compressão.

### 3.7 Estudo da viabilidade

Nesta etapa, após a conclusão do estudo das quantidades de resíduo vítreo geradas anualmente em toda a cidade de Palmas-TO e também após todos os corpos de provas passarem pelo ensaio de ruptura, foi realizada uma análise comparativa dos resultados de desempenho das amostras, onde estabeleceu-se a melhor proporção de vidro moído que se pode acrescentar no concreto convencional, em substituição ao agregado miúdo, proporcionando o máximo de ganho em resistência a compressão.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Criação do banco de dados

Foi criada uma tabela, do tipo banco de dados, com o auxílio do software Microsoft Excel®, do pacote Microsoft Office®, em sua versão 2013, que relaciona informações como nome, contatos, endereço, porte, volume de resíduo gerado/coletado e origem do resíduo, para as vidraçarias geradoras de resíduo e associações de reciclagem da cidade de Palmas-TO.

### 4.2 Caracterizações dos materiais

#### 4.2.1 Ensaios de massa específica

Os ensaios de massa específica foram realizados de acordo com o disposto nas NBR NM 26, NBR 27, NBR 9776 e NBR 9937, o resultado pode ser observado na Tabela 4.2.1.1.

**Tabela 4.2.1.1:** Relação das massas específicas dos agregados utilizados  
**Table 4.2.1.1:** Ratio of specific masses of the aggregates used.

| AGREGADO    | ENSAIO 1 (g/cm <sup>3</sup> ) | ENSAIO 2 (g/cm <sup>3</sup> ) | MÉDIA (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Areia       | 2,695                         | 2,701                         | <b>2,698</b>               |
| Pó de vidro | 2,154                         | 2,158                         | <b>2,156</b>               |
| Brita       | 2,631                         | 2,632                         | <b>2,632</b>               |

#### 4.2.2 Ensaios de granulometria

##### 4.2.2.1 Granulometria – Areia

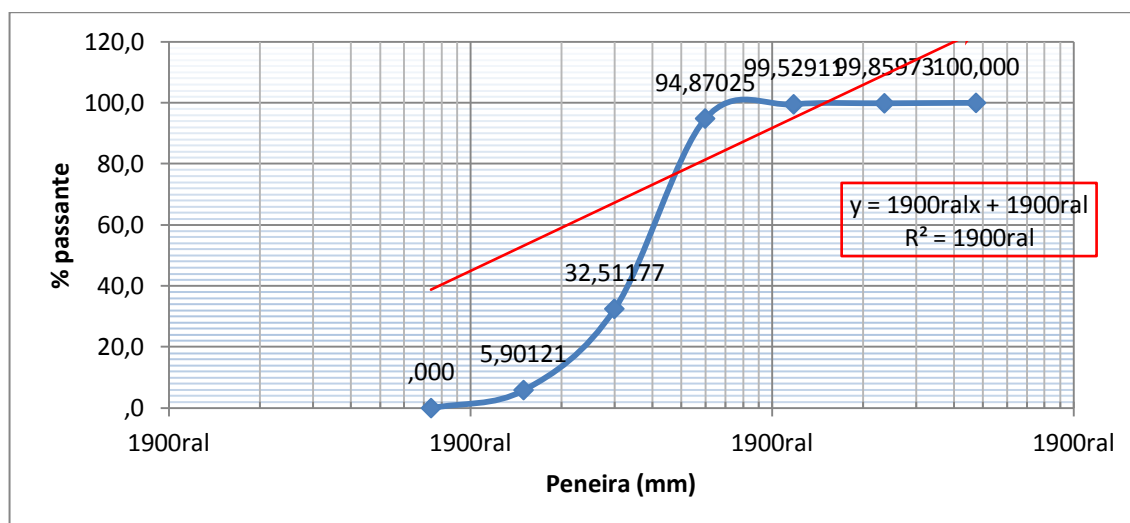
O ensaio granulométrico da areia, série normal, realizado conforme disposto pelas NBR NM 248, NBR NM-ISSO 3310-1, NBR NM 26, NBR NM 27 e NBR NM 46, obteve o resultado apresentado na tabela 4.2.2.1.1.

**Tabela 4.2.2.1.1:** Caracterização granulométrica da areia  
**Table 4.2.2.1.1:** Granulometry characterization of the sand.

| $\Phi$ peneira (mm)               | Massa Retirada (g) | % Retida      | % Retida Acumulada | % Passante    |
|-----------------------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| 4,75                              | 0                  | 0,00          | 0,00               | 100,00        |
| 2,36                              | 1,4                | 0,14          | 0,14               | 99,86         |
| 1,18                              | 3,3                | 0,33          | 0,47               | 99,53         |
| 0,6                               | 46,5               | 4,66          | 5,13               | 94,87         |
| 0,3                               | 622,4              | 62,36         | 67,49              | 32,51         |
| 0,15                              | 265,6              | 26,61         | 94,10              | 5,90          |
| Fundo                             | 58,9               | 5,90          | 100,00             | 0,00          |
| <b>Soma (<math>\Sigma</math>)</b> | <b>998,1</b>       | <b>100,00</b> |                    | <b>432,67</b> |

Por meio dos valores encontrados para as porcentagens passantes (última coluna da tabela 4.2.2.1.1), traçou-se a curva granulométrica da areia. O gráfico da curva granulométrica está apresentado na figura 4.2.2.1.1.

**Figura 4.2.2.1.1:** Curva Granulométrica da Areia.  
**Figure 4.2.2.1.1:** Sand Granulometric curve.



#### 4.2.2.2 Granulometria – Resíduo de vidro

O ensaio granulométrico do resíduo de vidro, série normal, realizado conforme disposto pelas NBR NM 248, NBR NM-ISSO 3310-1, NBR NM 26, NBR NM 27 e NBR NM 46, obteve o resultado apresentado na tabela 4.2.2.2.1.



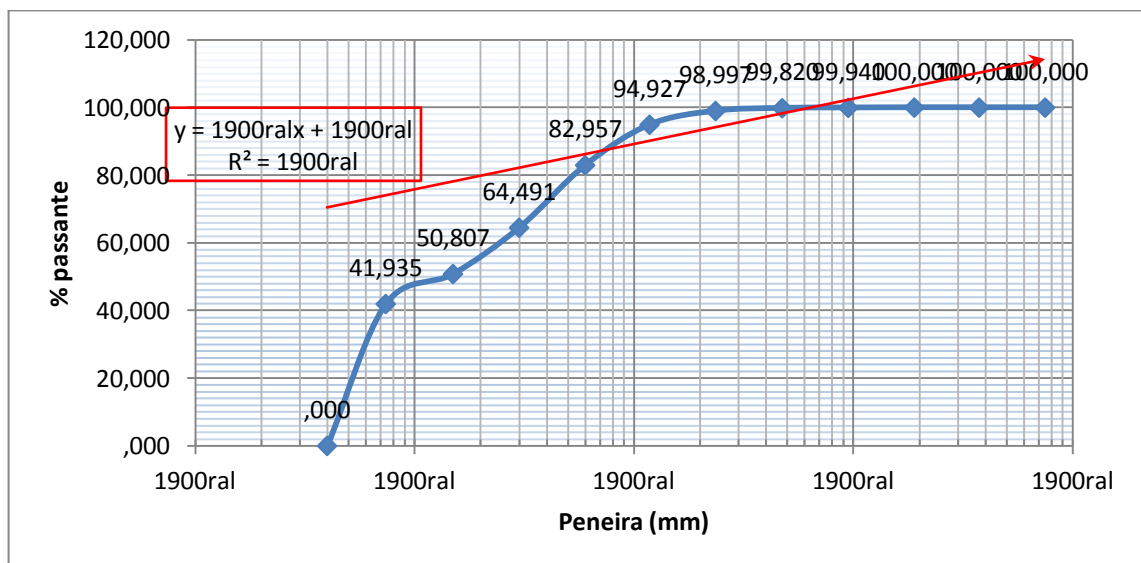
**Tabela 4.2.2.2.1:** Caracterização granulométrica do resíduo de vidro.  
**Table 4.2.2.2.1:** Granulometry characterization of glass waste.

| $\Phi$ peneira (mm) | Massa Retida (g) | % Retida | % Retida Acumulada | % Passante |
|---------------------|------------------|----------|--------------------|------------|
| 75                  | 0                | 0,00     | 0,00               | 100,00     |
| 37,5                | 0                | 0,00     | 0,00               | 100,00     |
| 19                  | 0                | 0,00     | 0,00               | 100,00     |
| 9,5                 | 0,6              | 0,06     | 0,06               | 99,94      |
| 4,75                | 1,2              | 0,12     | 0,18               | 99,82      |
| 2,36                | 8,2              | 0,82     | 1,00               | 99,00      |
| 1,18                | 40,6             | 4,07     | 5,07               | 94,93      |
| 0,6                 | 119,4            | 11,97    | 17,04              | 82,96      |
| 0,3                 | 184,2            | 18,47    | 35,51              | 64,49      |
| 0,15                | 136,5            | 13,68    | 49,19              | 50,81      |
| 0,074               | 88,5             | 8,87     | 58,07              | 41,93      |
| Fundo               | 418,3            | 41,93    | 100,00             | 0,00       |
| Soma ( $\Sigma$ )   | 997,5            | 100,00   |                    | 933,88     |

Devido à grande quantidade de material passante na peneira #200, decidiu-se que será usado no presente trabalho apenas o vidro passante na peneira #200 (>75 $\mu$ m).

Por meio dos valores encontrados para as porcentagens passantes (última coluna da tabela 4.2.2.2.1), traçou-se a curva granulométrica do resíduo de vidro. O gráfico da curva granulométrica está apresentado na figura 4.2.2.2.1.

**Figura 4.2.2.2.1:** Curva Granulométrica do resíduo de vidro.  
**Figure 4.2.2.2.1:** Granulometric curve of glass waste.



#### 4.2.2.3 Granulometria – Brita

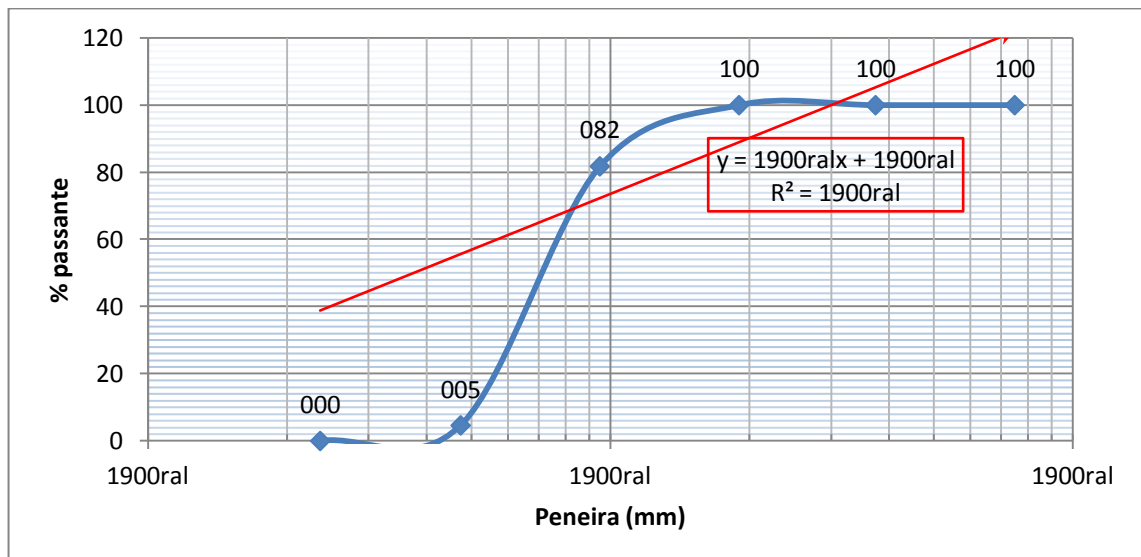
O ensaio granulométrico da brita, série normal, realizado conforme disposto pelas NBR NM 248, NBR NM-ISSO 3310-1, NBR NM 26, NBR NM 27 e NBR NM 46, obteve o resultado apresentado na tabela 4.2.2.3.1.

**Tabela 4.2.2.3.1:** Caracterização granulométrica da brita.  
**Table 4.2.2.3.1:** Granulometry characterization of crushed stone.

| $\Phi$ Peneira (mm)               | Massa Retirada (g) | % Retida      | % Retida Acumulada | % Passante    |
|-----------------------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| 75                                | 0                  | 0,00          | 0,00               | 100,00        |
| 37,5                              | 0                  | 0,00          | 0,00               | 100,00        |
| 19                                | 0                  | 0,00          | 0,00               | 100,00        |
| 9,5                               | 364,3              | 18,22         | 18,22              | 81,78         |
| 4,75                              | 1542,2             | 77,14         | 95,36              | 4,64          |
| Fundo                             | 92,8               | 4,64          | 100,00             | 0,00          |
| <b>Soma (<math>\Sigma</math>)</b> | <b>1999,3</b>      | <b>100,00</b> |                    | <b>386,42</b> |

Por meio dos valores encontrados para as porcentagens passantes (última coluna da tabela 4.2.2.3.1), traçou-se a curva granulométrica da brita. O gráfico da curva granulométrica está apresentado na figura 4.2.2.3.1.

**Figura 4.2.2.3.1:** Curva Granulométrica da Brita.  
**Figure 4.2.2.3.1:** Granulometric the Brita curve.



#### 4.2.3 Módulo de finura e Dimensão máxima

O módulo de finura foi obtido a partir da soma das porcentagens acumuladas em massa de cada agregado nas peneiras da série normal, dividido por 100. A dimensão máxima é o número da malha da peneira correspondente ao valor positivo da coluna da

porcentagem retida acumulada mais próximo do módulo de finura do material. O resultado, apresentado na tabela 4.2.3.1., foi arredondado e apresentado com duas casas decimais de importância, conforme definido em norma.

**Quadro 4.2.3.1:** Quadro de valores das dimensões máximas e módulos de finura dos agregados.  
**Frame 4.2.3.1:** Frame of maximum dimensions values and fineness modules of the aggregates.

|                    | <b>Dimensão Máxima (mm)</b> | <b>Módulo de Finura</b> |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <b>Areia</b>       | 1,18                        | 4,33                    |
| <b>Pó de vidro</b> | 1,18                        | 9,34                    |
| <b>Brita</b>       | 9,50                        | 3,86                    |

### 4.3 Traços do concreto

Após a definição do traço de referência (tabela 2.3.1) foram calculados os traços individuais com os valores das substituições de parte do agregado miúdo pelo resíduo de vidro, nas porcentagens de 5%, 10% e 15% o resultado é apresentado na tabela 4.3.1.

**Tabela 4.3.1:** Tabela de traços com resíduo de vidro em substituição da areia.  
**Table 4.3.1:** Concrete composition table with waste glass in sand replacement.

| <b>Traço</b>       | <b>% da substituição</b> | <b>Composição (Kg)</b> |              |                    |              |             |
|--------------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------------|--------------|-------------|
|                    |                          | <b>Cimento</b>         | <b>Brita</b> | <b>Pó de Vidro</b> | <b>Areia</b> | <b>Água</b> |
| <b>1</b>           | Referência               | 6,400                  | 19,584       | 0,000              | 12,416       | 3,200       |
| <b>2</b>           | 5%                       | 6,400                  | 19,584       | 0,621              | 11,795       | 3,200       |
| <b>3</b>           | 10%                      | 6,400                  | 19,584       | 1,242              | 11,174       | 3,200       |
| <b>4</b>           | 15%                      | 6,400                  | 19,584       | 1,862              | 10,554       | 3,200       |
| Consumo total (Kg) |                          | 25,600                 | 3,725        | 45,939             | 78,336       | 12,800      |

### 4.4 Moldagem dos corpos de provas

Os corpos de prova foram moldados em fôrmas cilíndricas com relação diâmetro por altura de 1/2, e medidas de 10x20cm. A figura 4.4.1 apresenta alguns corpos de provas moldados nas fôrmas 10x20cm.

### 4.5 Cura dos corpos de prova

Os corpos de prova foram submetidos à cura úmida em câmara úmida (ver figura 4.5.1) momentos após a desforma dos mesmos, realizada sempre vinte e quatro horas após o processo de moldagem, contadas a partir do início da hidratação do concreto durante sua mistura ainda na betoneira.

#### 4.6 Ensaio das propriedades mecânicas

Para a realização do ensaio de compressão foi utilizada uma prensa eletrônica da fabricante EMIC com capacidade de 200 KN, figura 4.6.1.



**Figura 4.4.1:** Corpos de prova moldados em fôrmas de 10x20cm.

**Figure 4.4.1:** Samples cast in molds of 10x20cm.



**Figura 4.5.1:** Corpos de prova em cura úmida.

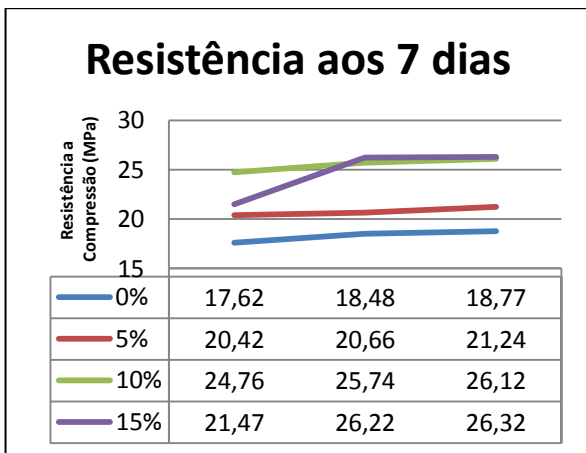
**Figure 4.5.1:** Samples cast in humid curing.



**Figura 4.6.1:** Prensa eletrônica utilizada nos ensaios, capacidade de 200KN.

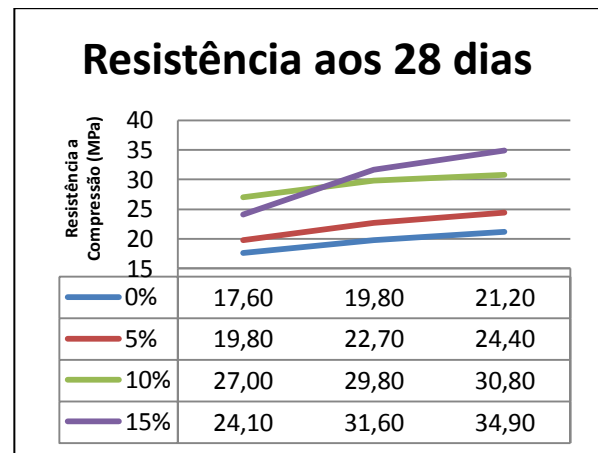
**Figure 4.6.1:** Electronic press used in the tests, 200KN capacity.

As figuras 4.6.2 a 4.6.4 apresentam os resultados dos ensaios de resistência para os traços individualmente, aos sete, quatorze e vinte e oito dias, respectivamente. A figura 4.6.5 apresenta um comparativo geral da evolução das resistências ao longo do tempo e em função da substituição do agregado miúdo pelo vidro moído. A tabela, **ANEXO A**, apresenta os valores das resistências obtidas para cada corpo de prova ensaiado e outras informações pertinentes a confecção dos mesmos.



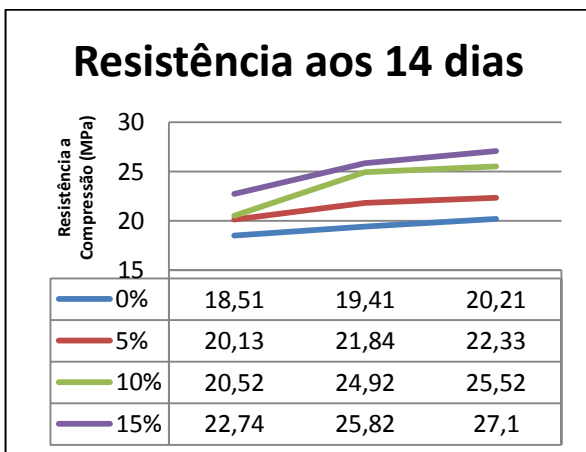
**Figura 4.6.2:** Gráfico dos valores de resistência aos sete dias.

**Figure 4.6.2:** Graph of resistance values on the seventh day.



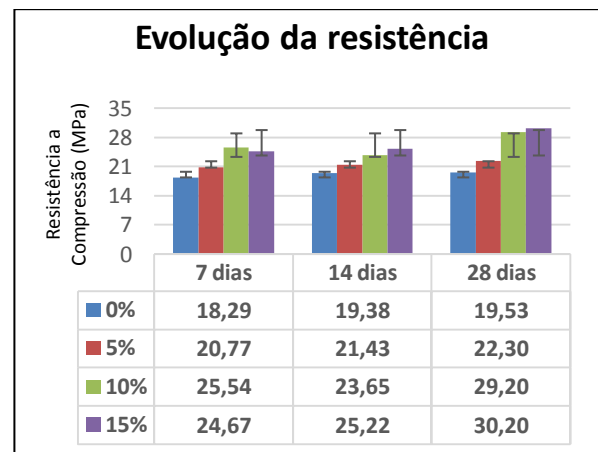
**Figura 4.6.4:** Gráfico dos valores de resistência aos vinte e oito dias.

**Figure 4.6.4:** Graph of resistance values to twenty-eight days.



**Figura 4.6.3:** Gráfico dos valores de resistência aos quatorze dias.

**Figure 4.6.3:** Graph of resistance values on the fourteenth day.



**Figura 4.6.5:** Gráfico da evolução das resistências em função do tempo.

**Figure 4.6.5:** Trend graph of the resistance versus time.

Observa-se, nas figuras 4.6.2, 4.6.3 e 4.6.4, que todos os corpos de prova dos traços com substituição de parte da areia por resíduo de vidro (5%, 10% e 15%) apresentaram resultados de desempenho superiores aos dos corpos de prova referência.

Observou-se as diferenças positivas de 14% (aprox. 3 Mpa), 50% (aprox. 10 Mpa) e 55% (aprox. 11 Mpa) nos corpos de prova com substituição da areia por 5%, 10% e 15% de resíduo de vidro, respectivamente, quando comparados aos resultados de referência aos 28 dias de idade. Tal diferença tão significativa pode estar ocorrendo devido à característica pozolânica que o vidro adquire quando em fina granulometria, o que o torna mais reativo que a areia, porém, também pode ser devido a uma melhora do empacotamento das partículas do concreto em função das minúsculas partículas de vidro ocuparem os pequenos vazios do concreto. A figura 4.6.5 nos possibilita uma melhor visualização da evolução das resistências nos concretos em função do teor da Substituição X Tempo.

#### **4.7 Estudo da viabilidade**

Observando os resultados da pesquisa realizada sobre a geração de resíduo de vidro na cidade de Palmas, pode-se concluir que é o volume de resíduo gerado é enorme e que grande parte deste, quando não reciclado, acaba sendo descartado e indo parar em lixões ou aterros da cidade, agravando ainda mais o quadro da poluição causada pelo homem, uma vez que, estudos e também a mídia, por meio de artigos científicos, propagandas de televisão e mídias impressas, relatam que a natureza leva cerca de 4.000 (quatro mil) anos para decompor o vidro comum descartado nos aterros e lixões (CEBRACE, 2014).

Em se tratando de resistência e custo benefício e por ser um material que é produzido em larga escala (cerca de 1800 ton/ano), sem valor comercial, até então sem utilização e descartado pelas fábricas e vidraçarias nos aterros sanitários da cidade ou enviado para empresas de reciclagem em outros estados, pode-se afirmar que a viabilidade da utilização do resíduo de vidro moído no concreto convencional é totalmente positiva, uma vez que, além do ganho ambiental, os resultados obtidos nos ensaios de compressão dos concretos com proporções de 5%, 10% e 15% de substituição, mostraram uma resistência com aumento muito significativo em relação ao concreto de referência.

## 5. CONCLUSÕES

Embasados nos resultados obtidos a partir do presente projeto de pesquisa, pode-se concluir que o resíduo vítreo, quando em granulometria muito fina ( $< 75\mu\text{m}$ ), decorrente do processo de moção ou do lixamento de placas de vidro nas fábricas e vidraçarias da cidade de Palmas-TO, pode ser utilizado como material de construção, enquanto agregado.

O reaproveitamento desse resíduo na indústria da construção civil é viável, considerando que sendo utilizado na produção de concretos convencionais produziu resultados muito satisfatórios, quando comparados com os dos corpos de prova de referência. A inserção do resíduo em substituição da areia na produção de concretos, tende a reduzir o custo do concreto, visto que, promove a redução da quantidade de areia a ser usada.

O reaproveitamento do resíduo de vidro evita o descarte em aterros, tornando os concretos produzidos com a substituição parcial do agregado miúdo um material de construção sustentável, intensificando a cadeia produtiva do vidro, dando um novo fim ao material que antes era inutilizado.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738/2003 – *Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739/1994 – *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776/1987 - *Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9937/1997 - *Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo, respectivamente*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248/2001 – *Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM-ISSO 3310-1/1997 – *Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1 - Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 26/2009 – *Amostragem de agregados*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 27/2001 – *Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório*. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46/2001 – *Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75um por lavagem*. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

- BABU, K. G, PRAKASH, P.V. 1995. *Cement and Concrete Research*, p 25.
- CEBRACE. 2014. *O Vidro*, <<http://www.cebrace.com.br/v2/vidro>>. Acesso em 17/02/2014.
- CEMPRE. 2014. *Consórcio Empresarial para a Reciclagem*, [www.cempre.org.br](http://www.cempre.org.br). Acesso em: 15/02/2014.
- CRENTSIL et al. 2001. *Recycled glass as sand replacement in premix concrete*, Ed. Eco-Recycled Australia and CSIRO, p 45-46.
- FERRARI, G. JORGE, J. 2014. *Materiais e Tecnologias*. São Paulo: Universidade Bandeirantes. (Notas de aula). p 22.
- SHACKELFORD, J. F. 2008. *Introdução à Ciência dos Materiais Para Engenheiros*. Trad. Daniel Vieira. São Paulo: Pearson. 6.ed, p 145.
- 

### **Rafael dos Santos Cordeiro**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Tocantins, Estagiário na Odebrecht Ambiental, é o atual presidente da Liga de Concretos Especiais da UFT, onde coordena e realiza pesquisas relacionadas aos concretos com características especiais, desenvolve três projetos de iniciação científica na UFT, sendo dois deles patrocinados pelo CNPq.

E-mail: [rafaeldosscc@hotmail.com](mailto:rafaeldosscc@hotmail.com)

Endereço: Curso de Engenharia Civil pela Universidade Federal do Tocantins - Avenida NS 15, 109 Norte - Plano Diretor Norte - Palmas - TO, 77001-090

### **Adão Lincon Bezzerra Montel**

Possui graduação em Bacharelado Em Química pela Universidade Federal de Goiás (2003), mestrado em Química pela Universidade de Brasília (2006) e doutorado em Química pela Universidade de Brasília (2011). Atualmente é professor adjunto da Fundação Universidade Federal do Tocantins.

E-mail: [montel@uft.edu.br](mailto:montel@uft.edu.br)

Endereço: Curso de Engenharia Civil pela Universidade Federal do Tocantins - Avenida NS 15, 109 Norte - Plano Diretor Norte - Palmas - TO, 77001-090



**ANEXO A** – Tabela de resultados dos ensaios de compressão.

## ANEXO A

**Tabela de resultados obtidos nos ensaios de resistência a compressão**

| Traço | Substituição | Data rodagem | Tempo de mistura | Temperatura da moldagem (°C) | Humidade do Local (%) | Cura  |                 |                     | Ruptura (Mpa) |       |       |         |       |       |         |       |       | Total de C.Ps |
|-------|--------------|--------------|------------------|------------------------------|-----------------------|-------|-----------------|---------------------|---------------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------------|
|       |              |              |                  |                              |                       | Tipo  | Temp. água (°C) | Data e hora início  | 7 dias        |       |       | 14 dias |       |       | 28 dias |       |       |               |
| 1     | 0% - Ref.    | 17/01/14     | 9min             | 28,3                         | 62                    | úmida | 26              | 20/01/14<br>14:20   | 17,62         | 18,48 | 18,77 | 18,51   | 19,41 | 20,21 | 17,60   | 19,80 | 21,20 | 10            |
| 2     | 5%           | 17/01/14     | 9min             | 28,2                         | 66                    | úmida | 26,1            | 20/01/14<br>14:20   | 20,42         | 20,66 | 21,24 | 20,13   | 21,84 | 22,33 | 19,80   | 22,70 | 24,40 | 10            |
| 3     | 10%          | 21/01/14     | 9min             | 28,1                         | 65                    | úmida | 26,1            | 22/01/14<br>- 16:00 | 24,76         | 25,74 | 26,12 | 20,52   | 24,92 | 25,52 | 27,00   | 29,80 | 30,80 | 10            |
| 4     | 15%          | 22/01/14     | 9min             | 28,2                         | 70                    | úmida | 26              | 23/01/14<br>11:40   | 21,47         | 26,22 | 26,32 | 22,74   | 25,82 | 27,10 | 24,10   | 31,60 | 34,90 | 10            |