

REVISÃO LITERÁRIA DO USO DE VIDRO MOÍDO COMO SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO

Vinícius Navarro Varela Tinoco¹, Francisco Alves da Silva Júnior²

¹ Graduando do Curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte.

E-mail: navarrotinoco@hotmail.com

² Professor Doutor, Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais - UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: juniorarau@ufersa.edu.br

Resumo: O presente artigo é uma revisão literária acerca da utilização do vidro moído como um substituto parcial do agregado miúdo na composição do concreto. A investigação literária tem como objetivo a síntese das informações já obtidas em outros artigos, livros, e pesquisas quanto à viabilidade e limitantes do uso do material e, a partir de pesquisa dessa literatura, indicar diretrizes para melhor avaliação dessa possibilidade. O vidro é um material artificial não biodegradável. Estima-se que o passivo do ano de 2011 no Brasil de reciclagem desse material foi de 47%. Neste contexto, observou-se que diversos pesquisadores variaram a forma de moagem e substituição do agregado miúdo (areia) pelo vidro com granulometria adequada, analisando a resposta do concreto em relação as características no estado fresco e endurecido. A pesquisa constatou que os pesquisadores encontraram aumento de consistência no estado fresco e de resistência mecânica quando endurecido. Também foi observada a diminuição do índice de vazios e permeabilidade. Desta forma, observou-se que as pesquisas indicam que é viável adotar-se a técnica, no entanto, com substituição limitada. O que nos leva a necessidade de estudos mais variados para se chegar a um produto mais amplo e versátil.

Palavras-chave: Concreto; Vidro; Agregado miúdo; Substituição.

1. INTRODUÇÃO

A grande demanda por utilização de materiais de origem natural gera perdas ambientais ao mundo. Formas que tem reaproveitar resíduos de produtos que seriam descartados no ambiente estimulam o conceito de sustentabilidade ambiental, ou seja, preservar o meio ambiente e garantir o desenvolvimento.

O concreto é amplamente utilizado em todo o mundo e tem, em sua constituição, o cimento, água, agregado graúdo e miúdo, sendo este último um material arenoso com dimensões menores que 4,75 mm.

A mineração de areia é um setor básico da economia, afinal, não é apenas a construção civil que depende diretamente desta na composição do concreto, argamassa, tijolos, aterros ou acabamentos, mas também outras atividades como a produção de vidro. Apesar de ser possível de ser encontrada nas paisagens que sofreram menos influência do homem e até nas paisagens urbanizadas, muitas vezes a exploração desta gera impactos ambientais como a invasão e influência em Áreas de Preservação Permanente, poluição de água e solos, destruição de mata ciliar, alteração dos cursos dos rios e emissão de gases poluentes.

Paralelamente à demanda de consumo de setores industriais, existe o problema do grande número de objetos e materiais vítreos que têm destinação inadequada, não passando por reaproveitamento ou reciclagem e sendo descartados em lixões ou no meio ambiente. Tendo em vista os problemas enfrentados em ambos os setores, seria compatível e viável a utilização de vidro para substituir alguma parte da areia no concreto?

A areia, em sua composição principal de dióxido de silício (SiO_2), é a principal matéria prima para o vidro comum, que pode conter em torno de 70% desse composto químico em sua forma final, evidenciando similaridade na composição de ambos materiais. Tendo isso em vista, e com a justificativa de que a utilização de vidro em uma forma granulométrica adequada para confecção do concreto poderia diminuir impactos ambientais não apenas relacionados ao descarte inapropriado do vidro, mas também ao problema sócio-econômico-ambiental da mineração da areia, deve existir uma investigação bibliográfica sobre o uso do vidro na condição de substituto parcial do agregado miúdo no concreto para viabilizar práticas de teste para esta teoria, considerando não apenas fatores mecânicos ao qual o concreto deve obedecer, a resistência à compressão por exemplo, mas também fatores econômicos, como qual será o custo-benefício dessa substituição.

O seguinte trabalho tem por objetivo, a partir de revisão bibliográfica do tema, apresentar referencial teórico

base para o estudo da possibilidade de utilizar vidro em formas granulométricas compatíveis para substituição parcial da fabricação do concreto e argamassa, avaliar cada granulometria indicada em relação à fatores como resistência à compressão e trabalhabilidade, e indicar diretrizes de experimentação para futuras investigações práticas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1-O CONCRETO E SEUS CONSTITUINTES

De acordo com Callister [1], concreto é um compósito, resultante da mistura em proporções definidas de cimento, água, agregado graúdo, agregado miúdo e, ocasionalmente, aditivos, sendo as características desses materiais determinantes nas propriedades do produto final. De acordo com Bauer [2], Cimento-Portland é o aglomerante hidráulico da mistura, garantindo a união entre o próprio cimento e os agregados, que, quando misturados com a água e os aditivos, formam uma massa que endurece com o tempo, seja dentro de moldes assumindo diferentes formatos ou onde aplicado superficialmente. Devido às suas características como trabalhabilidade, resistência à compressão, inúmeras possibilidades de aplicação e relativa resistência às intempéries, o concreto tornou-se o material mais utilizado na construção civil atualmente.

Alguns fatores atuam diretamente nas características do concreto. Por essa razão é que se calcula o traço do concreto determinando-se as proporções das quantidades necessárias de todos os materiais para que o produto final atinja todas as requisições necessárias. A relação entre a quantidade de água e de cimento, a granulometria do agregado miúdo, a dimensão máxima do agregado graúdo, necessidade de aditivos, entre outras especificações devem ser previamente conhecidas para que não haja faltas ou excessos que possam prejudicar o uso ou vida útil dos elementos construtivos. A umidade presente no agregado miúdo, por exemplo, é contabilizada quando irá ser feito o concreto, sendo excluída da quantidade de água, pois o excesso desta pode trazer consequências como a perda de resistência à compressão, fissuras de retração, alta permeabilidade, o que causa também perdas econômicas [3].

2.2-A FUNÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO

Segundo Bauer [2], agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. Os agregados classificam-se segundo origem (naturais ou industrializados), as dimensões das partículas (miúdo ou graúdo) e o peso específico aparente (leves, médios e pesados).

O agregado miúdo para concreto pode ser definido de acordo com a NBR 7211 [4] como o tipo de agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. O exame petrográfico, realizado de acordo com a ABNT NBR 7389 e interpretado por profissional capacitado, fornece alguns dos subsídios necessários para o cumprimento destas condições.

Na construção civil, os agregados miúdos são materiais utilizados para fabricação de produtos artificiais resistentes. Muitas características de um agregado miúdo influenciam diretamente na composição do concreto, como a distribuição granulométrica, porosidade, absorção de água, resistência à compressão, formato de sua microestrutura e as substâncias presentes. Tais características são resultado da composição química-mineralógica dos blocos rochosos e das condições submetidas a estes na produção do agregado [3].

Antes, o agregado só era adicionado ao concreto para reduzir seu custo e aumentar o volume da mistura. Porém, com o avanço das análises dos materiais, chegou-se a conclusão que, além de aumentar o custo-benefício por ter um preço bem menor que o do cimento, a adição desses materiais são essenciais para que o concreto seja beneficiado quanto às características de resistência à compressão, consistência e retração (diminuição do volume do concreto no processo de endurecimento), pois o cimento puro quando misturado com a água sofre uma diminuição do volume bem maior, ou seja, quanto maior a quantidade de agregados na mistura, menor será a retração do concreto. A adição média dos agregados atualmente é tal que 80% em peso do concreto endurecido é devido à presença desta [5].

Para garantir um concreto com boa trabalhabilidade (seja no tocante à plasticidade ou na consistência) e resistência à compressão, a curva granulométrica dos agregados deve ser bem distribuída, garantindo que os espaços ou vazios da peça final sejam bem preenchidos. Reconhecida a importância dos agregados como fatores determinantes do concreto, existem vários ensaios para definir sua granulometria, módulo de finura, massa específica, índices de consistência, impurezas orgânicas, entre outras características, todos definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, conjuntamente com seus parâmetros para realização e resultados [5].

2.3-LIMITAÇÕES DO USO DA AREIA COMO AGREGADO MIÚDO

Ensaio e análises do agregado e do conjunto agregado-aglomerante ajudam a combater uma grave patologia do concreto: presença de Reações Álcali Agregado – RAA, que se dá no concreto endurecido em idades tardias. Nogueira [6] comenta que esse tipo de reação acontece quando o agregado, seja graúdo ou miúdo, que possui um grau maior de reatividade entra em contato com os íons (hidróxidos alcalinos) liberados pelo cimento, como óxido de sódio (Na_2O) ou óxido de potássio (K_2O), e gera um gel expansivo sob presença de umidade, causando tensões internas que fissuram o concreto e comprometem sua capacidade de resistir às cargas. A presença desses tipos de reação são evidenciadas pela eflorescência ou preenchimento dos poros pelo gel expansivo, movimentação diferencial entre blocos de tijolos, fissuras com preenchimento esbranquiçado, descoloração do concreto e deslocamentos.

Outros problemas enfrentados na hora de escolher o agregado têm relação com o fator ambiental. De acordo com Anibelli [7], a extração mineral da maior parte da areia utilizada na construção civil tem origem nos leitos dos rios, nas praias ou em jazidas (locais com grande acúmulo de areia), trazendo renda para as localidades ao gerar empregos. No caso de grandes obras, ela defende que é preferível que a fonte da areia ou agregado miúdo, por exemplo, seja próxima ao local da construção, pois, do contrário, haveria um aumento do custo e também uma maior emissão de gases poluentes decorrentes do transporte de material que é feito com veículos pesados, como pode ser visto na Figura 1.



Figura 1: Extração de areia para uso industrial [5].

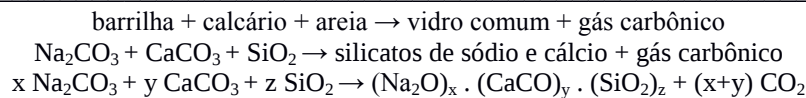
De acordo com o Sumário Mineral de 2001 [8], documento do Departamento Nacional de Produção Mineral que avalia anualmente o desempenho das principais substâncias minerais produzidas no país, 90% da produção nacional da areia advém da mineração em leitos de rios, e aproximadamente dois terços do custo final deste produto se dá pelo transporte. Popularmente chamada de “areia lavada”, costuma ser a mais adequada para construção civil, porém, Anibelli [7] aponta que a extração dessa areia causa impactos como: contaminação do curso d’água por causa do maquinário; instabilidade nos solos dos ambientes ribeirinhos por causa do tráfego para operações de extração; e mudança na profundidade dos rios, fazendo com que se mude o curso natural da água e sua velocidade, causando um enorme impacto ambiental naquele ecossistema.

Visando os problemas ecológicos e possuindo conhecimento que todas as matérias primas são finitas, diversas pesquisas buscam oferecer alternativas ambientalmente corretas e pragmaticamente viáveis para substituição total ou parcial da areia como agregado miúdo na produção do concreto. Entre as alternativas, pesquisas apontam o vidro, polímeros plásticos, reutilização de concreto, entre outros materiais.

2.3-PROBLEMA AMBIENTAL DO VIDRO

O vidro é um sólido não cristalino de estrutura amorfa, produzido em grande escala pelo mundo todo. A mistura vitrificável que dá origem ao vidro é formada por aproximadamente 75% de sílica (óxido de silício) normalmente oriunda do quartzo, soda (carbonato de sódio) e calcário (carbonato de cálcio), de fórmulas químicas SiO_2 , Na_2CO_3 e CaCO_3 respectivamente. Problemas enfrentados no processo de manufatura fizeram que, com o passar do tempo, outros materiais fossem adicionados para permitir uma melhor moldagem, dar cor ou quaisquer outras características exigidas pelo material, mas sempre com a sílica como componente básico e predominante [9].

Fogaça [9] e Giacomini [10] definem sequências gerais da produção do vidro: os compostos (sílica, soda, calcário e aditivos) são triturados e levados a fornos com temperaturas de 1500°C para que os sólidos fundam-se. Depois, a pasta viscoelástica formada é moldada e resfriada dando origem ao vidro comum. Outros métodos são empregados na indústria, com adição de materiais diferentes, para que seja possível conseguir outros resultados de vidros com propriedades diferentes. Por exemplo, ao aumentar a temperatura e a concentração da sílica, é possível gerar vidros mais resistentes. Fogaça [9] apresenta, a partir do balanceamento estequiométrico, o processo comum da produção de vidro que gera emissão de gás carbônico:



Cesar, Paula e Krom [11] constatam que, com exceção dos tipos temperados, dos utilizados para produtos químicos tóxicos, espelhos, entre outros vidros cuja composição contém outros materiais, o vidro é um material cuja reciclagem tem total aproveitamento. Os autores dizem que para produzir uma tonelada de vidro novo podem ser utilizadas uma tonelada de vidro reciclado em substituição às 1,2 toneladas de matéria-prima bruta do vidro. Esse processo gera empregos, reduz gastos energéticos totais e reduz também a emissão de gases poluentes, além da clara vantagem direta que é o descarte ambientalmente correto. O chamado “ciclo do vidro” é idealizado como um processo infinito quando desconsideradas quaisquer perdas operacionais. O vidro oriundo da reciclagem possui as mesmas qualidades de um fabricado a partir de matérias primas virgens. No Brasil, a reciclagem do vidro margeia os 35% de todo o material produzido.

A maioria dos materiais vítreos pode ser reciclada e muitos deles são reaproveitados, como por exemplo, as garrafas de bebidas que são retornadas às indústrias passam pelo processo completo e seguro de higienização para serem devolvidos ao comércio. Cesar, Paula e Krom [11] informam que, apesar do cenário otimista, muitos tipos vítreos que são passíveis de reciclagem não são destinados para este fim, seja por falta de coleta seletiva ou desconhecimento e falta de conscientização popular, sendo apenas 43% do material descartado destinado à reciclagem.

Percebendo as similaridades das estruturas químicas da areia e do vidro, pensando nas categorias de vidro que não são passíveis de reciclagem por conterem outros materiais, na questão ambiental do descarte inadequado de materiais que não são biodegradáveis e em criar novos destinos para reutilização do vidro descartado pela população, engenheiros civis e estudiosos da área de materiais investigaram o uso do vidro como material alternativo para o agregado miúdo no concreto e na argamassa.

2.4-VIDRO COMO MATERIAL ALTERNATIVO DO AGREGADO MIÚDO (ESTADO DA ARTE)

No Brasil, apenas 49% do vidro é destinado para reciclagem. Com a adição do fator ambiental e de planejamento de recursos, a construção civil tem absorvido diversos materiais através do uso no concreto, na substituição de algum dos seus componentes principais, ou através da reutilização para fins estéticos. Nessa metodologia, a substituição parcial de agregados quando feita de forma segura e com rigor científico, tem gerado economia para as obras. Enquanto na reciclagem do vidro ele deve ser separado por cor ou tipo, para a utilização no concreto deve ser apenas livre das impurezas e preparado com a granulometria adequada para substituição do agregado miúdo [12].

Barela, Moura e Bellinaso [12] afirmam que o vidro, por possuir elevados fatores de resistência à compressão, à tração, à flexão e ao desgaste, contribui para o desenvolvimento mecânico do concreto. Em seu estudo com substituição progressiva, seguindo amostras de 0%, 15%, 35% e 65%, da fração de vidro no agregado miúdo *coeteris paribus* (com todo o resto constante), e medindo-se a Resistência Característica do Concreto aos 28 dias cujo traço comum pretendia atender a um f_{ck} de 23 MPa, seguindo a NBR 5738, obtiveram resistências médias de 34,63 MPa para a amostra padrão, ou seja, sem substituição de areia, e 36,67 MPa para a terceira amostra, com uma substituição de 35%.

Santos [13] afirma que Austrália é o país que mais utiliza vidro proveniente de reciclagem como substituto da areia do concreto e da argamassa, normalmente utilizados em taxas de 10% a 20% em elementos estruturais, como vigas, lajes e pilares, e em até 50% de substituição em elementos não estruturais. No Brasil, o vidro moído já é utilizado na composição de asfaltos, porém, na produção de concreto, ainda se limita às pesquisas acadêmicas. Cattelan (*apud* Santos [13]) afirmou sobre sua pesquisa de substituição que “o teor de substituição mais adequado nesta pesquisa foi de 20%, pois atingiu-se um patamar de resistência equivalente ao concreto sem substituição. No caso da substituição de 100% da areia por vidro, apesar de atingir-se uma resistência superior, a trabalhabilidade foi altamente prejudicada, inviabilizando a moldagem manual dos corpos-de-prova”.

As metodologias adotadas em grande parte dos estudos acadêmicos são semelhantes. As diferenças nos processos costumam ser apenas a normatização do procedimento, afinal, no Brasil, adotam-se as regras de ensaios da ABNT, enquanto outros países ou regiões possuem seus próprios órgãos normatizadores. Para obtenção do vidro moído, as técnicas também eram similares: eram recolhidos objetos de vidro descartados ou rejeitos de indústrias, estes eram reduzidos a grãos menores em trituradores, pilões ou qualquer outra forma manual, depois tinham suas granulometrias definidas por peneiramento.

Logo, a metodologia geral, desenvolvida similarmente por Kim, Cho e Yang [14] e Righi *et al* [15], envolve: definição das características dos materiais (granulometria dos agregados, tipo do cimento, como indicado na Figura 2 e 3), definição do traço padrão, mistura dos componentes com diferentes porcentagens de substituição ou simples adição do agregado miúdo padrão pelo vidro (sempre utilizando granulometrias adequadas), verificação da trabalhabilidade (*slump test*), realização de moldagem de corpos de prova, testes de compressão dos mesmos em idades variadas do concreto, e, por fim, plota-se graficamente os resultados dos parâmetros medidos *versus* frações de substituição de vidro para discutir a influência dessa substituição. Ambos os trabalhos

experimentais aprovam a substituição do vidro moído ou pó de vidro por frações da areia, indicando que o produto final de concreto ou argamassa fica mais forte ou denso.

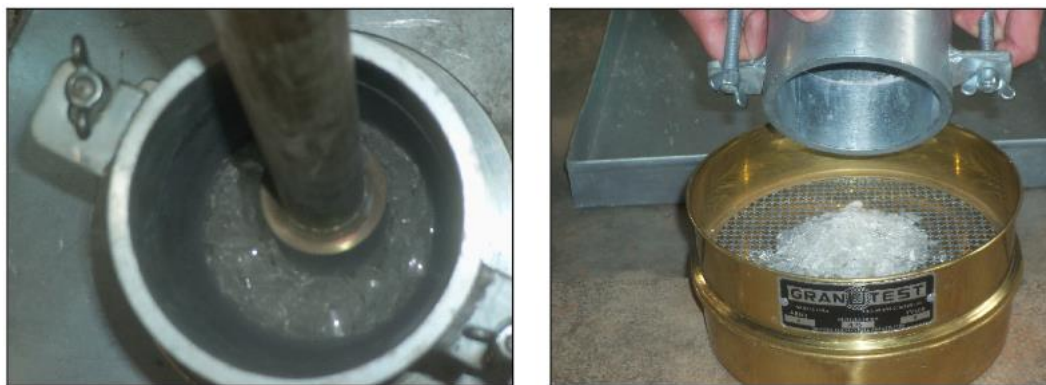


Figura 2. Moagem manual das garrafas e tamanhos de grão - experimento de Righi *et al* [15].

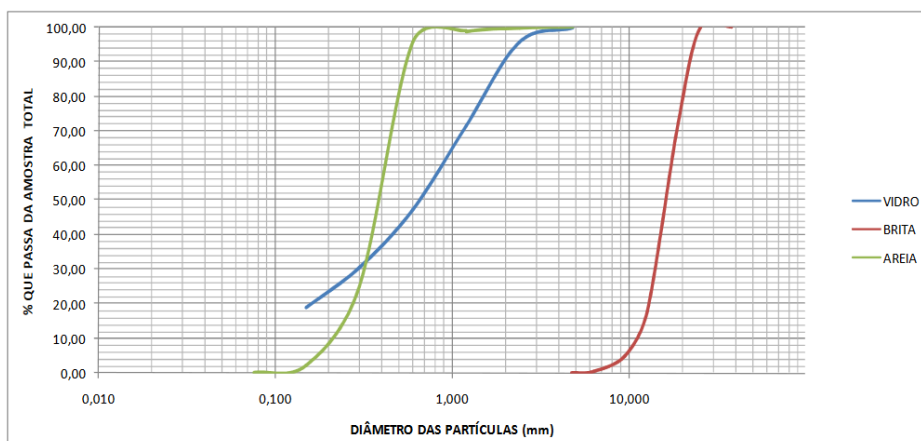


Figura 3. Distribuição Granulométrica dos Agregados – experimento de Righi *et al* [15].

Quando analisado apenas o fator Resistência à Compressão, Righi *et al* [15] concluíram que o vidro mostrou-se uma ótima substituição, pois agregava, em relação aos grupos de controle, ou seja, aqueles que só utilizavam puramente o agregado miúdo, uma adição desse tipo de resistência com o aumento da fração em massa substituída, sob as proporções de todos os outros materiais mantidas constantes. Porém, outros fatores sofreram interferência dessa adição, fazendo com que uma porcentagem determinada dessa substituição se tornasse mais recomendável para cada estudo específico.

Ao analisar a resposta do material quando exposto a grandes temperaturas, Righi *et al* [15] constataram que o resultado é neutro para o concreto com substituição de vidro. O vidro moído do experimento advém de garrafas de cervejas do tipo “Long-Neck”, usualmente não exposto à altas temperaturas. Foram utilizadas substituições de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 100% do agregado miúdo pelo vidro moído para produção de corpos de prova. Ao fazer o ensaio de resistência à compressão, os autores indicaram a substituição de 20% por ter o maior incremento desta característica e apresentar trabalhabilidade aceitável. Em ensaio sob temperatura, o corpo de prova com substituição de 100% do agregado sofreu spalling a 600°C. O fator de redução da resistência à compressão pelo aumento da temperatura nos outros teores de substituição (0%, 5%, 10%, 15% e 20%) observado pelos autores foi semelhante ao corpo de prova padrão, no caso, o de 0% de substituição.

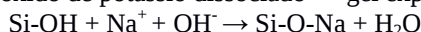
Miranda Júnior [16] constatou a redução da plasticidade das massas frescas cujos traços tiveram adição do vidro como agregado miúdo. A trabalhabilidade da massa do concreto é um aspecto muito importante, sendo uma característica que deve ser medida também por ensaio, recebendo um grande nível de prioridade quando se trabalha em grandes obras. A plasticidade facilita o manuseio, a aplicação, o adensamento do concreto nos moldes das peças e a elevação por bombeamento. O autor também usa a definição de plasticidade da massa do concreto que pode ser medida através do ensaio do abatimento do tronco de cone, ou *slump test*, determinada pela NBR NM 67/1996, realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico pela determinação de sua consistência. Para usos diferentes, o concreto deve possuir consistências diferentes, porém, quanto maior a substituição da areia pelo vidro menor fluidez na massa do concreto, chegando a tornar inviável sua utilização sem o acréscimo de aditivo plastificante [16, 17].

Nogueira [6] atesta que outro limitante do uso do vidro remete ao seu componente original: a sílica. As reações álcali-sílica, também conhecidas como Reações Álcali Agregado quando se trata de concreto, são reações indesejáveis pois comprometem a estrutura, podendo criar fissuras internas na estrutura. De acordo com

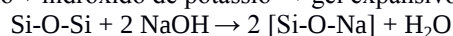
o autor, a sílica do vidro é uma sílica amorfa que possui alta reatividade, podendo desencadear essas reações caso entre em contato com os íons do cimento. O autor propõe que as soluções para tais problemas têm que vir em estudos prévios para que o concreto seja corrigido desde sua preparação com o intermédio de materiais neutralizadores como material pozolânico, sílica ativa, escória de alto forno contendo materiais pozolânicos, entre outros. O uso de um cimento com as características desses materiais a serem adicionados também propicia um resultado mais seguro, ou seja, com menor chance de apresentar RAA's. Portanto, são indicados para tal uso: CP II E, CP II Z, CP III e CP IV.

Outra alternativa apresentada por Davidovits [18] é a aplicação de cimento geopolimérico que, apesar de ser pouco usado no mercado brasileiro, tem baixíssimas concentrações de íons alcalinos e são menos suscetíveis à ação da umidade, outro fator importante para que ocorram as reações álcali-agregado. O uso de cimentos geopoliméricos é indicado até em estruturas que já sofrem com as RAA's. A partir da comprovação laboratorial da presença do gel expansivo formado na microestrutura do concreto, pode ser utilizado argamassa geopolimérica para cobrir toda uma estrutura, fazendo com que a umidade não alcance mais seu interior, parando a reação. A partir do demonstrado pelo balanceamento químico, é possível ver de que forma os hidróxidos dos álcalis do cimento, o hidróxido de potássio por exemplo, reagem com silicatos do quartzo, como o silanol ou o siloxano, formando um gel expansivo.

silanol + hidróxido de potássio dissociado → gel expansivo + água



siloxano + hidróxido de potássio → gel expansivo + água



A metodologia de Miranda Júnior [16], indicada pela Figura 4, envolvia a caracterização microestrutural do concreto. O autor concluiu que, apesar de o peso específico absoluto do vidro ser um pouco menor do que o da areia, o índice de vazios é menor e a densidade do material é superior no concreto produzido com adição de resíduo de vidro como agregado miúdo. O autor explica que isso ocorre porque o vidro não tem uma porosidade tão grande quanto a areia, que possui pequenos poros e irregularidades superficiais quando analisado em sua microestrutura, enquanto o vidro, por ser um material artificial, é mais regular e não possui característica de permeabilidade. Logo, o índice de vazios do concreto feito com adição de vidro diminuiu conjuntamente com sua permeabilidade. Ele indica que a diminuição do índice de vazios é um fator determinante para o aumento da resistência à compressão observada.

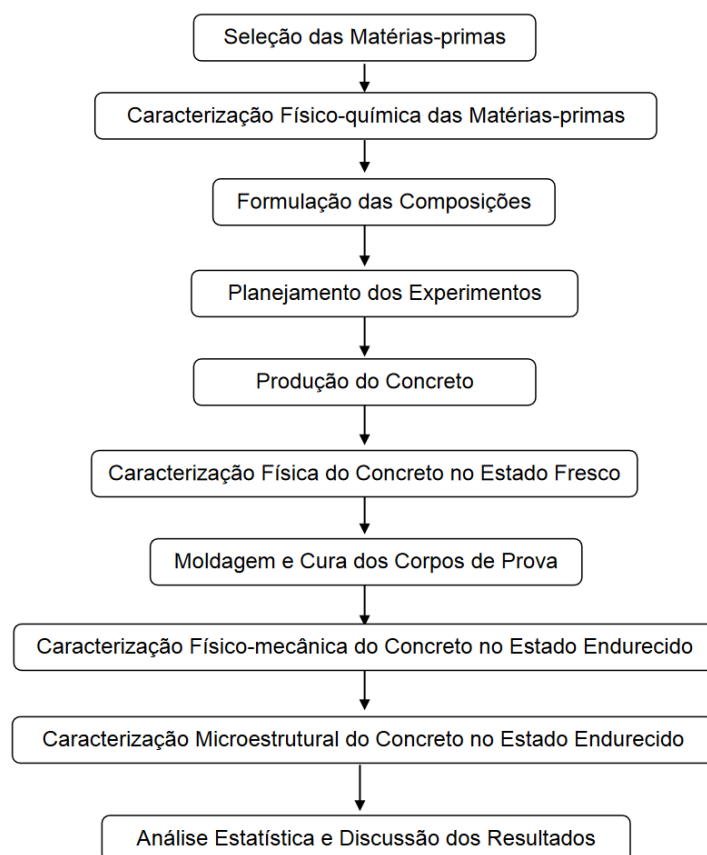


Figura 4. Fluxograma da metodologia – trabalho de Miranda Júnior [16]

3. CONCLUSÕES

A similaridade química e granulométrica, sendo esta alcançada pelo processo de moagem de objetos vítreos, são as principais características que permitem tal substituição. Quanto à análise granulométrica, é recomendado que, ao repetir os ensaios de substituições adequadas, aproxime-se a curva granulométrica do vidro moído obtida por meio do ensaio de determinação da composição granulométrica dos agregados (NBR 248/2003) da curva tipo de agregado miúdo utilizado, conservando assim as características do mesmo.

A partir do acréscimo de vidro ao traço do concreto ou da argamassa, foram observados crescimentos da resistência à compressão de até aproximadamente 6% para substituições na faixa de 10% à 35% do material vítreo em relação à massa total do agregado miúdo, sendo valores maiores que os deste intervalo não aplicáveis por causa do comprometimento da trabalhabilidade, sendo necessários, em diversas partes da literatura, adição de aditivos plastificantes para garantir o adensamento da massa nos corpos de prova. Apesar de não inviabilizar o uso do vidro moído, a plasticidade perdida pela sua adição é um fator limitante para sua aplicação prática. São indicados ensaios com substituição do agregado em massa gradativos neste intervalo, para que uma curva do resultado do *Slump Test* versus percentual de substituição seja conhecida, garantindo que fatores econômicos não sejam deixados de lado, afinal, a necessidade de aditivos torna o concreto mais custoso.

Com a diminuição dos vazios causada pela adição do pó de vidro, a densidade do concreto aumenta. Considerando todo o resto constante, a estrutura torna-se mais pesada. O concreto, normalmente, deve resistir à cargas de tensões normais, ou seja, forças aplicadas sobre a área de sua seção transversal. Ao considerar que uma estrutura mais resistente, característica alcançada com concreto feito com substituição parcial da areia pelo vidro, pode possuir uma seção transversal menor, o volume de concreto usado seria também menor. Faz-se necessário, portanto, um cálculo de compensação para definir se o aumento dessa resistência à compressão pode ser compensado no processo construtivo, analisando não apenas as tensões normais (relacionadas à compressão e tração), mas também as tensões cisalhantes (relacionadas às forças cisalhantes), flexão (relacionada ao momento fletor) e torção (relacionada ao momento torsor).

Outro fator que pode ser analisado é que ao diminuir o índice de vazios e a permeabilidade conjuntamente, podem ser dificultadas ocorrências patológicas decorrentes da presença de umidade, como o salitre e corrosão da armadura.

O vidro é um material sintético e não é biodegradável, ou seja, não se decompõe naturalmente e acaba acumulado em aterros sanitários ou descartados de forma imprópria. A viabilidade ambiental da adição de vidro ao concreto é embasada na tese de que ao confirmar um novo destino a materiais, que podem ser reutilizados ou reciclados, uma parte desses materiais deixará de ser destinado a locais inadequados. Portanto, no tocante a este tema, o uso de vidro moído no concreto seria não apenas viável como recomendado.

A partir das evidências apresentadas em forma de artigos, dissertações e pesquisas que envolvem experimentos com adições ou substituições parciais do agregado miúdo por alguma forma de vidro moído na produção de concreto, conclui-se que tal combinação é viável.

Sugere-se continuação da investigação desse tema: A partir de uma porcentagem de substituição mais adequada, deve ser feito um levantamento do custo do agregado miúdo e do vidro moído em seu estado final para uso no concreto e da mudança de custos gerada por essa substituição, analisando a possibilidade de economia do volume de concreto e qual porcentagem dessa substituição compensa uma perda de fluidez. Devem ser orçamentadas escolhas que concordem não apenas com a viabilidade do estudo, mas também com sua aplicabilidade na construção civil, sendo levados em consideração todos os fatores presentes neste estudo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CALLISTER, W. D., Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 7ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- [2] BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção Volume 1**. 5ª Edição. Revisada. LTC Editora. Rio de Janeiro. 2000.
- [3] TECNOSIL. “**Agregados para concreto: o que são e para que servem?**”. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/agregados-para-concreto-o-que-sao-e-para-que-servem/>>. Acesso em: 30 de Agosto de 2018.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, p. 3. 2005.
- [5] PORTAL DO CONCRETO. **Agregados para concreto**. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/agregado.html>>. Acesso em 30 de Agosto de 2018.
- [6] NOGUEIRA, Kelso Antunes. **REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: DIRETRIZES E REQUISITOS DA ABNT NBR 15577/2008**. 2010. 93 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/53.pdf>>. Acesso em 30 de Agosto de 2018.
- [7] ANIBELLI, Mariana Baggio. **Mineração de areia e seus impactos sócio-econômico –ambientais**. 2009. 13 f. Dissertação de mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Disponível em:

- <http://www.publicadireito.com.br/conpedi/manaus/arquivos/anais/bh/carlos_frederico_mares_de_souza_filho2.pdf>. Acesso em 30 de Agosto de 2018.
- [8] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Sumário Mineral: Agregados para construção civil**. Brasília, 17 de Outubro de 2002. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2001/sumario-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em 30 de Agosto de 2018.
- [9] FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **"O que é o vidro?"**; *Brasil Escola*. 2009. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/o-que-vidro.htm>>. Acesso em 21 de Julho de 2018.
- [10] GIACOMINI, Eliana. **Material : O Vidro**. 2007. 23 f. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – X Mestrado em Construções de Edifícios. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/mce04008_O_vidro.pdf>. Acesso em 30 de Agosto de 2018.
- [11] CESAR, Ana Paula; PAULA, Débora Almeida de; KROM, Valdevino. **Importância da reciclagem do vidro**. 2004. 4 f. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/pdf/IC6-17.pdf>. Acesso em 2 de Setembro de 2018.
- [12] BARELA, Fernanda Garcia; MOURA, Ronald Rolim de; BELLINASSO, Carlos Alfredo Barcelos. **CONCRETO PRODUZIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR SUCATA DE VIDRO**. 2015. Resumo – Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. Disponível em: <<http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/15815>>. Acesso em 2 de Setembro de 2018.
- [13] SANTOS, Altair. **"Uso de vidro moído como agregado limita o concreto"**; *Massa Cinzenta – Portal Itambé*. 2015. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/vidro-moido-como-agregado/>>. Acesso em 02 de Setembro de 2018.
- [14] KIM, Il Sun; CHOI, So Yeong; YANG, Eun Ik. **Evaluation of durability of concrete substituted heavyweight waste glass as fine aggregate**. 2018. 9 f. Construction and Building Materials – Volume 184, P 269-277. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818316283>>. Acesso em 02 de Setembro de 2018.
- [15] RIGHI, Débora; KÖHLER, Lucas; TABARELLI, Aline; KIRCHHOFF, Larissa; LIMA, Rogério. **Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos à elevadas temperaturas**. 2012. 13 f. Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://cimentoitambe.com.br/_downloads/artigo_vidro_moido.pdf>. Acesso em 02 de Setembro de 2018.
- [16] MIRANDA JÚNIOR, Edson Jansen Pedrosa de. **PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND CONTENDO RESÍDUO VÍTREO COMO AGREGADO MIÚDO**. 2012. 234 f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia de Materiais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Luís. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ejp_Miranda_Jr/publication/319450759_PROPRIEDADES_FISICO-MECANICAS_DO_CONCRETO_DE_CIMENTO_PORTLAND_CONTENDO_RESIDUO_VITREO_COMO_AGREGADO_MIUDO/links/59aaffeb0f7e9bdd114fbb1e/PROPRIEDADES-FISICO-MECANICAS-DO-CONCRETO-DE-CIMENTO-PORTLAND-CONTENDO-RESIDUO-VITREO-COMO-AGREGADO-MIUDO.pdf>. Acesso em: 02 de Setembro de 2018.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, p. 4-8. 1998.
- [18] DAVIDOVITS, Joseph. **Cimento Geopolimérico: uma revisão**. 2013. 11f. Disponível em: <<http://www.geopolymer.com.br/PDF/GPCimento2013.pdf>>. Acesso em 02 de Setembro de 2018.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às nove horas do dia dezessete de setembro de dois mil e dezoito, no hall da Central de Aulas V do CCEN – Centro de Ciências Exatas e Naturais da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Leste, Mossoró, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **VINÍCIUS NAVARRO VARELA TINOCO**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2015010921**, com o título **“REVISÃO LITERÁRIA DO USO DE VIDRO MOÍDO COMO SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO”**. A Banca **Examinadora** ficou assim constituída por três membros: Prof. Dr. FRANCISCO ALVES DA SILVA JÚNIOR, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. JESSE WILLE GONDIM PINTO e Prof. Dr. FRANCISCO ROSENDO SOBRINHO, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: **9,5; 9,5; 9,5**. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral **9,5**. E para constar, eu, FRANCISCO ALVES DA SILVA JÚNIOR, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 17 de setembro de 2018.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. FRANCISCO ALVES DA SILVA JÚNIOR – UFERSA
Presidente e orientador

Prof. JESSE WILLE GONDIM PINTO – UFERSA
Primeiro Membro

Prof. Dr. FRANCISCO ROSENDO SOBRINHO - UFERSA
Segundo Membro