

Avaliação da variabilidade das propriedades dos agregados reciclados de RCD

Assessment of properties variability of recycled construction and demolition aggregates

V. Martins Junior^{a†}, N.C.S. Forti^b, A.E.P.G. Ávila^b, L.L. Pimental^b

^a *Universidade Federal de Afenas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental, Poço de Caldas, Brasil*

^b *Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Programa Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Campinas, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: valtermartinsjr94@gmail.com*

RESUMO

A necessidade de se buscar destinação ambientalmente adequada para os resíduos de construção e demolição (RCD) torna essencial a reciclagem deste material. As características dos agregados produzidos pelo processo de reciclagem afetam o desempenho dos materiais feitos à base de cimento Portland, somado a isso, a qualidade do agregado reciclado é fortemente influenciada pelo processo produtivo. O objetivo deste trabalho é analisar e avaliar através de ferramentas estatísticas, como análise de variância (ANOVA) e teste Scott-Knott a variabilidade das propriedades dos agregados reciclados (AR) miúdos e graúdos produzidos em quatro usinas recicladoras do estado de São Paulo ao longo de um ano. Coletou-se amostras de AR miúdos ($\Phi_{\max} < 4,8\text{mm}$) e graúdos ($\Phi_{\max} 9,5/25\text{mm}$) em quatro usinas recicladoras do estado de São Paulo, sendo elas: Hortolândia, Limeira, Jundiaí e Várzea Paulista. Efetuou-se três coletas para cada usina, com tempo de espaçamento entre coletas de quatro meses. As propriedades físicas ensaiadas para a caracterização e análise da variabilidade dos agregados foram: módulo de finura, absorção de água, teor de finos e massa específica. Os resultados obtidos dos ensaios realizados indicam que a variabilidade de características de agregados procedentes de diferentes usinas de reciclagem existe. Pode-se dizer que esta variabilidade se dá não apenas pelas diferenças no processo de produção de cada usina como também pela qualidade do entulho recebido em cada planta e a eficácia de sua triagem.

ABSTRACT

The need to seek an environmentally appropriate destination for construction and demolition waste (WCD) makes recycling this material essential. The characteristics of the aggregates produced by the recycling process affect the performance of composites made with Portland cement, in addition to this, the quality of the recycled aggregate is strongly influenced by the production process. This work aim is to analyze and evaluate, through statistical tools, such as analysis of variance (ANOVA) and Scott-Knott test, the variability of the properties of fine and coarse recycled aggregates (RA) produced in four recycling plants in the state of São Paulo over a period of time one year. Fine ($\Phi_{\max} < 4.8\text{mm}$) and coarse ($\Phi_{\max} 9.5/25\text{mm}$) recycled aggregate (RA) samples were collected in four recycling plants in the state of São Paulo, namely: Hortolândia, Limeira, Jundiaí and Várzea Paulista. Three collections were carried out for each plant, with a space of four months between collections. The physical properties tested for the

Palavras-chave:

Resíduo de construção;
Agregados reciclados;
Qualidade.

Keywords:

Construction waste;
Recycled aggregates;
Quality.

characterization and analysis of the variability of the aggregates were: fineness modulus, water absorption, fines content and specific mass. The results obtained from the tests carried out indicate that characteristics variability of aggregates from different recycling plants exists. It can be said that this variability is due not only to the differences in the production process of each plant, but also to the quality of the debris received at each plant and the effectiveness of its sorting.

1. Introdução

Somente no ano de 2020 os municípios brasileiros coletaram, aproximadamente 47 milhões de toneladas de resíduos da construção e demolição (RCD), um aumento de 5,5% em relação ao ano anterior. Isto representa uma taxa de geração média por habitante de 221,2 kg por habitante/ano [1].

Segundo a ABRECON [2], mais da metade dos resíduos da construção e demolição (RCD) são descartados de forma clandestina e irregular no Brasil e o país recicla apenas 16% do total de resíduos da construção gerados. A maior parte das usinas de reciclagem estão em cidades com população superior a 100 mil habitantes e 82% delas são microempresas, em sua grande maioria, carentes de equipamentos de limpeza e triagem dos resíduos, o que resulta em um agregado reciclado com quantidade de impureza acima do estabelecido pela norma técnica.

Uma alternativa mitigadora para o acúmulo de RCD em áreas de transbordo e triagem é a sua transformação em agregados reciclados, como areia, pedrisco, brita e rachão e sua inserção na produção de concreto. No Brasil, a norma NBR 15116:2021 [3] estabelece requisitos para os agregados reciclados (AR) e limites para sua utilização na produção de concreto.

A produção do agregado reciclado é feita em usinas recicladoras de RCD que, basicamente, fazem a triagem do material e na sequência, algumas usinas fazem o peneiramento para remover o solo antes do processo de britagem, então é os agregados são separados em faixas granulométricas por meio de peneiramento.

Apesar dos estudos comprovarem a viabilidade do uso do RCD como agregados reciclados, a grande variabilidade de suas características dificulta seu uso. Essa variabilidade decorre principalmente do processo de produção da planta da usina recicladora [4].

Essa baixa qualidade do agregado reciclado gera uma dificuldade para sua aplicação, principalmente, como agregado para produção de artefatos de argamassa e concreto. Diversos estudos voltados para a caracterização do agregado reciclado têm sido realizados de modo a identificar características constantes deste tipo de agregado e, também, indicar os fatores que causam tamanha variabilidade dessas características [5,6,7].

Segundo Melo et al, 2013 [8], a qualidade do agregado reciclado depende de fatores externos, como o tipo de britador e a forma de armazenamento do material, assim como de fatores internos, como implantação da usina, tipo de beneficiamento e comercialização do produto. Para [9], um grande problema que envolve a produção de agregado reciclado é a heterogeneidade da sua matéria prima, ou seja, os RCD.

A heterogeneidade da matéria que compõe o RCD impacta na qualidade do agregado reciclado, pois a variabilidade de sua composição, que apresenta diferentes porcentagens de concreto, rochas, argamassa, materiais cerâmicos e contaminantes (gesso, asfalto, entre outros), afetam significativamente as propriedades físicas do agregado reciclado, tais como a granulometria, massa específica e a capacidade de absorção de água e isto pode acarretar em baixo desempenho dos produtos gerados com este material [9,10,11].

Portanto, neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar e avaliar através de ferramentas estatísticas, a variabilidade das propriedades dos agregados reciclados, miúdos e graúdos, produzidos em quatro usinas recicladoras do estado de São Paulo ao longo de um ano.

2. Metodologia

Coletou-se amostras de agregados reciclados miúdos ($\Phi_{\max} < 4,8\text{mm}$) e graúdos (Φ_{\max}

9,5/25mm) em quatro usinas recicladoras do estado de São Paulo, sendo elas: Hortolândia, Limeira, Jundiaí e Várzea Paulista. Os processos de produção das quatro unidades recicladoras são similares, no entanto a Usina de Jundiaí apresenta um processo de triagem melhor do que as demais usinas, pois inclui a etapa para retirada da fração solo e as condições para os trabalhadores na área de triagem também são melhores por ser coberta e com esteira rolante.

Efetou-se três coletas para cada usina, com tempo de espaçamento entre coletas de quatro meses. De modo a facilitar a identificação das amostras no decorrer do trabalho, as mesmas receberam o nome de origem abreviado seguido de um número que indica qual das três etapas de coleta, como exemplo, L2, coleta 2 da amostra de Limeira. A Tabela 1 apresenta a nomenclatura utilizada para cada usina e coleta.

Tabela 1 - Nomenclatura para amostras de AR coletadas.

Usinas	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Hortolândia	H1	H2	H3
Limeira	L1	L2	L3
Jundiaí	J1	J2	J3
Várzea Paulista	VP1	VP2	VP3

A NBR 15116:2021 [3] estabelece três tipos de agregados reciclados, o ARCO – agregado reciclado de concreto que não pode conter material cerâmico, o ARCI, agregado reciclado cimentício que pode conter até 10% de material cerâmico e o ARM – agregado reciclado misto, que pode conter até 40% de material cerâmico. Os agregados reciclados graúdos de todas as coletas enquadram-se como ARCI, conforme ensaio proposto pelo Anexo A da NBR 15116:2021 [3], já os agregados reciclados miúdos não foram ensaiados por não haver uma norma que especifique tal ensaio.

As propriedades físicas ensaiadas para a caracterização e análise da variabilidade dos agregados estão apresentadas na Tabela 2, seguidas das respectivas normas de ensaio.

Tabela 2 - Propriedades ensaiadas e normas técnicas.

Propriedades	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Módulo de finura	NBR NM 248	NBR NM 248
Absorção de água	NBR NM 30	NBR NM 53
Teor de finos	NBR NM 46	NBR NM 46
Massa específica	NBR NM 52	NBR NM 53

A determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos foi feita segundo a NBR NM 248: 2003 [12], a partir da elaboração da composição granulométrica obteve-se o módulo de finura dos agregados.

O cálculo da massa específica e capacidade de absorção de água referente aos agregados miúdos foram feitos conforme a NBR NM 52:2009 [13] e NBR NM 30:2001 [14], respectivamente. Determinou-se a massa específica (γ) através da equação 1 e a absorção de água dos agregados (A) através da equação 2.

$$\gamma = \frac{M1}{M1 - \left(\frac{M2 - M3}{\gamma_{\text{água}}}\right)} \quad (1)$$

$$A = \frac{M1 - M4}{M4} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

γ = massa específica do agregado, em gramas/cm³;

A = Absorção de água, em %;

M1 = massa saturada de superfície seca;

M2 = somatória da massa do picnômetro com a da amostra, da placa de vidro e da solução, em gramas;

M3 = somatória da massa do picnômetro com a da água e da placa, em gramas;

M4 = massa seca, em gramas.

Para o agregado graúdo, a massa específica e a capacidade de absorção de água foram determinadas conforme a [15] NBR NM 53 : 2009 utilizando-se uma balança hidrostática de capacidade de 8 kg.

A determinação do teor de finos que passa pela peneira a 0,075 mm referente aos agregados miúdos e graúdos, foi feita segundo a NBR NM 46: 2003 [16], pelo método de lavagem. O teor de finos foi calculado conforme a equação 3.

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

m= teor de finos, em %;

m_i= massa inicial da amostra seca na estufa até a constância do peso, em gramas;

m_f= massa final da amostra que ficou retida na peneira 0,075 mm seca na estufa, em gramas.

Ressalta-se que para cada amostra ensaiada referente às propriedades citadas acima, procedeu-se três repetições, deste modo, cada coleta conta com 24 observações para cada propriedade (AR miúdo e graúdo).

Quanto à análise estatística dos resultados, esta foi feita através da análise de variância (ANOVA) e, todas as vezes que a hipótese nula foi rejeitada, realizou-se o teste de Scott-Knott e quando pertinente a regressão linear foi realizada, para buscar comprovar correlações entre parâmetros. Todos os tratamentos estatísticos realizados foram realizados com precisão de 95%, ou seja, 5% de significância.

Os gráficos foram desenvolvidos utilizando um software estatístico chamado R Studio que gradua dos menores para os maiores valores, seguindo o padrão do espectro visível da luz branca, do violeta (menor valor) até o vermelho (maior valor).

3. Resultados e Discussão

3.1. Massa específica e absorção

Um dos parâmetros mais utilizados para descrever a qualidade dos agregados reciclados (AR) é a massa específica, AR com massas específicas elevadas tendem a proporcionar concretos mais resistentes. Angulo [6] disserta que AR com massa específica na faixa de 2,2 a 2,3 g/cm³ ou maiores, apresentam características que resultam em um concreto com comportamento mecânico semelhante ao dos agregados naturais. Na figura 1 e 2 apresentam-se os valores de massa específica para os AR miúdos e graúdos, respectivamente.

Os pontos apresentados na Figura 1 e nas figuras seguintes são as médias acompanhadas do desvio padrão (+/-) dos valores obtidos para cada usina e coleta. Sendo que pontos da mesma cor são estatisticamente iguais ao nível de 95% de confiança, conforme testados pela ANOVA e teste Scott-Knott.

Nenhum dos AR miúdos alcançaram a recomendação de [6], todas as amostras apresentam massa específica abaixo de 2,2 g/cm³. Quanto à variabilidade, nenhuma usina manteve para as três coletas o mesmo nível de significância, sendo que apenas Jundiáí apresentou duas coletas estaticamente iguais (J1 e J2).

Todos os valores de massa específica para os AR graúdos atenderam a recomendação de [6], com valores compreendidos entre 2,35 a 2,94 g/cm³. Apesar de atender a recomendação,

nota-se alta variabilidade nos resultados, conferindo uma diferença de 0,59 g/cm³ do menor valor para o maior.

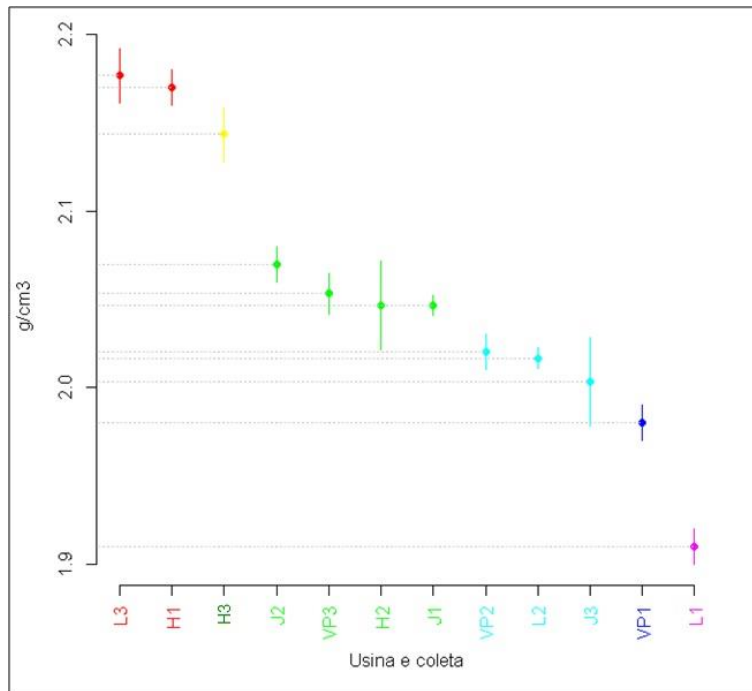


Figura 1 - Massa específica AR miúdos.

Analisando a variabilidade das amostras ao longo da mesma usina para os AR graúdos, os resultados foram melhores, três usinas apresentaram duas coletas estaticamente iguais, portanto, através desta análise revela-se que quanto ao parâmetro massa específica, este possui maior padronização para os agregados graúdos. Isso pode ser decorrente, principalmente, do fato de a separação dos contaminantes no processo produtivo ser mais fácil para os agregados reciclados graúdos em comparação aos miúdos, que acabam contendo altas taxas de solo em sua composição.

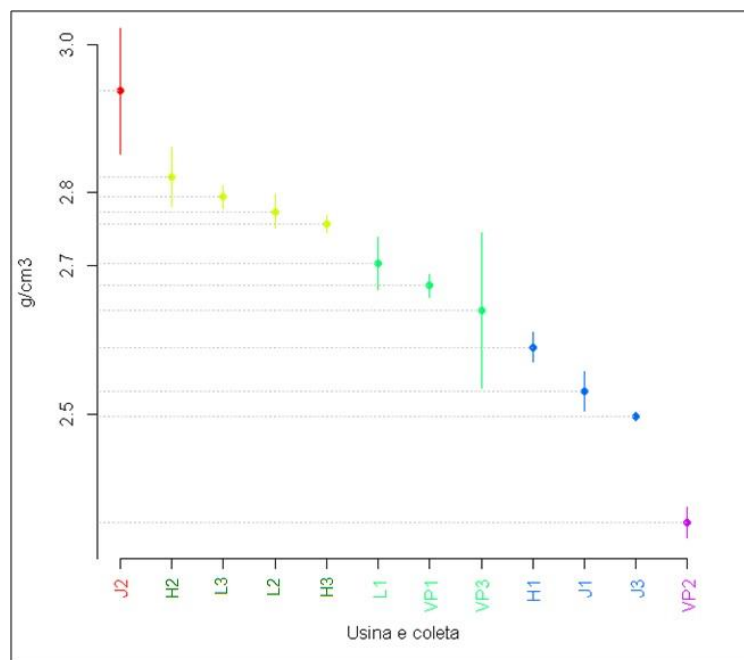


Figura 2 - Massa específica AR graúdos.

Os resultados da capacidade de absorção para todas as coletas de AR miúdos e graúdos estão expostos nas Figuras 3 e 4.

Para capacidade de absorção de água, diferentemente da massa específica, a NBR 15116:2021 [3] estabelece valor máximo da capacidade de absorção de água em função do tipo de agregado reciclado. Para o ARCI o limite máximo de capacidade de absorção de água é de 12%.

Apenas a amostra L1, não cumpriu o requisito de absorção para o agregado tipo ARCI, de no máximo 12%.

Analisando-se a variabilidade da qualidade do AR dentro de uma mesma usina, apenas uma usina obteve duas coletas com valores com a mesma significância (J1 e J2).

Nota-se que a maior parte das amostras está apresentando resultados dentro da faixa de 8,5 a 11%.

Considerando as médias das amostras mais o desvio padrão, todas as amostras de AR graúdo atenderam ao limite de capacidade de absorção de água para ARCI (< 12%). Verifica-se na Figura 4 uma menor variabilidade dos AR graúdos quando comparados com os miúdos quanto a capacidade de absorção de água, neste caso, formou-se 4 grupos com valores estaticamente iguais, enquanto para o miúdo foram 7 grupos. As usinas de Jundiá e de Hortolândia apresentaram duas amostras no mesmo grupo (J1 e J3; H1 e H2).

Capacidade de absorção de água e massa específica são parâmetros teoricamente inversamente correlatos, já que ambos são função da porosidade do agregado, ou seja, quanto maior a massa específica, menor a capacidade de absorção de água esperada. Para confirmar esta hipótese, efetuou-se com todos os dados das três coletas a ANOVA seguida do teste de regressão linear para Absorção vs Massa específica, com confiança adotada de 95%.

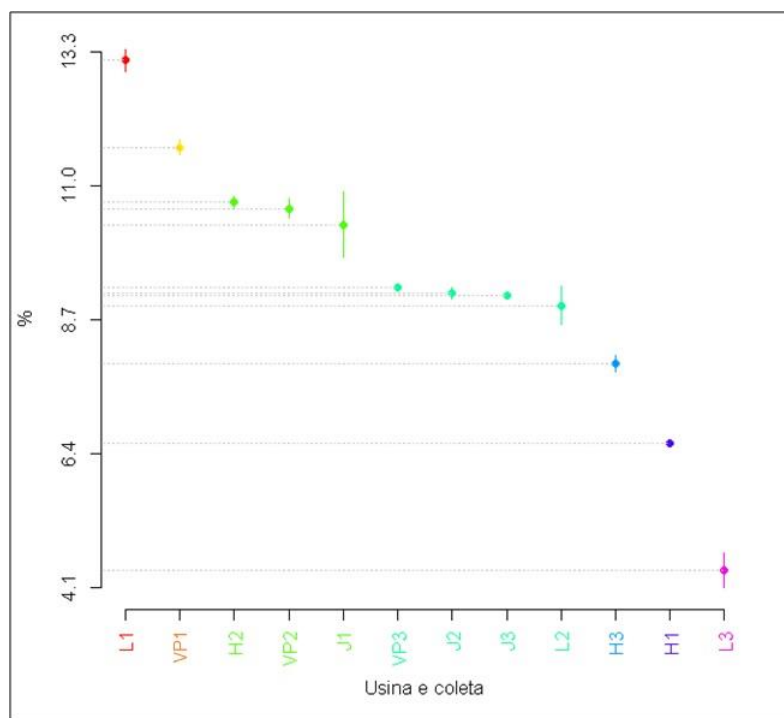


Figura 3 - Capacidade de absorção de água AR miúdos.

Fugindo do esperado, o teste de regressão para os AR graúdos não apresentou regressão linear, deste modo não há como afirmar que quanto maior a massa específica menor a capacidade de absorção, como era de se esperar. Para as amostras de AR miúdos a hipótese teórica se confirmou, o teste de regressão linear foi aceito e apresentou um valor de R2 igual a 88,29%, a reta de regressão encontra-se na Figura 5.

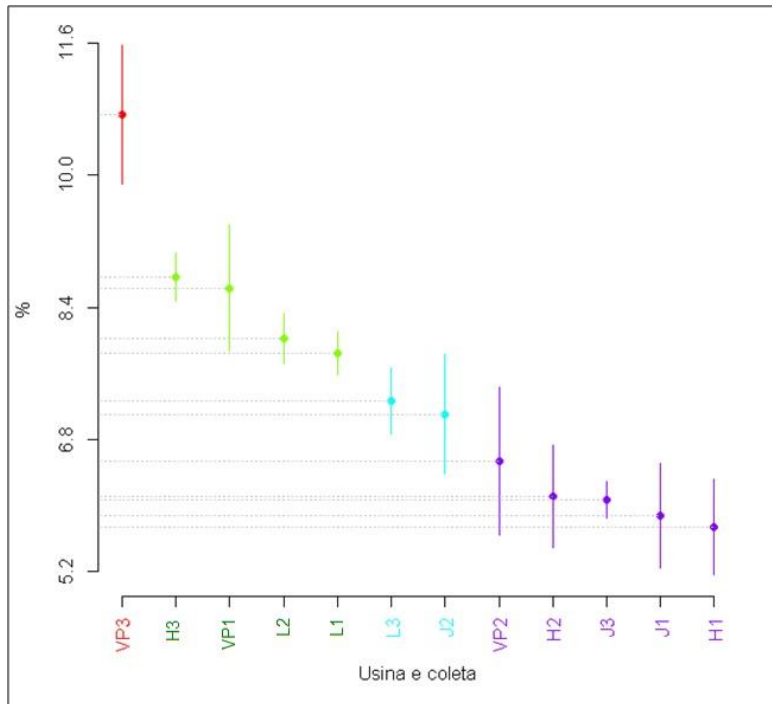


Figura 4 - Capacidade de absorção de água AR graúdos.

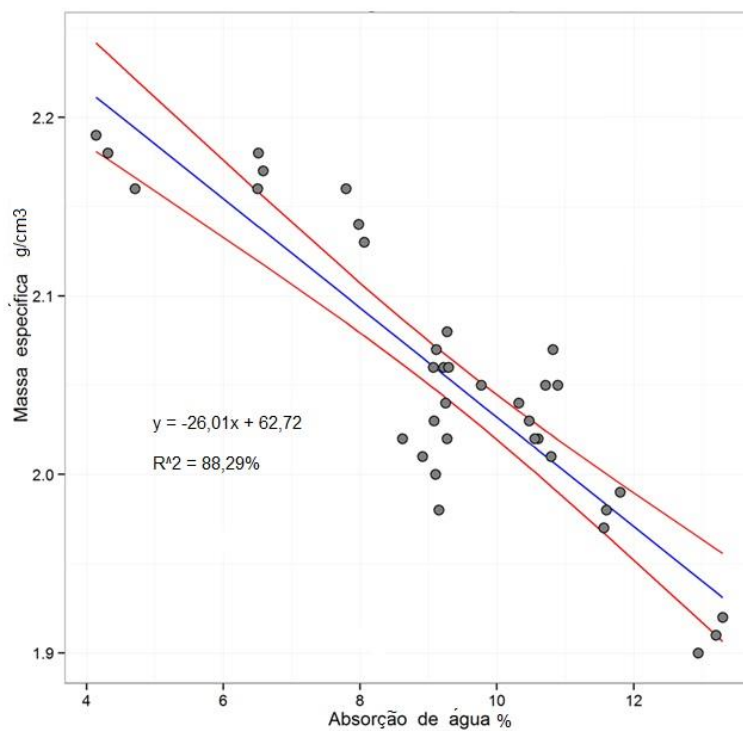


Figura 5 - Massa específica vs Capacidade de absorção

3.2. Módulo de finura

Para os agregados reciclados, a NBR 15116:2021 [3] recomenda que os mesmos devem atender as classes de composição granulométrica especificados pela NBR 7211:2009 [17].

Para agregados miúdos são definidas três faixas de módulo de finura: areia média - zona

ótima (Modulo de finura entre 2,20 e 2,90), Areia fina - zona utilizável inferior (Modulo de finura entre 1,55 e 2,20) e Areia grossa - zona utilizável superior (Modulo de finura entre 2,90 e 3,50). Os AR miúdos para estarem aptos para utilização em concretos e argamassas devem possuir módulo de finura dentro de alguma das faixas especificadas.

Para agregados graúdos a NBR 7211:2009 [17] não estabelece zonas de utilização para o módulo de finura, a norma apenas exige que os agregados graúdos estejam compreendidos dentro de alguma granulometria de brita, que se inicia em brita 0 (4,75/12,5 mm) e vai até brita 4 (37,5/75 mm). Como citado anteriormente na metodologia, as amostras de AR graúdos possuem composição de 9,5/25mm, assim sendo, todas as amostras enquadram-se como brita 1 e atendem a NBR 7211:2009 [17] e conseqüentemente a NBR 15116:2004 [3], entretanto, para a análise de variabilidade determinou-se também os módulos de finura para os AR graúdos.

Os valores de módulo de finura para os AR miúdos e graúdos são apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

A amostra VP2 apresentou modulo de finura acima de 3,5, portanto não se enquadrando em nenhuma das faixas de classificação de agregados miúdos.

Observa-se também, que da amostra H1 até a L2, todas são classificadas como areia média, pois apresentam módulo de finura entre 2,20 e 2,90. As demais amostras são classificadas como areia grossa, com módulo de finura entre 2,90 e 3,50.

A análise estatística dos AR miúdos apresentou 7 grupos de valores estaticamente iguais. As amostras de Limeira possuem duas coletas com valores de mesma significância e o valor da terceira coleta está próximo das duas anteriores, tal informação infere que a separação granulométrica da usina de Limeira está sendo bem realizada, diferentemente das outras, que possuem valores bem espaçados ao longo do tempo, mostrando assim alta variabilidade da composição granulométrica.

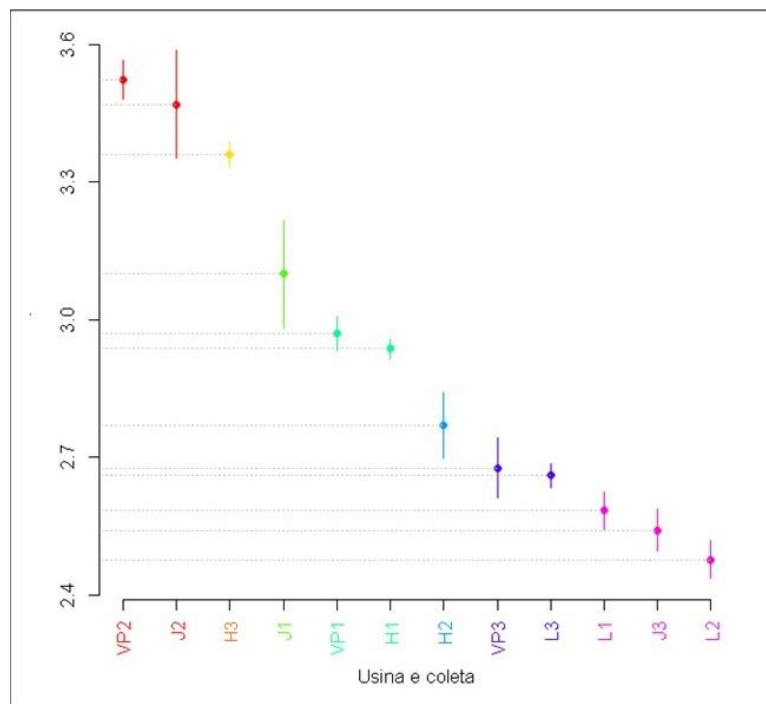


Figura 6 - Módulo de finura AR miúdos.

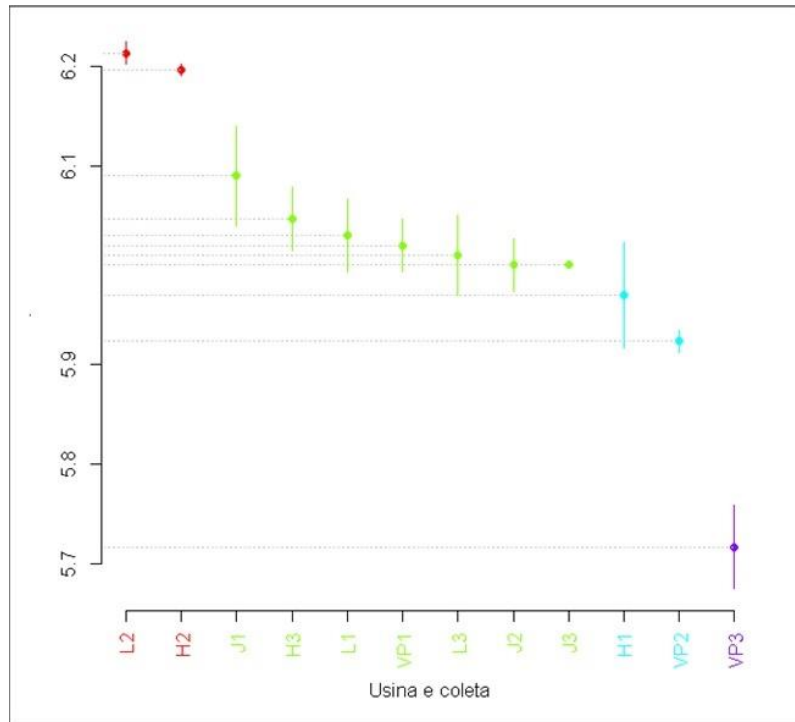


Figura 7 - Módulo de finura AR graúdos.

3.3. Teor de finos

A NBR 15116:2021 [3] determina que o teor de finos para AR miúdos e graúdos, seja de no máximo 12% para os agregados tipo ARCI.

Os resultados para o teor de finos para AR miúdos e graúdos está apresentado nas Figuras 8 e 9.

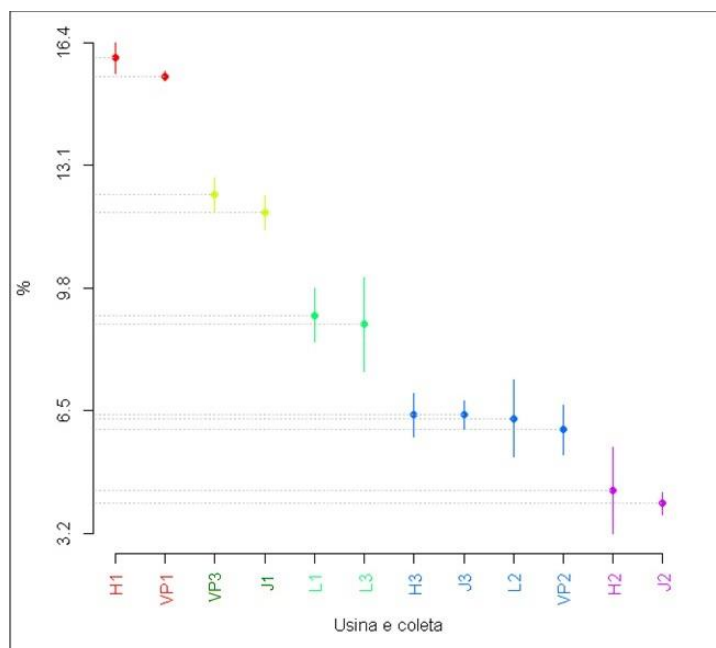


Figura 8 – Teor de finos AR miúdos.

As quatro primeiras amostras (H1 a J1) extrapolam o limite de 12% para teor de finos estipulados para ARCI.

Para os agregados reciclados miúdos a variabilidade dos resultados é alta, visto que a análise estatística apresentou cinco grupos de significância.

Apenas a usina de Limeira obteve dois valores de coleta com a mesma significância, o restante das usinas não mostrou um padrão de uniformidade ao longo do tempo.

Os resultados expostos na Figura 9 cumprem com a exigência normativa para teor de finos, todos estão abaixo de 12%. Para AR graúdos duas usinas, Hortolândia e Jundiáí, obtiveram duas coletas estaticamente iguais, entretanto a variabilidade dos AR graúdos em função do teor de finos faz-se presente nas outras amostras.

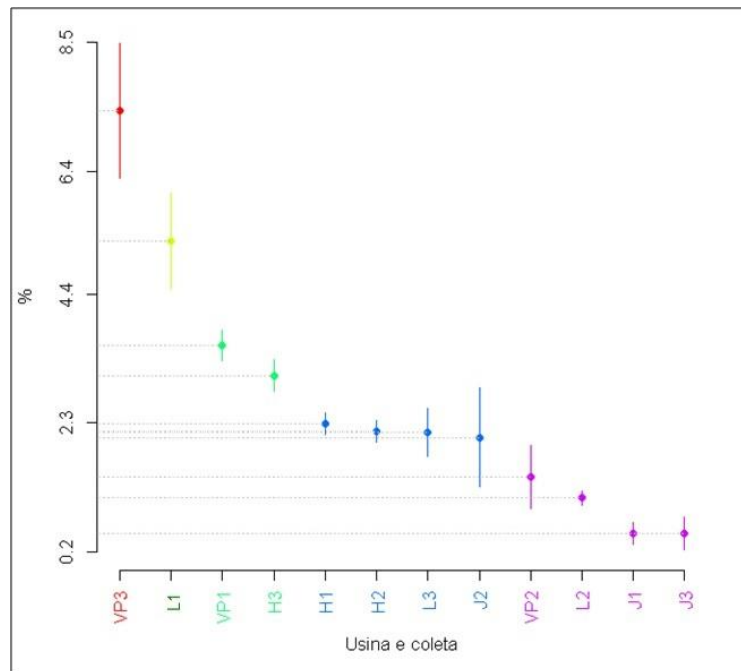


Figura 9 – Teor de finos AR graúdos.

4. Conclusão

Baseando-se nos resultados obtidos para os ensaios realizados, pode-se concluir que a variabilidade de características de agregados reciclados procedentes das quatro usinas avaliadas é alta, pode-se dizer que esta variabilidade se dá não apenas pelas diferenças no processo de produção de cada usina como também pela qualidade do entulho recebido em cada planta e a eficácia de sua triagem. Além disso, notou-se também variabilidade de características quando analisada uma mesma usina durante as coletas realizadas, nenhuma das usinas apresentou para um mesmo parâmetro, os resultados das três coletas dentro do mesmo nível de significância.

Apesar de apresentar uma grande variabilidade nas características avaliadas, as quatro usinas mostraram-se capazes de produzir agregados reciclados de forma a atender aos limites impostos pela NBR 15116:2021 [3].

Para a utilização do AR na produção de concreto e de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se que a procedência do material seja a mesma e de preferência de uma mesma partida de produção. Deste modo, a variabilidade de características será diminuída, mas ainda existirá. Além disso, é de extrema importância que ensaios de caracterização sejam realizados antes do uso deste material na produção de concreto e argamassa.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro através dos projetos 2014/20486-8 e 2016/12360-0.

Referências

- [1] Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. <http://www.abrelpe.org.br/panorama>, 2021 (acesso em 22 junho 2022).
- [2] Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon). Encontro Nacional das Usinas de Reciclagem de RCD apresenta dados inéditos sobre a reciclagem de entulho no Brasil. <https://abrecon.org.br/encontro-nacional-das-usinas-de-reciclagem-de-rcd-apresenta-dados-ineditos-sobre-a-reciclagem-de-entulho-no-brasil/>, 2020 (acesso em 22 junho 2022).
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios– Requisitos, 2021.
- [4] M. Martín-Morales, M. Zamorano, A. Ruiz-Moyano, I. Valverde-Espinosa. Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08, *Constr. Build. Mater.*, 5 (2011) 742–748.
- [5] C. Ulsen, Caracterização tecnológica de resíduos de construção e demolição, Dissertação de M.Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil, 2006.
- [6] S. C. Angulo, Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influências de suas características no comportamento de concretos. Tese de Ph.D., USP, São Paulo, SP, Brasil, 2005.
- [7] L. Delongui. Caracterização e adequação dos resíduos da construção civil produzidos no município de Santa Maria-RS para aplicação em pavimentação. Dissertação de M.Sc., UFSM, Rio Grande do Sul, Brasil, 2012.
- [8] A. V. S. Melo, E. A. M Ferreira, D. B. Costa. Fatores críticos para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de RCC da região nordeste do Brasil. *Ambiente Construído*, 13 (2013) 99-115.
- [9] J. Brito, M. Bravo, M. Mália. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construção residenciais novas: *Ambiente Construído* 11 (2011) 117-130.
- [10] S. C. Angulo. Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados. Dissertação de M. Sc. USP, São Paulo, SP, Brasil, 2000.
- [11] M. J. Mcguinnis, M. Davis, A. Rosa, B. D. Weldon, Y. C. Kurama. Strength and stiffness of concrete with recycled concrete aggregates. *Constr. Build. Mater.*, 154 (2017) 258-269.
- [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica, 2003.
- [13] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente, 2009.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água, 2001.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, 2009.
- [16] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 46: Agregados – Determinação do material que passa através da peneira 75µm, por lavagem, 2001.
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Associação brasileira de normas técnicas, 2009.

ORCID

V. Martins Junior 0000-0002-4543-1010 (<https://orcid.org/0000-0002-4543-1010>)
N.C.S. Forti 0000-0001-9994-5546 (<https://orcid.org/0000-0001-9994-5546>)
A.E.P.G. Ávila 0000-0001-5401-2160 (<https://orcid.org/0000-0001-5401-2160>)
L.L. Pimental 0000-0001-5146-0451 (<https://orcid.org/0000-0001-5146-0451>)