

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO PARCIAL DE PÓ DE VIDRO

Rayssa Renovato dos Reis¹; Filipe Bittencourt Figueiredo².
rayssa_r_reis@hotmail.com¹; FILIPEFIGUEIREDO@ufgd.edu.br²;

RESUMO - O setor de construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais que existe no mundo. Sendo assim, há preocupações para se conseguir alternativas sustentáveis, a fim de minimizar os efeitos que o mesmo causa no meio ambiente. Uma das opções para reduzir os prejuízos causados por esse departamento seria promover a reutilização de resíduos, inserindo-os como agregado. Estudos feitos sobre o vidro mostram que ele é um material totalmente reutilizável, e também possui características adequadas para ser incorporado na construção civil. Em virtude dos fatos mencionados, o presente artigo exhibe, por meio de análise das propriedades físicas e mecânicas, a viabilidade da substituição de parte do agregado miúdo pelo pó de vidro proveniente de descartes da região de Dourados no Mato Grosso do Sul. As análises foram feitas através da comparação entre os testes feitos com o concreto convencional de traço 1: 2,9: 2,1 (cimento: areia: brita) e as amostras com a substituição da areia pelo pó de vidro em 10, 15 e 20%. Os resultados obtidos foram satisfatórios, sendo que a amostra com o resultado mais eficaz foi a com substituição de 20% de pó de vidro.

Palavras-chave: Pó de Vidro. Agregado Miúdo. Concreto.

ABSTRACT: *The construction industry is one of the largest consumers of natural resources in the world. Thus, there are concerns about achieving sustainable alternatives to minimize the effects it causes in the environment. One option to reduce the damage caused by this department would be to promote the reuse of waste by inserting them*

as an aggregate. Studies done on glass show that it is a completely reusable material, and also has suitable characteristics to be incorporated into the construction. Considering the facts above, the present article shows, through an analysis of the physical and mechanical properties, the viability of replacing part of the fine aggregate with glass powder of the region of Dourados, in Mato Grosso do Sul, comparing the tests carried out with conventional concrete 1: 2.9: 2.1 (cement: sand: gravel) and the samples replacing the sand with 10, 15 and 20% glass powder. The results obtained were satisfactory, with the most effective result being the substitution of 20% of glass powder..

Keywords: Glass powder. Fine aggregate. Concrete.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação pelo reaproveitamento de resíduos gerados nos centros urbanos, com a intenção de diminuir o consumo de matérias-primas, é uma alternativa para a sociedade, tanto para a preservação dos recursos naturais, como evitar a deposição de resíduos no meio ambiente.

Segundo Sauer (2013), o setor de construção civil é um dos principais pilares da economia que gera os resíduos sólidos e o consumo dos recursos naturais. De acordo com Mehta (2002), a indústria de concreto utiliza 1,6 bilhões de toneladas de cimento, 10 bilhões de toneladas de rocha e areia, e 1 bilhão de toneladas de água anualmente. E para minimizar as consequências do impacto causado por esse setor, têm-se algumas

alternativas, dentre elas a utilização de resíduos como agregado na fabricação de argamassa e concreto.

Babu e Prakash (1995), afirmam que uma das maiores indústrias com capacidade de ser uma alternativa sustentável para a destinação de diversos resíduos é a de produção de concreto. A substituição de agregado por alguns resíduos pode ser utilizada como uma forma de melhorar as propriedades físicas e mecânicas do concreto, como já demonstrada através de outras pesquisas o uso de alguns materiais, como as substâncias pozolânicas (materiais de origem vulcânica, cinzas volantes, entre outros).

De acordo com NBR 7211/09, para um material ser considerado como agregado, os requisitos gerais são de que seus grãos

devem ser duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, não podendo conter substâncias de natureza e em quantidade que altere a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade e o aspecto visual externo do concreto.

Segundo a NBR 12653/14, os materiais pozolânicos são compostos silicosos ou silicoaluminosos que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante quando estão isolados, no entanto, quando são transformados em partículas miúdas e com acréscimo de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente formando substâncias com propriedades aglomerantes. Segundo Dyer e Dhir (2001), o vidro por conter uma grande quantidade de silício e cálcio, tornando o material, em teoria, pozolânico.

Ferrari e Jorge (2014) afirmam que o vidro tem diversas aplicações, pois o mesmo apresenta propriedades propícias para isso, como, ser um óxido metálico superesfriado transparente de elevada dureza, essencialmente inerte e biologicamente inativo, com baixa porosidade, absorvidade, dilatação e condutibilidade térmica e capaz de suportar pressões de 5800 a 10800 Kg/cm².

Segundo a CEMPRE - Consórcio Empresarial para Reciclagem (2011), o Brasil fabrica em torno de 980 mil toneladas de

embalagem de vidro ao ano, e somente cerca de 47% das embalagens foram recicladas no ano de 2011, ou seja, 470 mil ton/ano. O Brasil pode expandir mais a reciclagem de vidro como o que acontece em outros países, por exemplo, a Suíça com 95%, e a Alemanha com 87%. De acordo com Rodrigues (2017), a reciclagem de vidro é muito utilizada em todo o mundo, representando significativamente a economia de matéria-prima e colaborando para a melhoria e qualidade ambiental.

Dando especificidade à reciclagem de vidros, Ferrari e Jorge (2014) declaram também que o vidro é um material 100% reciclável, sendo assim, a sua reutilização possibilita a conservação de materiais, a redução do consumo de energia e do volume do lixo enviado aos aterros sanitários.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Este artigo tem como objetivo geral analisar as propriedades físicas e mecânicas do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo pelo pó de vidro nas proporções de 10, 15 e 20%.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram objetivos específicos desta pesquisa:

- Escolha do traço piloto para confecção dos corpos de prova;
- Realizar ensaio de Granulometria no agregado miúdo e no pó de vidro;
- Ensaio de resistência mecânica a compressão;
- Ensaio de abatimentos do concreto no estado fresco (*Slump Test*);
- Ensaio de tração por compressão diametral;
- Ensaio de absorção;
- Determinação do índice de vazios.

3. JUSTIFICATIVA

Segundo IBRAM (2012), as substâncias minerais mais consumidas no mundo são os agregados, sendo este um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta de uso imediato na indústria da construção civil, sendo os principais utilizados, a areia e a pedra britada.

Barea (2013) relata que, além de efeitos ambientais, há também outros fatores desfavoráveis à exploração dos minerais, que são os empecilhos no acesso às reservas desses materiais, por exemplo, a legislação ambiental restritiva, a expansão urbana, e a distância, pois uma jazida de boa qualidade pode estar localizada distante demais do mercado consumidor, o que torna

inviável sua exploração devido ao elevado custo de transporte.

Rosa (2007) relata da possibilidade de o vidro ser um agregado, mostrando que o mesmo está entre os materiais de uso mais frequente em embalagem e é o que apresenta maior facilidade para a reciclagem.

Sendo que o vidro, em termos teóricos, é 100% reciclável, ou seja, a mesma “unidade” de vidro pode ser reutilizada inúmeras vezes. Logo, é uma grande vantagem do ponto de vista ambiental, não só pela economia de matérias-primas, como também pela menor geração de lixo urbano.

Portanto, para solucionar o problema da grande quantidade de areia extraída e do descarte impróprio dos resíduos de vidro, o presente artigo relata a viabilidade da substituição do agregado miúdo por pó de vidro, com o intuito de ser uma alternativa sustentável.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. AGREGADOS

Segundo Valverde e Tsuchiya (2009), os agregados usados na construção civil precisam ser materiais minerais sólidos inertes, os quais contém granulometria adequada para fabricação de produtos artificiais quando misturados com materiais

aglomerantes de ativação hidráulica ou com ligantes betuminosos.

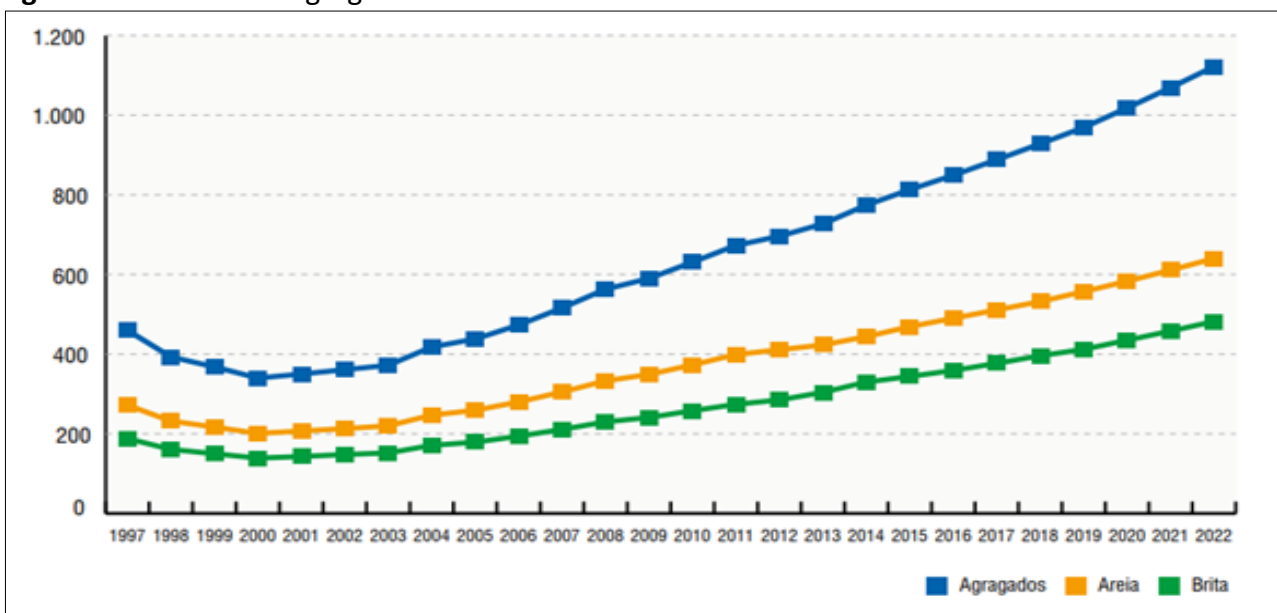
De acordo com Hagemann (2011), os agregados em sua maioria estão disponíveis na natureza, como é o caso das areias, seixos e pedras britadas. Sendo que alguns passam por processos de melhoramento como é o caso das britas.

4.1.1. IMPACTO AMBIENTAL

Valverde (2001), afirma que os insumos minerais mais utilizados no mundo são os

agregados da construção civil. Penna (2010), ressalta que esse consumo é cerca da metade da produção mundial. A Figura 1 a seguir, mostra o gráfico da evolução e da projeção do consumo de agregados no Brasil no período de 1997 a 2022, que foi uma pesquisa feita pela Anepac (Associação Nacional das Entidades de Produtos de Agregados para Construção Civil) em 2012 exposta pelo Ibram (2012):

Figura 1. Consumo de agregados no Brasil em milhões de toneladas.



Fonte: IBRAM, 2012.

De acordo com Santos (2015), a exploração mineral nunca será uma atividade sustentável, visto que o material extraído jamais será resposto. Os impactos ambientais não são apenas pelo material extraído, mas também estão diretamente associados nas fases de exploração, como, a abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobre pressão atmosférica, vibração do terreno, ultra lançamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local.

A Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986, em seu artigo 1º considera que impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- As condições de vida da população;
- A economia;
- As relações sociais;
- Qualquer conjunto de seres vivos;
- As características dos recursos ambientais;

- A propriedade ambiental esteticamente ou sanitariamente.

Santos (2015) enumera alguns dos impactos ambientais decorrentes da mineração de agregados para construção civil, em particular as areias, exposto nos seguintes itens:

- Assoreamento, que é causado pelo elevado teor de sedimentos em suspensão;
- Retirada da cobertura vegetal;
- Alteração do relevo;
- Mudança do curso de água;
- Surgimento de buracos;
- Sedimentação de materiais nos cursos d'água;
- Destruição de áreas de preservação permanente;
- Destruição da biota.
- Erosão;
- Voçorocas
- Alteração da hidrogeologia.

4.2. VIDRO

O resíduo de vidro possui diversas aplicações, sendo uma delas, a sua inserção na construção civil como agregado, o que se torna viável devido às características expostas nos Quadros 1 e 2 a seguir:

Quadro 1. Principais Propriedades físicas do vidro.

PROPRIEDADES FÍSICAS
Ótima resistência à água e a líquidos salgados bem como substâncias orgânicas, álcalis e ácidos, com exceção ao ácido fluorídrico e ofosfórico.
Alta durabilidade
Baixa condutividade elétrica
Dilatação térmica muito baixa

Fonte: Coelho, 2013 (adaptado).

Quadro 2. Maiores atrativos do vidro.

ATRATIVOS
Transparente
Inerte
Prático e Versátil
Reutilizável
Higiênico
Impermeável
Retornável

Fonte: Coelho, 2013 (adaptado).

O vidro, de acordo com a Resolução CONAMA n° 431, é classificado como Classe B de resíduos sólidos, no documento é relatado que todo material dessa classe é considerado reciclável para outras destinações. Segundo a Resolução CONAMA nº 307, todo resíduo da Classe B deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

No entanto, a Abividro (2013) nos relata que o vidro, no Brasil, acaba sendo na maioria das vezes, destinado para aterros sanitários ou simplesmente descartado em lixões.

4.3. ATERROS SANITÁRIOS

De acordo com Elk (2007), o aterro sanitário é projetado a partir de critérios técnicos, sendo responsável por garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. No entanto, Costa e Ribeiro (2013) afirmam que os aterros sanitários possuem desvantagens, por exemplo, o surgimento de odores característicos, a possibilidade de exposição e riscos aos trabalhadores, e ainda a resistência por parte da comunidade próxima, fenômeno internacionalmente conhecido como "Not in My BackYard" (NINBY), ou seja, "Não no Meu Quintal". E, como também, esses aterros se constituem em fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), na contaminação dos lençóis freáticos e aquíferos, e transmissão de doenças, sobretudo, após seu encerramento, há possibilidade de passivos ambientais. Além das consequências do aterro sanitário já executado, há algumas dificuldades para construção do mesmo, como, a exigência de grandes extensões de terras, alto custo econômico na implantação e na manutenção, além de ter limitações na quantidade de camadas de lixo.

4.4. RECICLAGEM

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2012), reciclar envolve fabricação

do produto a partir de um material usado, ou seja, a transformação dos materiais. E de acordo com Abividro (2018), seria possível reaproveitar integralmente as embalagens de vidro com enormes benefícios ecológicos, econômicos e sociais, por exemplo, proporcionar um menor descarte de lixo, assim aumentar a vida útil dos aterros sanitários que auxiliaria na preservação do meio ambiente, e aumentar a viabilidade econômica com a redução dos custos de coleta urbana, promovendo a geração de empregos com a instalação de um processo de coleta que não necessita de uma especialização. Assim, além de ter uma lucratividade, a reciclagem do vidro agregaria uma qualidade de vida maior para população. Logo, a melhor alternativa para a destinação final do vidro seria a reciclagem.

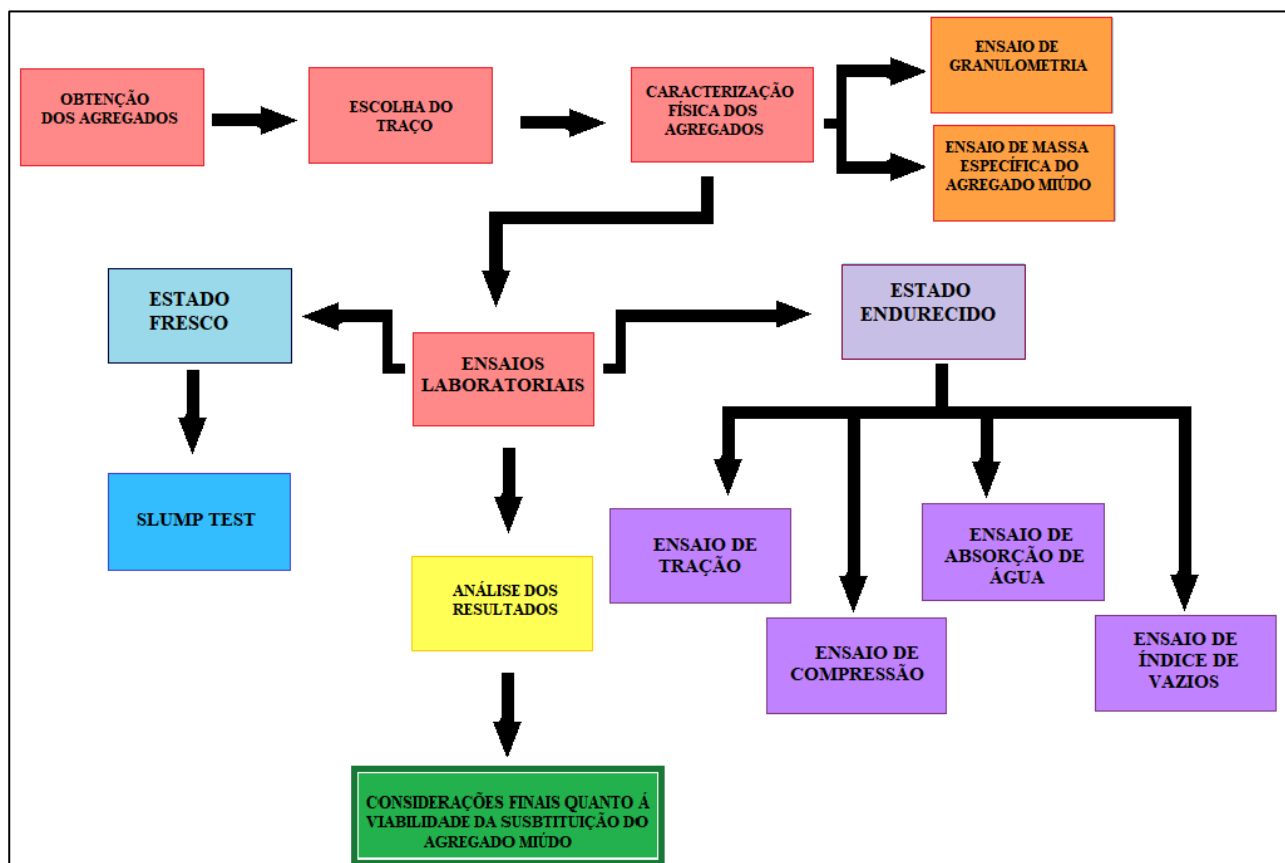
5. METODOLOGIA

Figura 2. Fluxograma da Pesquisa

A metodologia utilizada na presente pesquisa consistiu em um estudo experimental, ou seja, delimitou-se o fenômeno, formularam-se hipóteses, determinaram-se os métodos e submeteu-se o fenômeno à experimentação em condições de controle (LAKATOS e MARCONI, 2017).

Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Engenharia de Produtos e Processos da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados (LEPP/FAEN-UFGD).

O estudo experimental procurou avaliar as propriedades consideradas essenciais para um bom desempenho de uma estrutura de concreto, assim, envolvendo ensaios no estado fresco, como determinação do índice de consistência, e no estado endurecido, resistência à compressão, resistência à tração e absorção de água por capilaridade e ensaio do índice de vazios. Como mostra no fluxograma na Figura 2 a seguir:



Fonte: Autoria própria, 2018.

5.1. OBTENÇÃO DOS AGREGADOS

Os materiais foram escolhidos levando em consideração a NBR 15900-1/09 e a NBR 6118/14, e também por serem os componentes comumente aplicados na produção de concreto na região de Dourados-MS. Sendo expostos a seguir, os materiais usados neste trabalho:

- Cimento Portland CP II Z 32;
- Areia Média com 5% de umidade;
- Brita nº1;
- Água;
- Pó de vidro.

O pó de vidro foi doado pelo Eco Vidros, o qual foi moído até chegar numa granulometria que varia entre 0,15- 1,18 mm,

especificado seguindo as orientações das NBR 7217/87, NBR NM-ISO 2395/97 e NBR 7211/09.

5.2. A ESCOLHA DO TRAÇO

A escolha do traço foi seguindo a orientação de Silva (1975), para produzir um concreto de 25 MPa foi usada a proporção de 1 : 2,9 : 2,1 : 0,55 (cimento : brita : areia : água), como mostra na Quadro 3.

Quadro 3. Composição do traço para uso geral de um concreto de resistência de 25 MPa aos 28 dias.

Composição Unitária, em Volume (por m ³ de Concreto)	
Brita 1	740 litros
Areia (h=5%)	586 litros
Cimento	355 Kg

Água	175 litros
------	------------

Fonte: Silva, 1975 (adaptado).

Os testes foram feitos em corpo-de-prova de proporções em 10, 15 e 20% de substituição do agregado miúdo pelo pó de vidro.

Para possibilitar a comparação entre os traços avaliados, foram adotados como fatores constantes:

- Origem dos materiais;
- Procedimento de moagem e a granulometria do resíduo;
- Preparação, moldagem dos corpos-de-prova;
- A cura de três dias por imersão dos corpos-de-prova;
- Idades de 7, 21 e 28 dias para romper os corpos-de-prova no ensaio de resistência à compressão;
- Corpos-de-prova cilíndricos de 10x20 cm;
- Classe do concreto de C25.

Esses parâmetros foram estipulados com o auxílio das NBR 7215/96, NBR 6118/14, NBR 12655/15 e NBR 5738/15.

Os corpos-de-prova foram classificados de acordo com a alteração do traço em relação da porcentagem de pó de vidro existente na sua composição, cujas nomenclaturas foram R1, R2, R3, R4 e R5, sendo respectivamente, o traço piloto e as

substituições parciais da areia pelo pó de vidro em 10, 15 e 20%.

5.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS

Os ensaios de massa específica foram realizados de acordo com o disposto nas NBR NM 27/01 e NBR NM 52/09.

Os ensaios granulométricos foram realizados conforme as NBR NM 248/03, NBR 7211/09.

5.4. ENSAIOS LABORAIS

Durante a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de acordo com a norma 5738/03, foi feito o teste de abatimento ou "Slump Test" seguindo as orientações da NBR NM 67/98.

Para determinar o índice de vazios das amostras, foi necessário descobrir a massa específica do corpo-de-prova seco e do saturado, esse ensaio foi realizado seguindo a NBR 9778/05. Para identificar a absorção de água por capilaridade realizou-se o ensaio conforme a NBR 9779/12.

Para o ensaio de resistência de compressão do corpo-de-prova, foi utilizado as orientações da NBR 7215/96 e da NBR 5739/18.

O ensaio de resistência de tração foi feito com o consentimento da NBR 7222/11,

que se realizou através da compressão diametral dos corpos-de-prova cilíndricos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Quadro 4 mostra os traços dos corpos-de-prova com as suas devidas identificações e volume dos agregados que o compõem:

Quadro 4. Composição dos corpos-de-prova.

COMPOSIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA						
TRAÇO	Pó de Vidro (%)	Cimento (l)	Brita (l)	Areia (l)	Água (l)	Pó de vidro (l)
R1	0	10,1	20,98	16,62	5,3	-
R2	10	10,1	20,98	14,96	5,3	1,66
R3	15	10,1	20,98	14,12	5,3	2,5
R4	20	10,1	20,98	13,29	5,3	3,33

Fonte: Autoria própria, 2018.

6.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS

No Quadro 5, estão expostas as três amostras de areia e do pó de vidro que foram usadas para se fazer a relação de massa específica. O ensaio de massa específica dos agregados utilizados na composição mostrou que massa específica da areia é relativamente próxima ao pó de vidro, o que proporciona uma substituição no concreto numa quantidade de massa próxima a da areia.

Quadro 5. Massas específicas do agregado miúdo (NBR NM 52/09).

MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS MIÚDOS (g/cm ³)		
AMOSTRA	Areia	Pó de vidro
1	16,37	14,41
2	15,13	15,32
3	15,50	14,13
MÉDIA	15,67	14,62

Fonte: Autoria própria, 2018.

As análises da granulometria, que foram feitas nos agregados miúdos utilizados na composição, estão expostas a seguir nos Quadros 6 e 7:

Quadro 6. Composição granulométrica da areia (NBR NM 248/03).

AREIA				
Φ peneira (mm)	massa retida (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
2	2.10	0.70	0.70	99.30
1,7	0.00	0.00	0.70	99.30
1,4	0.00	0.00	0.70	99.30

1,18	6.21	2.07	2.77	97.23
0,6	44.79	14.94	17.71	82.29
0,425	86.62	28.88	46.59	53.41
0,3	87.49	29.18	75.77	24.23
0,15	67.26	22.43	98.19	1.81
< 0,15	5.41	1.81	100.00	0.00
Σ	299.87	100.00		

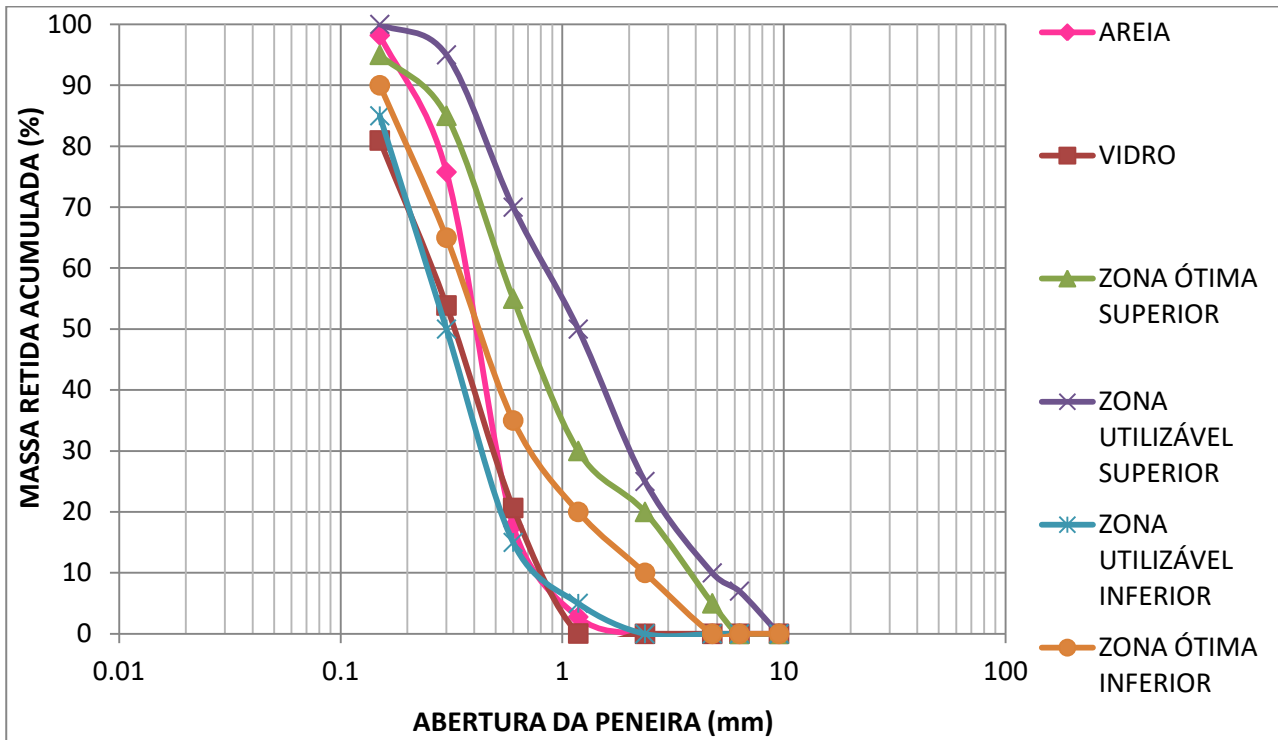
Fonte: Autoria própria, 2018.

Quadro 7. Composição granulométrica do pó de vidro (NBR NM 248/03).

PÓ DE VIDRO				
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
2	0.00	0.00	0.00	100.00
1,7	0.00	0.00	0.00	100.00
1,4	0.00	0.00	0.00	100.00
1,18	0.15	0.05	0.05	99.95
0,6	61.78	20.60	20.65	79.35
0,425	51.07	17.03	37.67	62.33
0,3	48.61	16.20	53.88	46.12
0,15	81.21	27.07	80.95	19.05
< 0,15	57.16	19.05	100.00	0.00
Σ	299.99	100.00		

Fonte: Autoria própria, 2018.

Gráfico 1. Curva Granulométrica dos agregados miúdos (NBR 7211/09).



Fonte: Autoria própria, 2018.

Como foi mostrado na composição (Quadros 6 e 7) e na curva granulométrica (Gráfico 1), a areia e pó de vidro, em sua maioria, estão dentro da faixa estipulada pela NBR 7211/09. No entanto, há pequenas porcentagens fora da zona de utilização, as quais podem gerar problemas na microestrutura do concreto estudado, como, maiores porosidades, resistências menores e absorção de água elevada, entre outros.

6.3. ENSAIOS LABORAIS

O ensaio de "Slump Test" mostrou que o concreto composto por pó de vidro possui uma diminuição na sua

trabalhabilidade, o que se pode verificar com o Quadro 8 a seguir:

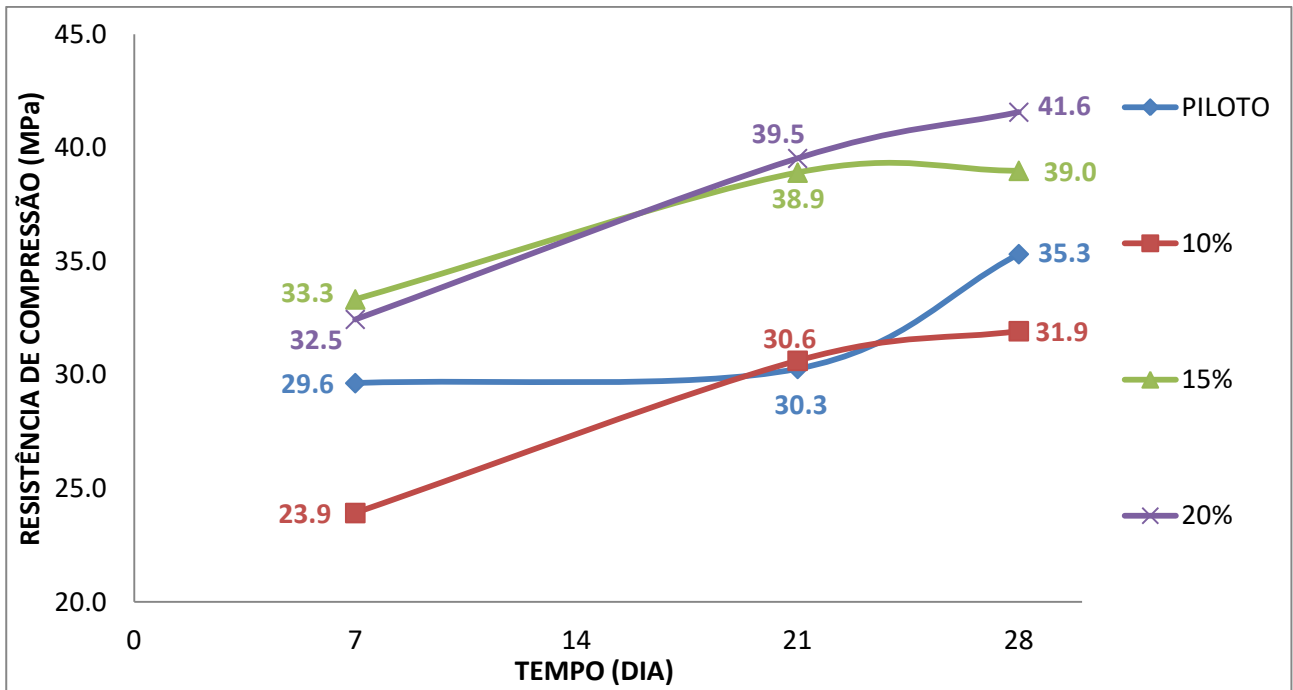
Quadro 8. Altura do ensaio de abatimento (NBR NM 67/98).

SLUMP TEST	
TRAÇO	ALTURA (mm)
R1 (piloto)	90
R2 (10%)	65
R3 (15%)	45
R4 (20%)	35

Fonte: Autoria própria, 2018.

O ensaio de compressão foi realizado com máquina de compressão manual cedida pela empresa Polimix Concreto, o qual obteve resultados bastante satisfatórios, como mostra o Gráfico 2 a seguir:

Gráfico 2. Evolução da resistência à compressão dos traços de concreto (NBR 5739/18).



Fonte: Autoria própria, 2018.

Com o Gráfico 2 de resistência à compressão, observou-se que a maior resistência foi do R4 (20%), o qual teve uma melhoria de 17,85% em relação ao traço piloto. Também temos para a resistência de R3 (15%) uma melhoria de 7,65% ao comparada com o concreto convencional (R1).

Percebe-se, com o Quadro 9, que o concreto não é suscetível à esforços de tração.

Quadro 9. Resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222/11).

TRAÇO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)
R1 (piloto)	2,499
R2 (10%)	2,832
R3 (15%)	3,085
R4 (20%)	3,193

Fonte: Autoria própria, 2018.

O ensaio de resistência à tração nos mostra significativamente um valor muito inferior ao de resistência à compressão, o que já era esperado de acordo com Muzardo, Pinheiro e Santos (2004), que afirmam que o concreto tem baixa resistência a tração quando comparado com sua resistência à compressão.

No entanto, os resultados de ensaio de tração mostram uma melhora na sua resistência com os traços com substituição parcial do pó de vidro (R2, R3 e R4) quando comparada com a resistência do concreto convencional (R1). Sendo o melhor traço o R4 (20%), o qual obteve um aumento de sua resistência em 27,77% em relação ao traço piloto.

Com o Quadro 10, pode-se considerar que os corpos-de-prova que alcançaram

maiores resistência são os que menos foram o R3 (15%) e R4 (20%). tiveram absorção por capilaridade, que

Quadro 10. Relação da absorção de água por capilaridade em função do tempo (NBR 9779/12).

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE (g/cm ²)						
TRAÇO	ALTURA TRANSVERSAL (cm)	TEMPO (h)				
		3	6	24	48	72
R1 (piloto)	5,5	0,0001401	0,0002419	0,0005220	0,0007385	0,0008531
R2 (10%)	6	0,0001655	0,0002547	0,0005475	0,0007512	0,0008658
R3 (15%)	5	0,0001146	0,0001910	0,0004456	0,0005730	0,0006621
R4 (20%)	4	0,0001019	0,0001783	0,0003820	0,0005093	0,0006112

Fonte: Autoria própria, 2018.

Então, pode-se afirmar que os traços cujas resistências são melhores, também são os que possuem menos porosidade na sua estrutura.

O Quadro 11 mostra os resultados obtidos no ensaio de índices de vazios, nesse ensaio consegue-se determinar os índices de vazios, as massas específicas e a absorção de água por imersão dos corpos-de-prova.

Quadro 11. Relação da absorção de água por imersão, do índice de vazios e as massas específicas dos corpos-de-prova (NBR 9778/05).

TRAÇO	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO (%)	ÍNDICES DE VAZIOS (%)	MASSA ESPECÍFICA SECA (g/cm ³)	MASSA ESPECÍFICA SATURADA (g/cm ³)	MASSA ESPECÍFICA REAL (g/cm ³)
R1 (piloto)	10,00	14,29	1,429	1,571	1,667
R2 (10%)	10,14	14,89	1,468	1,617	1,725
R3 (15%)	8,45	12,50	1,479	1,604	1,690
R4 (20%)	8,22	12,24	1,490	1,612	1,698

Fonte: Autoria própria, 2018.

Ao analisar o quadro a cima, a absorção de água por imersão promoveu a mesma conclusão do ensaio de absorção por capilaridade, a qual relatou que as maiores porcentagens de absorção foram em traços de menores resistências. Observou-se, também, que as porcentagens mais baixas de

absorção de água por imersão são as que possuem menores índices de vazios.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Contemplou-se, com os ensaios, que a microestrutura do concreto é relevante para se conseguir bons resultados. Como se observa nos itens anteriores, o traço que possuiu mais porosidade, ou seja, teve o maior índice de vazios e a maior absorção, foi o que conteve o pior desempenho nas suas resistências de tração e compressão.

Através de uma análise especial nos resultados dos ensaios feitos com o traço R2 (10%), percebe-se que aos 28 dias, a sua resistência à compressão foi menor que a do piloto, no entanto ultrapassou o objetivo, 25 MPa. Um dos fatores que pode ter influenciado esse resultado foi a sua composição microestrutural, pois pelo ensaio de índice de vazio conclui-se que foi a estrutura que apresentou mais porosidade.

Com o ensaio de abatimento do concreto (*Slump Test*), observou-se que a trabalhabilidade do concreto diminui conforme aumenta a sua substituição do agregado miúdo pelo pó de vidro. Concluindo assim, que para substituições maiores que 20% haveria a necessidade de acréscimo de água, o que promoveria uma mudança no traço na relação de água/cimento.

Sendo assim, apesar das variantes experimentais, o vidro com substituinte parcial da areia no concreto promoveu resultados satisfatórios, pois conseguiu atingir todos os objetivos deste trabalho. Com a análise de todos os ensaios, pode-se

perceber que os melhores resultados obtidos em ordem crescente, em relação ao traço piloto, foram R2 (10%), R3(15%) e R4 (20%).

Logo, os resultados dos experimentos mostram que a viabilidade da substituição da areia por vidro no concreto não é só um fator sustentável, mas também promove propriedades físicas e mecânicas melhores do que o concreto convencional.

8. SUGESTÕES DE PESQUISA

A partir dessa pesquisa, sugere-se um aprofundamento no assunto para entender melhor o comportamento dos agregados e, especificamente, a viabilidade do concreto com o uso parcial do vidro, como:

- Análises da composição química dos agregados;
- Análise microestrutural do concreto;
- Análise do módulo de elasticidade dinâmico;
- Análise do índice de atividade pozolânica do cimento e do vidro;
- Análise da retração linear do concreto;
- Análise de parâmetros relativos à durabilidade do concreto;
- Análise da condutividade térmica do concreto;
- Análise do coeficiente de dilatação térmico do concreto;

- Para análises de traços acima de 20% da substituição parcial do agregado miúdo, inserir o uso de aditivos superplastificantes para melhorar a trabalhabilidade sem o acréscimo de água.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por tudo que me proporcionou em toda a minha vida, seja ela acadêmica ou não.

Segundamente, aos meus pais que me deram todo o apoio possível, e aos meus amigos que estiveram comigo nessa etapa.

Agradeço a Eco Vidros e a Polimix, pois a colaboração de ambas foi primordial na execução desse artigo.

E também, a minha instituição e professores, em especial meu orientador Filipe, que, certamente, foi essencial com todo o seu auxílio e ensinamentos.

REFERÊNCIAS

Abividro, Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Benefícios reciclagem do vidro**. Reciclagem de vidro, 2018. Disponível em: <<https://www.abividro.org.br/reciclagem-abividro/beneficios-da-reciclagem-do-vidro>>. Acessado em Junho de 2018.

Abividro, Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Indústrias de Vidro. Reciclagem no Brasil – Infográfico**. Reciclagem de vidro, 2013. Disponível em: <<https://www.abividro.org.br/wp-content/uploads/2013/04/infografico->

[reciclagem-no-brasil1.jpg](#)>. Acessado em Junho de 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27 - Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

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

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 2395 - Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento - Vocabulário**. Rio de Janeiro, 1997.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 - Agregados para concreto**. São Paulo, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 - Cimento Portland -**

Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222 - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779 - Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653 - Materiais Pozolânicos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 - Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1 - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2009.

BABU, K. G, PRAKASH, P.V. 1995. **Cement and Concrete Research**, p 25.

BAREA, Marco Antônio Schmidt. **Análise da viabilidade técnica e econômica da utilização do agregado miúdo de britagem de rocha basáltica em argamassa de revestimento.** 2013. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná,

Pato Branco, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/863/1/PB_COECI_2012_2_10.pdf> Acessado em Junho de 2018.

CEMPRE. **Consórcio Empresarial para Reciclagem.** Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>>. Acessado em Junho de 2018.

COELHO, R. M .P. **Apostila de produção, consumo e reciclagem de vidro no Brasil.** 2013.

CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 1**, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf>. Acessado em Junho de 2018.

CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 307**, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acessado em Junho de 2018.

CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 431**, de 24 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acessado em Junho de 2018.

COSTA, Beatriz S.; RIBEIRO, José Cláudio J. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: direitos e deveres.** Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2013.

DYER, T. D., e DHIR, R. K., **Chemical Reaction of Glass Cullet Used as Cement Component**, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, V. 13, No. 6, 2001, p. 412-417.

ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira Van. **Redução de emissões na disposição.** Rio de Janeiro: IBAM, 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023918.pdf>. Acessado em Junho de 2018.

FERRARI, G. e JORGE, J. 2014. **Materiais e Tecnologias**. São Paulo: Universidade Bandeirantes. (Notas de aula). p22. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAcdUAL/apostila-materiais-tecnologias?part=3>>. Acesso em Junho de 2018.

HAGEMANN, S. E. **Apostila de Materiais de Construção Básicos**. Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf>. Acessado em Novembro de 2018.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 7ª. Edição. 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>>. Acessado em Junho de 2018.

LAKATOS, E. M. MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico: projetos de pesquisa / pesquisa bibliográfica/ teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso**. 8ª edição, SÃO PAULO: Atlas, 2017.

MEHTA, P. K. 2002. **Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development**. Concrete International, Vol. 24, No. 7, July 2002.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Reciclagem**. Produção de Consumo Sustentáveis, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7656-reciclagem>>. Acessado em Junho de 2018.

MUZARDO, C. D. PINHEIRO, L. M. e SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto – capítulo 1**. USP – EESC – Dep. Eng. de Estruturas, 2004. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/introducao.pdf>>. Acessado em Novembro de 2018.

PENNA, Paulo C. V. **Expansão da Mineração de Agregados para a Construção Endossa Crescimento da Economia**. IBRAM, Brasília, 20 set. 2010.

RODRIGUES, Luisa Caurio [et al.]. (2017). **Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos em Florianópolis/SC: um estudo de caso**. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3908/3086> . Acessado em Junho de 2018.

ROSA, S. E. S; COSENSA, J. P; BARROSO, D. V. **A Construção Sobre a Indústria do Vidro no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, p. 101-138, set. 2007.

SANTOS, Adson - **Extração mineral de areias e seus impactos na territorialidade socioambiental: o caso de feira de SANTANA–BA**. (2015). Disponível em: <<http://noosfero.ucsal.br/articles/0009/2488/extra-o-mineral-de-areias-e-seus-impactos-na-territorialidade-socioambiental.pdf>>. Acessado em Junho de 2018.

SAUER, Aline S. **ESTUDO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO LAMINADO EM ARGAMASSAS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL**. 2013. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

SILVA, G. R. **Manual de Traços de concreto**. 3ª edição, RIO DE JANEIRO, 1975.

VALVERDE, Fernando M. **Agregados para Construção Civil**. In: Balanço Mineral Brasileiro 2001. Brasília: DNPM, 2001.

VALVERDE, Fernando M. e TSUCHIYA Osvaldo Y. **Agregados para a Construção Civil no Brasil - Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado Federal**. Brasília, 2009. Disponível em:

<http://www.senado.leg.br/comissoes/ci/ap/AP20090511_fernandoalverde.pdf>.
Acessado em Novembro de 2018.