



## Fabricação de blocos de concreto com agregado reciclado

### Manufacture of concrete blocks with recycled aggregate

Juan Gabriel Bengaly Zamzoum<sup>1</sup>, César Augusto Casagrande<sup>2</sup>

#### RESUMO

A crescente conscientização sobre a necessidade de práticas mais sustentáveis tem impulsionado inovações em diversos setores, e a construção civil não é exceção. Historicamente, a indústria da construção tem consumido recursos naturais de forma significativa e gerado resíduos abundantes, resultando em sérias consequências para o meio ambiente. No entanto, à medida que a busca por soluções ecologicamente amigáveis se intensifica, surgem novas análises que repensam os materiais e processos tradicionais. Este artigo explora uma perspectiva inovadora na produção de pavers de concreto utilizando alvenaria reciclada. Esta alvenaria, outrora descartada como resíduo sólido, é transformada em uma matéria-prima. Além de diminuir os impactos negativos da construção convencional, essa abordagem não apenas reduz o desperdício, mas também incorpora princípios circulares, marcando um passo promissor em direção a um setor de construção mais sustentável e ecologicamente consciente.

**PALAVRAS-CHAVE:** agregado; construção; paver; reciclagem; sustentabilidade.

#### ABSTRACT

The growing awareness of the need for more sustainable practices has driven innovations in various sectors, and the construction industry is no exception. Historically, the construction industry has significantly consumed natural resources and generated abundant waste, resulting in serious consequences for the environment. However, as the search for eco-friendly solutions intensifies, new approaches are emerging that rethink traditional materials and processes. This article explores an innovative perspective on the production of concrete pavers using recycled masonry. This masonry, once discarded as solid waste, is transformed into a raw material. In addition to reducing the negative impacts of conventional construction, this approach not only minimizes waste but also incorporates circular principles, marking a promising step towards a more sustainable and environmentally conscious construction industry.

**KEYWORDS:** aggregate; construction; paver; recycling; sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

Este artigo explora uma abordagem de reuso para resíduo de construção civil (RCC), onde esse resíduo de matriz cimentícia é reciclado através do processo de trituração e introduzido na mistura do concreto para produção de pavers, substituindo o agregado miúdo (areia) em diversas proporções, e depois, realizado o ensaio à compressão para testar sua resistência e garantir que esteja dentro dos valores mínimos estipulados em norma. Com isso, pode-se dizer se é viável a substituição da areia por agregado reciclado sem perdas significativas na resistência e na qualidade do produto final.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

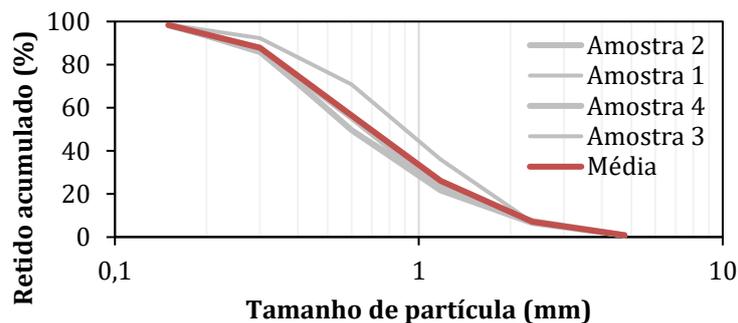
A areia utilizada é de classificação média, que possui grãos variando de 0,25 mm a 0,5 mm de diâmetro (figura 1) e, como agregado miúdo, utilizado agregado reciclado de

<sup>1</sup> Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: juanzamzoum@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0184026497207952

<sup>2</sup> Docente no Curso Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: cezarcasagrande@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1912954030594257.

matriz cimentícia, apresentado na figura 2. O agregado graúdo é o pedrisco (brita 0) e tem um tamanho médio, comumente variando de 4,8 mm a 9,5 mm de diâmetro. O aglomerante fornecido pela instituição foi o cimento Portland CP V-ARI, da Itambé. Este tipo de cimento possui alta resistência inicial e final, tornando-o adequado para projetos que exigem rápida resistência, como fabricação de pavimento intertravado de concreto. Além destes insumos, foram operados equipamentos como betoneira, mesa vibratória e triturador de resíduos sólidos, e ferramentas como carriola, padiola, trolha, becker graduado, pincel, balde e forma plástica (figura 4).

**Figura 1 – Curvas granulométricas da areia natural**



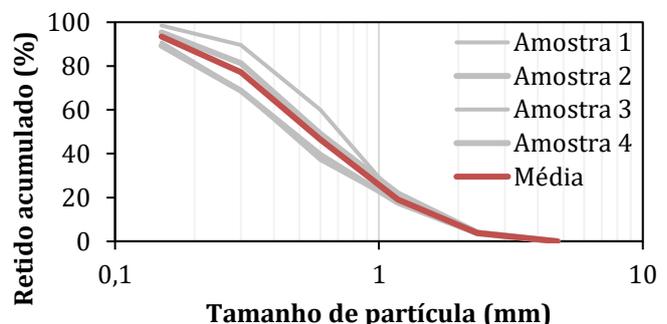
Fonte: Gráfico produzido pelo autor, curvas granulométricas da areia.

**Figura 2 – Agregado reciclado**



Fonte: Fotografia feita pelo autor durante o processo de trituração do RCC, produzindo o agregado reciclado.

**Figura 3 – Agregado reciclado**



Fonte: Gráfico produzido pelo autor, curvas granulométricas do agregado reciclado.

**Figura 4 – Mesa vibratória com as formas lubrificadas**



Fonte: Fotografia feita pelo autor da mesa vibratória e as 8 formas de paver lubrificadas com óleo desmoldante.



## 2.2 MÉTODOS

Iniciou-se com a coleta do material na caçamba de resíduo sólido e laboratórios de engenharia civil da UTFPR. Com este material é obtido o agregado reciclado através do processo de trituração que será usado como substituto da areia. Para que esse material reciclado possa ser classificado, realizou a granulometria em 4 amostras de 500 gramas cada.

Com a granulometria, obteve-se o módulo de finura (MF) do agregado reciclado (MF 2,39) e do agregado natural (MF 2,76), que é uma medida da distribuição das partículas de um agregado em um concreto ou argamassa. É calculado com base na quantidade de agregados de diferentes tamanhos presentes na mistura.

O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90, como os dois agregados enquadram-se nesses valores, pode-se variar entre eles sem alteração do traço. O traço adotado foi 1:3:2. Portanto, a cada produção de concreto suficiente para 16 pavers, foi utilizado 9 kg de cimento, 27 kg de agregado miúdo, 18 kg de agregado graúdo e 3,6 kg de água. Geralmente, adota-se um fator A/C entre 0,4 e 0,7. Como foi utilizado mesa vibratória e formas para a fabricação dos pavers, foi adotado um A/C de 0,40, que mantém a resistência, mas permite um acabamento de qualidade.

A mistura inicial é a primeira fase, onde os materiais secos (cimento, areia, brita) são combinados na betoneira. O tempo de mistura inicial geralmente varia de 2 a 3 minutos para garantir que os materiais secos estejam uniformemente distribuídos. A água é adicionada enquanto a betoneira continua a girar. O tempo de mistura final depende da trabalhabilidade desejada do concreto. Geralmente, o tempo de mistura final varia de 3 a 5 minutos após a adição da água. Durante esse período, o concreto deve ser misturado até atingir uma consistência uniforme e homogênea.

O óleo é aplicado com o auxílio de um pincel sobre a superfície das formas de paver que, por sua vez, serão posicionadas em cima da mesa vibratória. Após o concreto ser colocado nas formas, é ligado o equipamento e inicia-se a vibração imediatamente. O tempo de vibração varia, mas é recomendado vibrar por cerca de 20 segundos, que geralmente é suficiente para o concreto compactar e tornar-se homogêneo. Foram utilizadas 8 formas, totalizando 16 pavers modelo 16 faces, com dimensões aproximadas de 22x11x8 cm. Este formato foi escolhido pois influencia diretamente na capacidade de distribuição de tensões (Hallack, 2001).

**Figura 5 – Corpos de prova**



Fonte: Fotografia feita pelo autor no tanque de cura de concreto da Universidade, segundo processo de cura.

**Figura 6 – Ensaio de resistência à compressão**



Fonte: Fotografia feita pelo autor durante o ensaio à compressão.



Este modelo de pavimentação resiste a movimentos perpendiculares ao solo, horizontais, e movimentos de giro quando em contato com os blocos circunvizinhos (Cruz, 2007). Com o objetivo de assegurar que os blocos estejam travados entre si, o encaixe deve ser preciso com dimensões bem delimitadas e juntas pouco espaçadas (NBR 15953, 2011).

Com as formas preenchidas de concreto, são deixadas por 24 horas em abrigo para que haja a cura inicial. Após esse período, já podem ser desmoldadas e levadas para o tanque de cura de concreto, que por 28 dias, é finalizado o processo de cura do paver (figura 5). Passados os 28 dias, o paver é removido do tanque, retirado o excesso de água com um pano, e então embalado com filme PVC, para que não haja fragmentos dispersos pelo laboratório após o ensaio. Para o ensaio, foram adotadas as medidas estipuladas na NBR 9781, que normaliza o teste à compressão do paver. Todo processo foi repetido por mais 5 vezes, em que a primeira vez foi sem a utilização de material reciclado, que chamaremos de “amostra controle”, e os demais experimentos foram substituindo a areia natural por agregado reciclado, com variações de 10% em massa (kg) (quadro 1).

**Quadro 1 – Identificação das amostras**

Agregado	Amostra controle	Amostra 10%	Amostra 20%	Amostra 30%	Amostra 40%	Amostra 50%
Areia	27 kg	24,3	21,6 kg	18,9 kg	16,2 kg	13,5 kg
Reciclado	0 kg	2,7 kg	5,4 kg	8,1 kg	10,8 kg	13,5 kg

Fonte: Elaborado pelo autor, apresentando as substituições de areia por agregado reciclado.

Como a umidade da areia do laboratório era diferente da umidade do agregado reciclado, foi necessário adicionar um aditivo superplastificante para que não houvesse alteração na relação A/C conforme fosse aumentando sua porcentagem na mistura. O aditivo químico utilizado possui função superplastificante de terceira geração, compatível com todos os tipos de cimento Portland. É baseado em uma cadeia de éter policarboxílico modificado que atua como dispersante do material cimentício, favorecendo a superplastificação e alta redução de água. De acordo com o fabricante, deve ser utilizado nas proporções de dosagens entre 0,2% a 1,0% sobre o peso do cimento. O aditivo utilizado atende aos requisitos da NBR 11768 (ABNT, 2011) tipo P – Plastificante e SP – Super Plastificante e da norma americana ASTM C494 (ASTM, 2019), tipo A – Redutor de água e F – Redutor de água de elevado desempenho.

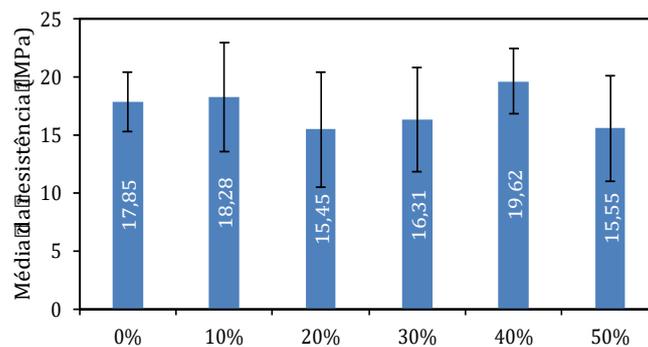
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a viabilidade quanto a resistência do material, deve-se fazer a análise dos relatórios do ensaio à compressão dos 16 pavers produzidos de cada amostra, incluindo o controle (0%). Para isso, fez-se a média dos resultados de cada corpo de prova (CP), criando um valor único de resistência à compressão (em MPa) de cada amostra, bem como seu desvio padrão (figura 7).

A amostra controle obteve 17,85 MPa, e será com essa resistência que basearemos a relação dos demais resultados: Amostra 10% obteve 18,28 MPa, apresenta 2,41% de

melhora na resistência. Amostra 20% obteve 15,45 MPa, com um decréscimo de 13,45% na resistência. Amostra 30% obteve 16,31 MPa, com um decréscimo de 8,63% na resistência. Amostra 40% obteve 19,62 MPa, apresenta 9,92% de melhora na resistência. Amostra 50% obteve 15,55 MPa, com um decréscimo de 12,89% na resistência.

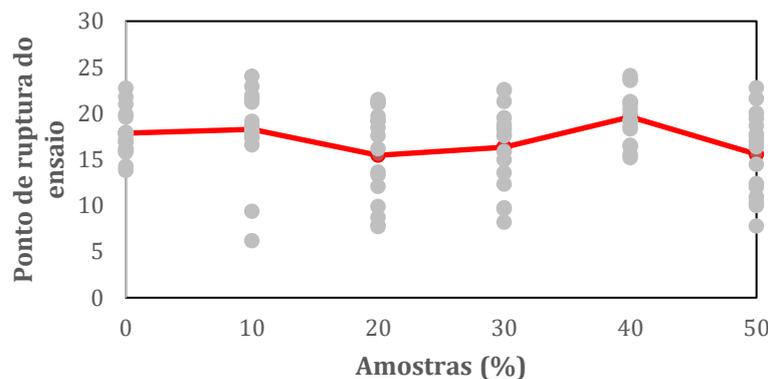
**Figura 7 – Média de resistência de cada amostra**



Fonte: Elaborado pelo autor, apresentando as substituições de areia natural por agregado reciclado.

Apenas com estes resultados, não pode-se assumir que existe uma relação da perda da resistência conforme alteração a areia natural pelo agregado reciclado, mas os dados estão muito dispersos, e isso é observado pela variância dos pontos. Para que haja um entendimento melhor sobre a resistência de cada CP, foi gerado um gráfico pontual de dispersão de amostras (figura 8).

**Figura 8 – Gráfico do ponto de ruptura de todas amostras**



Fonte: Elaborado pelo autor, exibindo a dispersão dos dados.

Portanto, é possível observar que existe uma variância grande dos dados, ou seja, alguns CPs tiveram valores muito diferentes da média numa mesma amostra. Para que não haja dúvidas sobre dispersão dos dados, foi utilizado uma ferramenta de estatística chamada de valor-p (*p-value* ou valor da probabilidade). O valor-p indica a probabilidade de se observar uma diferença tão grande ou maior do que a que foi observada sob a hipótese nula (Pós-Graduando, 2012). Na grande maioria das áreas, admite-se um valor crítico de p menor ou igual a 0,05, ou seja, assume-se como margem de segurança 5% de chances de erro, ou olhando por outro ângulo, 95% de chances de estar certo. O valor-p encontrado foi de 0,0289.



#### 4. CONCLUSÃO

Como as amostras submetidas ao estudo produziram resultados muito dispersos, torna-se difícil estabelecer uma relação direta entre a substituição da areia natural por agregado reciclado a partir de RCC. Além disso, a compressão mínima do paver para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais é de 35 Mpa (NBR 9.781, 2012), que não foi atingido nem mesmo na amostra controle (0%).

Assim, para atingir a resistência mínima estipulada por norma, deve-se refazer as 6 amostras observando alguns ajustes como: alteração do traço, caso o problema seja devido à formulação da mistura; cuidados no processo de fabricação do paver; caso tenham havido potenciais negativos como variações na mistura de concreto, variação no tempo de mistura, problemas no processo de compactação, variações de umidade ou problemas de cura inadequada.

Ao final, tornar-se necessário considerar alternativas para sua utilização, ou outras aplicações que demandem requisitos de resistência inferiores, como calçamento de jardins, pátios ou áreas de lazer de baixo tráfego de pedestres e veículos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à instituição Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a Fundação Araucária. A infraestrutura e recursos proporcionados por elas desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento deste trabalho. Estou verdadeiramente grato por fazer parte desta comunidade acadêmica.

Além disso, quero estender meus agradecimentos ao Prof. Dr. César Augusto Casagrande por sua orientação e apoio inestimáveis ao longo deste trabalho.

Agradeço também a todos os colegas e amigos que contribuíram direta ou indiretamente para este projeto. Em destaque, ao Prof. Dr. Matheus David Inocente Domingos, que viabilizou o uso de suas formas de paver durante a pesquisa.

#### 6. CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

#### 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, p. 21. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953: Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução**. Rio de Janeiro, p. 13. 2011.

Compreendendo o valor de p na análise estatística. **Pós-graduando**, 24 de janeiro de 2012. Disponível em: <https://posgraduando.com/compreendendo-o-valor-de-p/>. Acesso em: 15 de setembro de 2023.

Hallack, A. **Pavimento Intertravado: uma solução universal**, Revista Prisma, Dezembro 2001, p. 25-27.

Cruz, Luiz Otávio Maia. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.