

AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL RECICLADOS COMO AGREGADOS DO CONCRETO EM UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM

Evaluation of the use of recycled civil construction waste as concrete's aggregates in a composting yard

Alane Bessa Gualberto ¹, Izabel Christina d'Almeida Duarte de Azevedo ²,
Renan Monteiro Rodrigues Pereira ³

Recebido em 30 de agosto de 2017; aceito em 23 de março de 2018; disponível on-line em 27 de julho de 2018.



PALAVRAS CHAVE:

Construção civil;
Resíduos;
Agregados reciclados;
Compostagem;
Pátio piloto.

KEYWORDS:

Civil construction;
Waste;
Recycled aggregates;
Composting;
Pilot yard.

RESUMO: Os impactos ambientais, sociais e econômicos ocasionados pelos resíduos da construção civil (RCC) e sua inadequada disposição no ambiente, impõem a necessidade da adoção de soluções eficazes para a correta gestão desses resíduos. Neste trabalho, procurou-se avaliar a viabilidade de utilização de agregados reciclados de RCC classe A na construção de um pátio de compostagem piloto. Para isto, compararam-se seu desempenho e custo com pátios executados com concreto tradicional e solo-cimento. Os agregados reciclados foram analisados quanto às suas características físicas, químicas e mecânicas. Foram avaliados os parâmetros determinantes do processo de compostagem, a fim de averiguar possíveis influências dos agregados reciclados na degradação da matéria orgânica. O pátio com agregados reciclados quanto à estanqueidade e resistência mecânica não se mostrou adequado. O pátio executado com solo-cimento apresentou desempenho satisfatório. Quanto aos custos, a adoção de agregados reciclados proporcionou uma redução de 18,68% nos valores de implantação, comparado a um pátio em concreto tradicional, podendo representar uma economia significativa na obra de uma usina de triagem e compostagem. Porém, em relação ao pátio em solo-cimento, o pátio com agregados reciclados apresentou menor viabilidade econômica, visto que seu custo superou em 17,77% o do pátio em solo-cimento. Deste modo, identificaram-se os aspectos dos agregados reciclados que necessitam de melhoria para que estes se firmem como uma alternativa econômica e ambientalmente viável.

ABSTRACT: The environmental, social and economic impacts caused by construction waste (CCW) and its inadequate disposal in the environment, require the adoption of effective solutions for the correct management of this waste. In this paper was try to evaluate the feasibility of using recycled aggregates of CCW class A in the construction of a pilot composting yard. For this, their performance and cost were compared with patios executed with traditional concrete and soil-cement. The recycled aggregates were analyzed for their physical, chemical and mechanical characteristics. The parameters determining the composting process were evaluated in order to investigate possible influences of the recycled aggregates on the degradation of organic matter. The yard with recycled aggregates for watertightness and mechanical resistance was not adequate. The yard with soil-cement presented satisfactory performance. In terms of costs, the adoption of recycled aggregates resulted in a 18.68% reduction in deployment values, compared to a traditional concrete yard, wich could represent a significant saving in the work of setting up a sorting and composting plant. However, in relation to the yard in soil-cement, the yard with recycled aggregates presented less economic viability, since its cost exceeded in 17.77% the patio in soil-cement. Thus, the aspects of the recycled aggregates that need improvement have been identified, so that these become an economical and environmentally viable alternative.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: alane.bgualberto@gmail.com (A. B. Gualberto)

Engenheira Ambiental, Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

² e-mail: iazevedo@ufv.br (I. C. A. D. Azevedo)

Engenheira Civil, Doutora em Engenharia Civil, Professora Titular da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

³ e-mail: renanmrp@hotmail.com (R. M. R. Pereira)

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o processo de reciclagem tem sido apontado como uma das principais alternativas para a correta destinação dos resíduos da construção civil (RCC). Os diferentes produtos obtidos nesse processo têm se mostrado como boas alternativas ao agregado natural em diversas aplicações, como base e sub-base de pavimentos, cobertura primária de vias, agregado para concretos e argamassas, e matéria-prima para a fabricação de tijolos e blocos (Fagury e Grande, 2007). O que aponta para a possibilidade de aplicação desses materiais como agregados do concreto na execução de pátios de compostagem, locais destinados ao tratamento de resíduos orgânicos, construídos, usualmente, em concreto tradicional, e que exigem grandes áreas devido ao período demandado para a estabilização da matéria orgânica.

Todavia, para isto, é necessário que se obtenha maior conhecimento sobre as propriedades dos produtos gerados pelo processo de reciclagem dos RCC, uma vez que estes podem apresentar composição variada e características diversas, que podem influenciar e comprometer as características do concreto.

Se comprovadas a eficiência e a viabilidade, o uso de RCC reciclados em substituição ao agregado natural em pátios de usinas de triagem e compostagem (UTCs) poderá ser uma alternativa potencial para a disposição final desses resíduos. Como, no Brasil, o número de municípios com menos de 20.000 habitantes ultrapassa 68% (IBGE, 2016), a utilização de RCC poderá proporcionar a estes municípios, com menor capacidade de investimento, redução de custos na implantação de UTCs.

2. OBJETIVOS

Considerando a necessidade de destinar corretamente os resíduos da construção civil e a importância de maior conhecimento sobre as propriedades dos agregados gerados a partir

desses resíduos, o presente trabalho, integrante do Projeto de Pesquisa titulado como “Estudo da viabilidade de utilização de agregados de resíduos da construção e demolição em barreiras químicas, pátios de compostagem de UTCs e em sistemas de drenagem”, fomentado pelo CNPQ e pela FAPEMIG, cuja primeira parte consistiu na caracterização dos agregados reciclados de RCC, a qual foi executada por Cruz e Pereira (2015), visa a avaliar as possíveis vantagens técnicas e a redução de custos com a adição de material granular, oriundo de RCC Classe A, em substituição ao agregado natural, na construção de um pátio de compostagem piloto. Propõe-se, também, comparar seu desempenho e custo com pátios construídos com solo cimento e concreto tradicional, avaliados por Novais (2011) e, analisar possíveis influências no processo de compostagem.

3. PROPRIEDADES DOS AGREGADOS RECICLADOS E SEUS EFEITOS SOBRE O CONCRETO

Tendo em vista melhor aplicabilidade dos agregados reciclados nos diversos processos construtivos, o conhecimento de suas propriedades químicas, físicas e mecânicas torna-se indispensável, visto que estas influenciam as características do concreto. Dentre as propriedades mais relevantes, estão a composição, granulometria, forma e textura, absorção de água, massa específica, resistência à compressão e à abrasão.

Por serem provenientes de resíduos diversos, os agregados obtidos pelo processo de reciclagem apresentam elevada heterogeneidade e variabilidade de composição. Dentre os materiais que os constituem, observa-se que as maiores parcelas, em geral, são atribuídas ao concreto, argamassa e material cerâmico (Vieira e Molin, 2004). Materiais como o gesso, vidro, plástico, ou que contenham matéria orgânica, cloretos e sulfatos, podem ser encontrados, também, como seus constituintes (Vieira e Molin, 2004).

Entretanto, a presença de tais materiais não é desejada e os mesmos são vistos como contaminantes (Tenório, 2007). Diversos autores ressaltam que há materiais especialmente prejudiciais, como é o caso do gesso e de materiais metálicos (que contêm zinco e alumínio), os quais podem ocasionar fissuras, e dos cloretos, que podem provocar corrosão (Hansen, 1992).

Quanto à composição granulométrica, os agregados reciclados tendem a apresentar maiores teores de finos e de materiais pulverulentos do que os agregados naturais (Tenório, 2007). Segundo Helene e Terzian (1992), tal característica tem importante influência sobre o consumo de materiais, compactação e resistência dos concretos. Além disso, Azevedo I. e Mesquita (2012) afirmam que o teor de finos e de materiais pulverulentos está intimamente relacionado ao consumo de água e à fissuração do concreto.

Segundo Angulo (2000) e Leite (2001), os agregados reciclados, em geral, tendem a apresentar, também, formas mais angulares e lamelares, e textura mais áspera do que os agregados naturais. Por requererem maior quantidade de água ou pasta de cimento para produzir misturas adequadas, as partículas angulares e lamelares tendem a prejudicar a consistência e trabalhabilidade do concreto (Leite, 2001). De igual modo, a textura áspera também exerce influência sobre os mesmos fatores.

Por serem compostos por materiais mais porosos, os agregados reciclados tendem a apresentar taxas de absorção significativas, quando comparados aos agregados naturais (Lima, 1999). Diversos estudos têm relacionado a alta taxa de absorção de água, a maior presença de frações de menor granulometria em sua composição (Tenório, 2007). A alta taxa de absorção influencia a trabalhabilidade do concreto e incide de forma negativa na sua resistência e desgaste por abrasão (Oliveira et al., 2016). Além disso, a elevada porosidade dos agregados reciclados faz, também, com que estes possuam menor massa específica (Lima, 1999). Assim, para um mesmo traço em

massa, é necessário maior volume de agregados reciclados em relação aos naturais, significando maior consumo de materiais (Tenório, 2007).

Por fim, quando comparados aos agregados naturais, verifica-se que os agregados reciclados possuem menor resistência ao impacto e ao desgaste por abrasão (Leite, 2001). Segundo Hansen e Narud (1983), a perda por abrasão dos agregados reciclados tende a ser crescente com o decréscimo da granulometria. Isto porque, as menores frações, por apresentarem maior quantidade de argamassa aderida, tornam-se mais enfraquecidas em relação às demais.

3.1 PÁTIO DE COMPOSTAGEM

Dentre os itens que compõem uma UTC, o pátio de compostagem constitui-se em um dos elementos mais onerosos. Isto se deve a grande demanda de área para a deposição dos resíduos orgânicos, e, conseqüentemente, a grande quantidade de concreto necessária para a sua construção (Novais, 2011). Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2003), sua espessura não deve ser inferior a 7,0 cm e sua resistência característica (f_{ck}) deve ser superior a 7,0 MPa. A estipulação de tais valores visa a garantir o bom desempenho do pátio em relação aos quesitos de impermeabilidade e resistência, tendo em vista a movimentação de máquinas, para o despejo e reviramento do material, durante a compostagem.

3.2 COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Definida como um processo aeróbio, controlado por microrganismos, a compostagem viabiliza a transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas (Bidone e Povinelli, 1999). O produto final deste processo, comumente conhecido como húmus, apresenta propriedades completamente diferentes do material que lhe deu origem, podendo o mesmo ser utilizado para fins agrícolas (Bidone e Povinelli, 1999). Por ser um processo microbiológico, a eficiência da compostagem é dependente de um conjunto de

fatores, tais como temperatura, umidade, aeração, pH, compostos existentes, granulometria do material e relação carbono/nitrogênio (C/N), sendo necessário, portanto, o monitoramento destes (Bidone, 2001).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, avaliaram-se os agregados reciclados coletados conforme os parâmetros estabelecidos pelas Normas Técnicas Brasileiras. Concluída a caracterização, procedeu-se à construção do pátio de compostagem piloto, seguida pelo processo de degradação da matéria orgânica. Tendo em vista avaliar o desempenho do pátio piloto e compará-lo com o de pátios executados com concreto tradicional e solo-cimento, o processo de degradação foi realizado de forma análoga ao conduzido por Novais (2011). Ao longo do experimento, foram realizados ensaios de monitoramento do processo de compostagem, bem como o acompanhamento de surgimento de patologias na estrutura do concreto e a verificação da estanqueidade do pátio. Por fim, procedeu-se ao levantamento de custos da obra.

4.1 MATERIAL

Os agregados reciclados, utilizados na execução do pátio, nas granulometrias de areia média (0,05 a 4,8 mm) e brita 1 (4,75 a 25 mm), foram coletados na Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos, localizada na BR-040, km 531, no bairro Jardim Filadélfia, em Belo Horizonte – Minas Gerais.

Para a construção do pátio utilizou-se como aglomerante o Cimento Portland CP III 40 RS, fabricado pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), localizada na cidade de Volta Redonda – Rio de Janeiro.

Os resíduos orgânicos utilizados no processo de compostagem foram coletados na Usina de Triagem e Compostagem do município de Divinésia – Minas Gerais.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Caracterização dos agregados reciclados

No Laboratório de Mecânica dos Resíduos do Departamento de Engenharia Civil (DEC-UFV), os agregados coletados, foram analisados por Cruz e Pereira (2015) em relação às suas características físicas, químicas e mecânicas (Tabela 1), obtendo-se os seguintes resultados (Figura 1, Tabelas 2 e 3).

TABELA 1: Caracterização dos agregados reciclados.

Ensaio	Método utilizado
Caracterização granulométrica	NBR 7211/2005 e NBR NM 248/2003
Amostragem dos agregados	NBR NM 26/2001 e NBR NM 27/2001
Dimensão máxima característica e do módulo de finura	NBR NM 248/2003
Determinação da massa específica e absorção	NBR NM 52/2003 e NBR NM 53/2003
Teor de material pulverulento	NBR NM 46/2003
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	NBR 7218/2010
Abrasão <i>Los Angeles</i>	NBR NM 51/2001
Dosagem do concreto	Método de dosagem da ABCP (Boggio, 2000)
Resistência à compressão simples	NBR 5738/2003 e NBR 5739/2007

FORTE: Aatoria Própria.

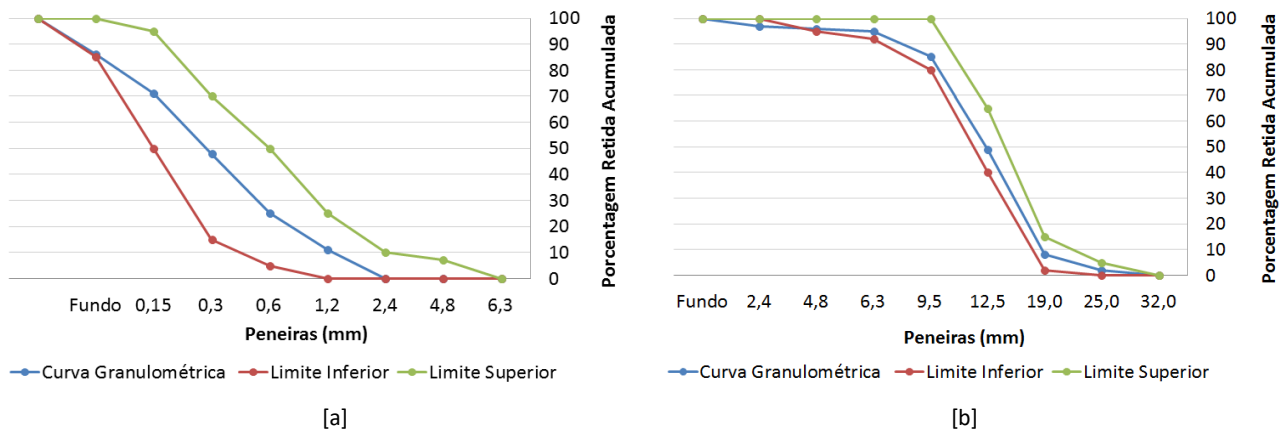


FIGURA 1: Curva granulométrica do agregado miúdo [a] e graúdo [b] em relação ao limite inferior e superior estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2005). **FONTE:** Cruz e Pereira (2015).

TABELA 2: Resultados obtidos na caracterização dos agregados reciclados.

Ensaio	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Dimensão máxima característica (mm)	4,8	25
Módulo de finura	2,41	2,86
Massa específica (g cm^{-3})	2,59	2,53
Absorção (%)	7,63	7,59
Teor de material pulverulento (%)	11,56	---
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	2,70	---
Abrasão <i>Los Angeles</i> (%)	---	52,1

FONTE: Adaptado de Cruz e Pereira (2015).

TABELA 3: Dosagem do concreto.

	Dosagem do concreto				Resistência à compressão (MPa)		
	Cimento	Areia	Brita	Água	3 dias	7 dias	28 dias
Traço 1	1,000	1,952	1,935	0,500	10,721	18,935	22,405
Traço 2	1,000	2,521	2,420	0,600	8,959	15,036	19,219
Traço 3	1,000	3,090	2,790	0,700	7,428	12,995	15,854

FONTE: Adaptado de Cruz e Pereira (2015).

Com base nos resultados encontrados para a resistência à compressão, todos acima do valor limite especificado pela NBR 6118 (ABNT, 2003) ($f_{ck} > 7,0$ MPa), optou-se por utilizar o Traço 3, de menor resistência, na execução do pátio de compostagem. Esta escolha visa a avaliar o comportamento do concreto na situação mais desfavorável entre as três definidas.

4.2.2 Execução do pátio de compostagem com agregados de RCC

O protótipo do pátio de compostagem foi construído nas dependências do Laboratório de Mecânica de Resíduos (DEC-UFV), com dimensões de 2,5 m x 4,5 m (Figura 2), conforme os seguintes procedimentos. Primeiramente, executaram-se a limpeza, o nivelamento e a gabaritação do terreno. Em seguida, construiu-se uma base de concreto, com agregados naturais, com declividade de 2% em direção ao dreno inferior, assentado na extremidade do pátio. Para evitar a entrada de águas pluviais pelas laterais do pátio,

contornou-se a base com blocos de concreto, preenchendo-os com argamassa. Acima da base foi disposta uma camada de 3 cm de brita número dois, a fim de se drenar as águas que porventura infiltrassem pelo pátio. De modo a se evitar o selamento da camada drenante pelo concreto, dispôs-se sobre a mesma uma manta geotêxtil não tecido agulhado. Acima dessa estrutura foi executado o pátio de concreto com os agregados reciclados de RCC, com espessura de oito centímetros e declividade de 2% em direção ao dreno de águas pluviais, disposto em sua extremidade, utilizando-se o traço 3 (1:3,09:2,79) definido por Cruz e Pereira (2015).

À superfície do concreto foi acrescentada uma camada de 2 cm de argamassa, composta por cimento, areia e água, a fim de aumentar a resistência e durabilidade do piso, conforme recomendações de Novais (2011). Interligou-se uma caixa subterrânea de polietileno, com dimensões de 30 cm x 40 cm x 22 cm, ao dreno inferior, para a armazenagem de líquidos que eventualmente percolassem através do pátio de compostagem. Por fim, interligou-se uma caixa coletora de águas pluviais e superficiais de polietileno, com capacidade de 250 L, ao dreno superior, de modo a permitir a avaliação das propriedades e riscos de contaminação das águas escoadas.

4.2.3 Processo de compostagem

Para melhor avaliação do desempenho do pátio com agregados de RCC e para fins de

comparação do desenvolvimento do processo de compostagem nos diferentes pátios (concreto tradicional, solo-cimento e RCC), conforme realizado por Novais (2011), foram montados e monitorados dois experimentos em períodos distintos: seco (iniciado no dia 28/06/2016) e chuvoso (iniciado no dia 30/08/2016). Ambos tiveram a duração de sessenta dias, tendo sido avaliada, portanto, apenas a fase ativa de degradação da matéria orgânica. Os experimentos tiveram como matéria-prima os resíduos orgânicos provenientes da UTC de Divinésia, os quais foram coletados em datas próximas à montagem. Para cada um, montou-se uma pilha em formato cônico, com aproximadamente 700 kg de material. Durante os primeiros 30 dias do processo de compostagem, essa pilha foi revirada manualmente a cada três dias, sendo, em seguida, revirada uma vez por semana até o término da fase ativa. A correção do teor de umidade foi realizada durante os reviramentos ou sempre que o material se apresentou muito seco. O monitoramento dos experimentos foi realizado por meio de análises físicas, químicas, físico-químicas e bacteriológicas dos resíduos orgânicos e dos efluentes líquidos coletados, de acordo com os cronogramas apresentados nas Tabelas 4 e 5. As amostras de resíduos orgânicos foram coletadas aleatoriamente em vários pontos da pilha. Para evitar interferências nas amostragens, as caixas coletoras dos efluentes líquidos foram esvaziadas após cada análise.

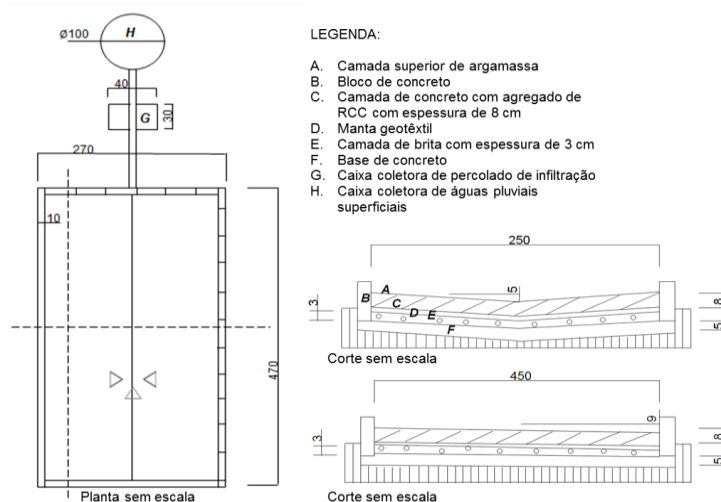


FIGURA 2: Esquema do protótipo do pátio de compostagem.

FONTE: Autoria Própria.

TABELA 4: Parâmetros e frequência de análises da matéria orgânica.

Análise	Frequência	Método utilizado
Umidade	Semanal	Solyon (1977)
Temperatura	A cada três dias	Termômetro digital com sonda acoplada em haste metálica
pH	Semanal	Pereira Neto (1987).
Sólidos fixos e voláteis	Semanal	Kiehl (1985) e APHA (1985)
Escherichia coli	Semanal	Substrato cromogênico da IDEXX (colilert)
Metais pesados (Cu, Zn, Cr, Pb, Ni, Cd)	Início e fim	Espectrofotometria de absorção atômica.

FONTE: Autoria Própria.

TABELA 5: Parâmetros e frequência de análises dos efluentes líquidos coletados.

Análise	Frequência	Método utilizado
Turbidez	Semanal*	Turbidímetro nefelométrico digital
Temperatura	Semanal*	Termômetro digital do tipo espeto
pH	Semanal*	pHmetro digital
Escherichia coli	Semanal*	Substrato cromogênico da IDEXX (colilert),
Metais pesados (Cu, Zn, Cr, Pb, Ni, Cd)	Semanal*	Espectrofotometria de absorção atômica.

NOTA: * ANÁLISE REALIZADA QUANDO GERADO O EFLUENTE.

FONTE: Autoria Própria.

4.2.4 Monitoramento da estanqueidade e patologias

O monitoramento da estanqueidade do pátio de compostagem e do surgimento de patologias foi realizado por meio da verificação periódica da caixa coletora da drenagem inferior (representada pela letra G na Figura 2), medição do volume de líquido percolado e análise visual da superfície do pátio.

4.2.5 Levantamento de custos da execução do pátio com agregados reciclados

O levantamento de custos foi realizado a partir da estimativa do consumo de materiais para a execução do pátio de compostagem com agregados de RCC e, tomando-se por base os valores fornecidos por Paschoalin Filho et al. (2015), os quais foram convertidos, com base na inflação do dólar, para o ano de 2011. Para a comparação de custos do pátio executado com agregados reciclados com os pátios executados com concreto tradicional e solo-cimento,

utilizaram-se os critérios definidos por Novais (2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS RECICLADOS

Os resultados de distribuição granulométrica do agregado miúdo e graúdo (Figura 1) atenderam, em grande parte, aos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005).

Os valores encontrados para a dimensão máxima característica do agregado miúdo (4,8 mm) e graúdo (25 mm) atenderam ao limite estabelecido pela NBR 15116 (ABNT, 2004), que determina que a dimensão máxima característica do agregado reciclado destinado à pavimentação deve ser ≤ 63 mm. Já a NBR 7211 (ABNT, 2005) não especifica limites para este parâmetro. O módulo de finura encontrado para o agregado miúdo (2,41) está dentro do intervalo especificado pela NBR 7211 (ABNT, 2005), de 2,20 a 2,90, para a composição granulométrica nas zonas ótimas.

Quanto ao módulo de finura do agregado graúdo (2,86) não há especificação na NBR 7211 (ABNT, 2005) acerca de seus limites.

O agregado miúdo apresentou massa específica de $2,59 \text{ g cm}^{-3}$, diferenciando-se de agregados naturais que, geralmente, apresentam massa específica em torno de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ (Petrucci, 2005). O agregado graúdo apresentou massa específica de $2,53 \text{ g cm}^{-3}$, diferenciando-se, também, de agregados naturais que, geralmente, apresentam massa específica em torno de $2,58 \text{ g cm}^{-3}$ (Petrucci, 2005). Esta pequena diferença pode ser explicada pela presença de materiais leves, como cerâmica, na composição dos agregados reciclados. Quanto à absorção, os agregados miúdo e graúdo apresentaram valores elevados, respectivamente, 7,63% e 7,59%, em relação aos agregados naturais que atingem valores de no máximo 2% (Petrucci, 2005). Entretanto, quando comparados aos limites estabelecidos pela NBR 15116 (ABNT, 2004) para agregados do tipo ARM destinados ao preparo de concreto sem função estrutural, verificou-se que os valores de absorção encontrados atenderam aos limites estabelecidos pela norma (absorção de água do agregado graúdo $\leq 12\%$ e absorção de água do agregado miúdo $\leq 17\%$).

O teor de material pulverulento encontrado (11,56%) diverge das exigências estabelecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2005) e NBR 15116 (ABNT, 2004). Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), o teor de materiais pulverulentos deve ser $\leq 5\%$ e, de acordo com a NBR 15116 (ABNT, 2004), $\leq 10\%$. O valor elevado encontrado se deve ao processo de trituração pelo qual passam os resíduos durante o seu beneficiamento, pois, este

processo tende a gerar partículas com diâmetro inferiores a 0,075 mm.

O resultado encontrado para o teor de argila em torrões e materiais friáveis (0,27%) enquadrou-se aos limites especificados pela NBR 7211 (ABNT, 2005) ($<3\%$) e NBR 15116 (ABNT, 2004) ($<2\%$). O índice de desgaste por abrasão “Los Angeles” (52,1%) encontrado divergiu das exigências estabelecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2005). Segundo a norma, este índice deve ser inferior a 50%, em massa, do material. A NBR 15116 (ABNT, 2004) não contempla este parâmetro.

5.2 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

5.2.1 Análises da matéria orgânica

De modo a se caracterizar a matéria-prima utilizada nos experimentos 1 e 2, na data de montagem dos mesmos, analisou-se a matéria orgânica quanto aos parâmetros mencionados na Tabela 6. Tomando-se por base os valores encontrados para pH, sólidos voláteis e fixos, observou-se que a matéria orgânica utilizada no Experimento 2 encontrava-se em estágio mais avançado de degradação.

A temperatura da pilha do Experimento 1 com agregados de RCC atingiu a fase termofílica de forma mais rápida (ao 17º dia) do que as pilhas dos experimentos do pátio de concreto e de solo-cimento (Novais, 2011) (Figura 3a). Este fato pode ser explicado pela diminuição gradual do teor de umidade (Figura 3b), no experimento com agregados de RCC, até valores mais próximos da faixa recomendada para o processo de compostagem, de 50 a 60% (Azevedo M., 2004).

TABELA 6: Caracterização da matéria orgânica

Parâmetro	Temperatura (°C)	Umidade (%)	pH	Sólidos voláteis (%)	Sólidos fixos (%)	<i>E. coli</i> (NMP/g)
Experimento 1	24 (T.amb.:22)	71,75	4,3	84,50	15,50	---
Experimento 2	26,7 (T.amb.:24,3)	27,33	6,29	81,17	18,83	$2,905 \times 10^3$

FONTE: Autoria Própria.

Como o índice pluviométrico durante o período inicial dos experimentos nos pátios de concreto e de solo-cimento foi elevado, e uma vez que Novais (2011) conduziu estes experimentos de modo a desenvolver condições anaeróbias para formação de chorume, observaram-se maiores teores de umidade. Tal situação ocasionou em um retardo na atividade microbológica, fazendo com que a temperatura permanecesse na fase mesofílica por um período maior. Entretanto, verificou-se que as temperaturas dos experimentos com aqueles dois tipos de pátio permaneceram na fase termofílica por um período maior, comparados com o experimento no pátio com RCC. Isto se deve à queda brusca do teor de umidade no experimento com RCC, em função das altas temperaturas ambientes registradas e da escassez de chuvas. Apesar de a umidade da pilha do experimento no pátio com RCC ter sido corrigida a partir do 28º dia, a cada três dias, por meio de rega, valores abaixo de 50% foram observados.

Apesar de os resíduos utilizados no Experimento 2 - Pátio com agregados de RCC, apresentarem, inicialmente, menores teores de umidade (27,3%) em relação aos resíduos utilizados no Experimento 1 – Pátio com agregados de RCC (71,7%), os tais atingiram a fase termofílica mais rapidamente (3º dia) (Figura 4a), já que se

encontravam em estágio mais avançado de degradação. Neste experimento, as temperaturas da fase termofílica se prolongaram por um período maior, entretanto, ficaram abaixo da temperatura considerada ideal para a compostagem (55 °C) (Pereira Neto, 1996). No caso dos pátios em concreto e solo-cimento, a temperatura da pilha atingiu a da fase termofílica após sete dias, fator atribuído aos elevados teores de umidade e precipitações no período inicial da compostagem. A umidade nos experimentos com os pátios em concreto e solo-cimento se manteve próxima aos valores recomendados (50 a 60%) (Azevedo M., 2004) (Figura 4b). A umidade do experimento com RCC, apesar das chuvas registradas e das correções de umidade feitas desde o início do experimento, se manteve, de forma geral, abaixo dos valores ótimos.

Acredita-se que os baixos teores de umidade verificados nos experimentos com RCC podem ser resultados, também, da influência dos agregados reciclados no desempenho do concreto, uma vez que, segundo Pereira M. (2008), há certos tipos de agregados que tendem a absorver água por várias semanas.

O pH das pilhas, do Experimento 1, para os três pátios analisados, mostrou-se ligeiramente ácido no início da compostagem, em razão do acúmulo de ácidos provenientes da degradação dos compostos carbonáceos.

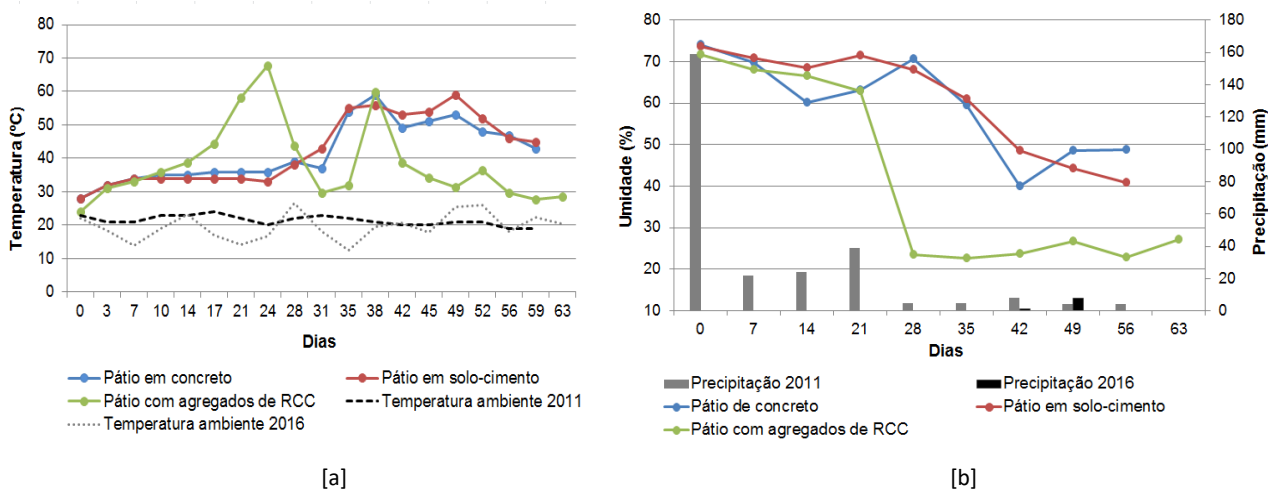


FIGURA 3: Experimento 1: [a] Temperaturas e [b] Teores de umidade.

FONTE: Autoria Própria.

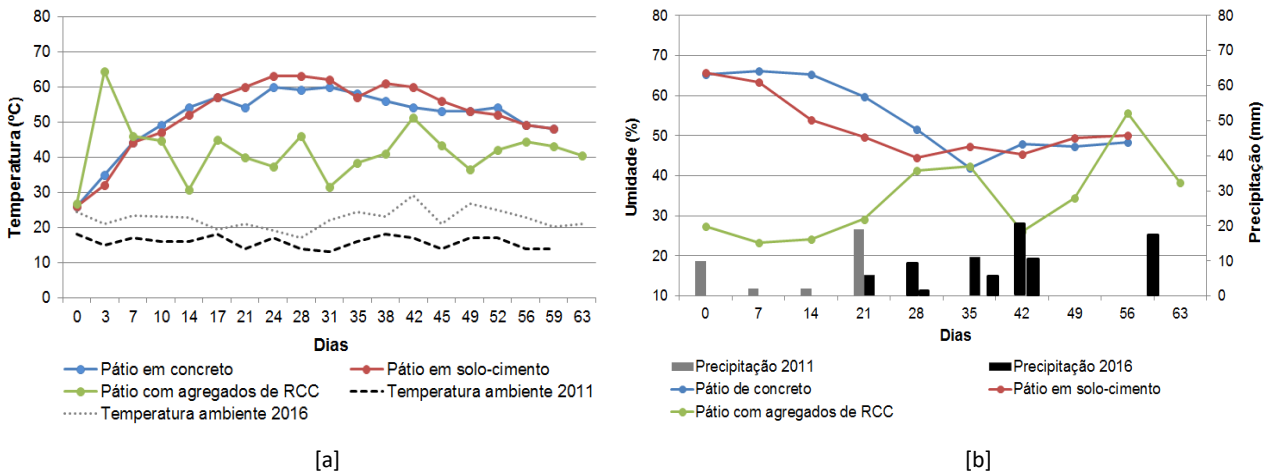


FIGURA 4: Experimento 2: [a] Temperaturas e [b] Teores de umidade.

FONTE: Autoria Própria.

De forma geral, os três experimentos analisados apresentaram comportamentos semelhantes (Figura 5a). O pH elevou-se gradativamente, atingindo valores acima de 9 no fim da fase de degradação ativa. Já no Experimento 2, as pilhas de resíduos apresentaram comportamentos diferentes (Figura 5b). Tendo em vista os resíduos orgânicos utilizados na compostagem no pátio com agregados de RCC estarem em estágio mais avançado de degradação, valores elevados de pH foram observados já no início do processo, diferentemente dos valores de pH encontrados para os pátios em concreto e em solo-cimento, que apresentaram pH ligeiramente ácido no início. Verifica-se que ao término do processo de compostagem, as pilhas de resíduos dos três pátios analisados apresentaram valores

semelhantes de pH, próximos a 9,5. Deste modo, pode-se afirmar que os agregados reciclados não influenciaram o desenvolvimento do processo de compostagem, em relação ao pH.

Nos Experimentos 1 e 2, dos três pátios analisados, a pilha de resíduos do pátio executado com RCC foi a que apresentou maior redução de sólidos voláteis (Figura 6), ou seja, foi a que propiciou maior redução do teor de matéria orgânica. Conseqüentemente, a mesma pilha foi a que apresentou os maiores valores de sólidos fixos, o que permitiu maior mineralização da matéria orgânica (Figura 7). Isto pode ser justificado pela menor taxa de umidade associada a elevadas temperaturas no início do processo, o que, provavelmente, favoreceu condições melhores para as atividades microbianas.

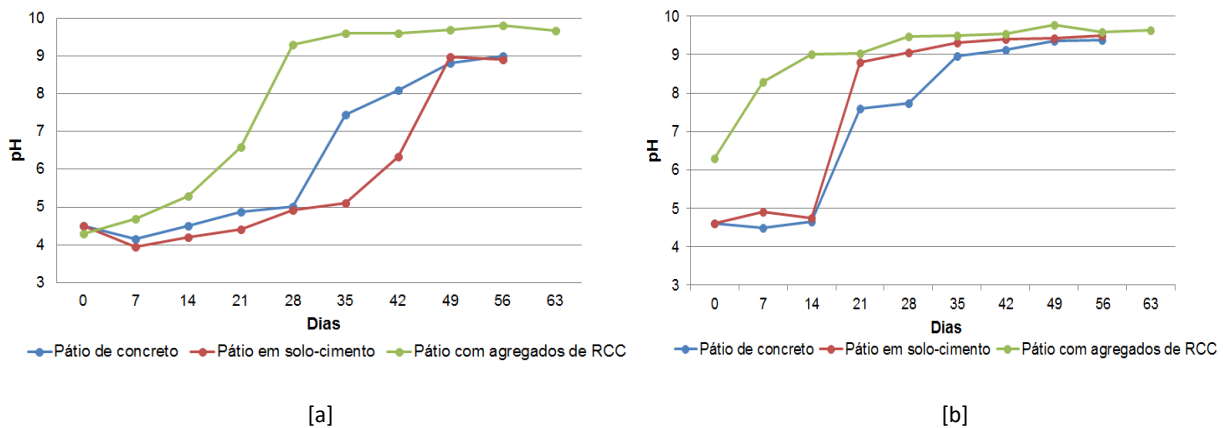
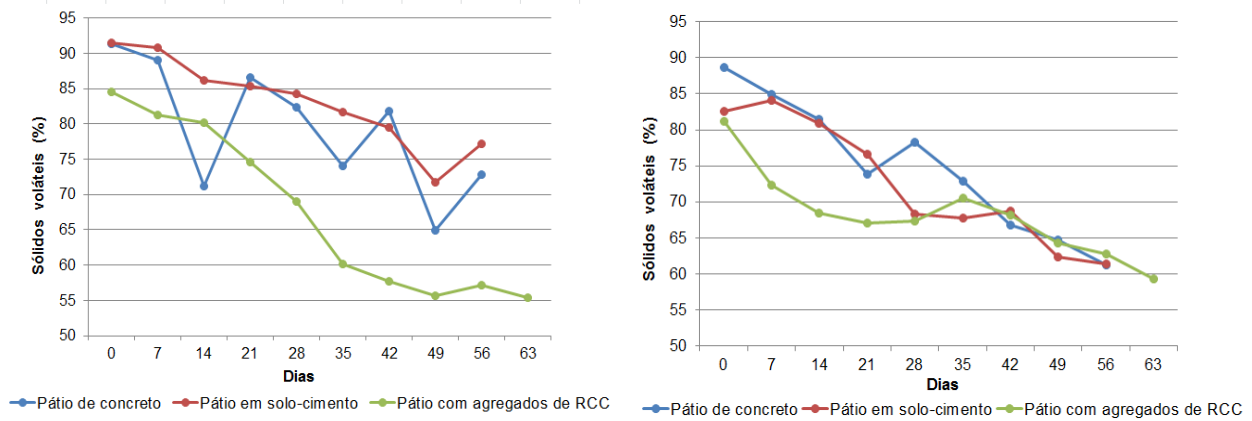


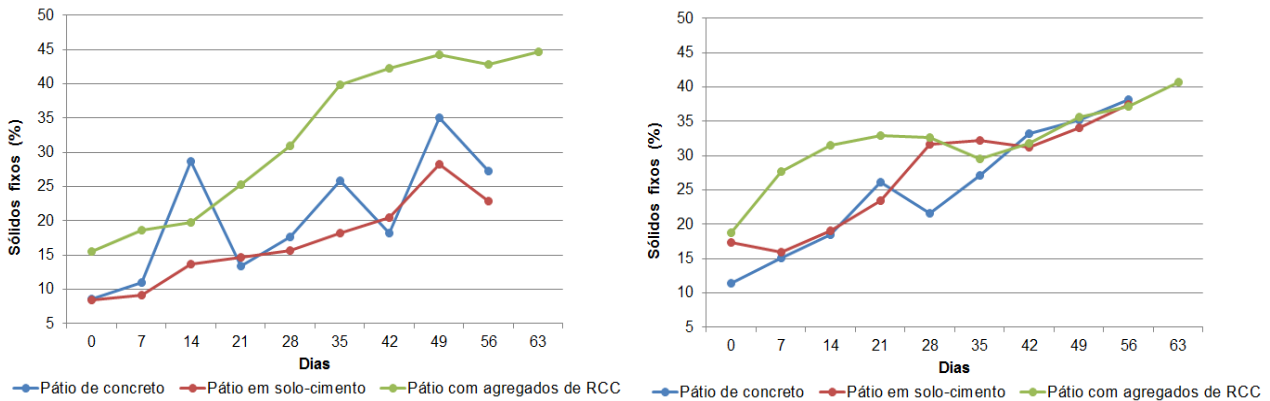
FIGURA 5: Valores do pH: [a] Experimento 1 e [b] Experimento 2.

FONTE: Autoria Própria.



[a] [b]
FIGURA 6: Valores de sólidos voláteis: [a] Experimento 1 e [b] Experimento 2.

FONTE: Autoria Própria.



[a] [b]
FIGURA 7: Valores de sólidos fixos: [a] Experimento 1 e [b] Experimento 2.

FONTE: Autoria Própria.

Quanto às análises de *Escherichia coli*, as pilhas de resíduos dos pátios de concreto e solo-cimento não apresentaram valores acima do mínimo detectável (< 3 NMP/g) pelo processo de NMP – Número Mais Provável (Tabela 7). Os resultados obtidos para a pilha de resíduos do pátio com agregados de RCC, pela técnica de

substrato cromogênico da IDEXX (colilert), indicaram que houve sanitização do material ao longo do processo de compostagem (Tabela 7). Dessa forma, para todos os experimentos analisados, as temperaturas termófilas permitiram a redução do número de microrganismos indicadores.

TABELA 7: Resultados das análises de *Escherichia coli*

Dias	Experimento 1			Experimento 2		
	P. concreto	P.solo-cimento	P. RCC	P. concreto	P.solo-cimento	P.RCC
0	<3	<3	---	<3	<3	$2,905 \times 10^3$
7	<3	<3	$1,0 \times 10^1$	<3	<3	<1
14	<3	<3	$1,43 \times 10^2$	<3	<3	1×10^1
21	<3	<3	$4,96 \times 10^2$	<3	<3	$1,385 \times 10^3$
28	<3	<3	$2,18 \times 10^2$	<3	<3	$4,225 \times 10^3$
35	<3	<3	$4,1 \times 10^1$	<3	<3	$6,0 \times 10^1$
42	<3	<3	$1,0 \times 10^1$	<3	<3	$6,2 \times 10^1$
49	<3	<3	$5,2 \times 10^1$	<3	<3	$7,2 \times 10^1$
56	<3	<3	$1,0 \times 10^1$	<3	<3	4×10^1
63	<3	<3	$1,0 \times 10^1$	<3	<3	1×10^1

FONTE: Autoria Própria.

As concentrações de metais encontradas (Figura 8) foram comparadas aos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375 (CONAMA, 2006). Nos experimentos realizados nos pátios de concreto e solo-cimento, não houve alterações significativas nas concentrações iniciais e finais dos metais. Já nos experimentos realizados no pátio com agregados de RCC, observou-se um comportamento diferente, e, além disso, houve um aumento expressivo nas concentrações de Cu, Zn, Cr, Pb e Ni no Experimento 2. Acredita-se que este aumento

esteja relacionado à incorporação das frações finas, dos agregados reciclados, aos resíduos orgânicos, durante o processo de reviramento do material. Pois, segundo Schultmann et al. (1997) e Queiroz et al. (2014), os materiais constituintes dos RCC Classe A, tais como pedras naturais, concreto e argamassa, são potenciais fontes de metais pesados, e estes tendem a ser encontrados em maiores quantidades nas frações finas dos agregados reciclados. Apesar disso, todos os experimentos apresentaram valores inferiores aos limites impostos pela Resolução CONAMA nº 375.

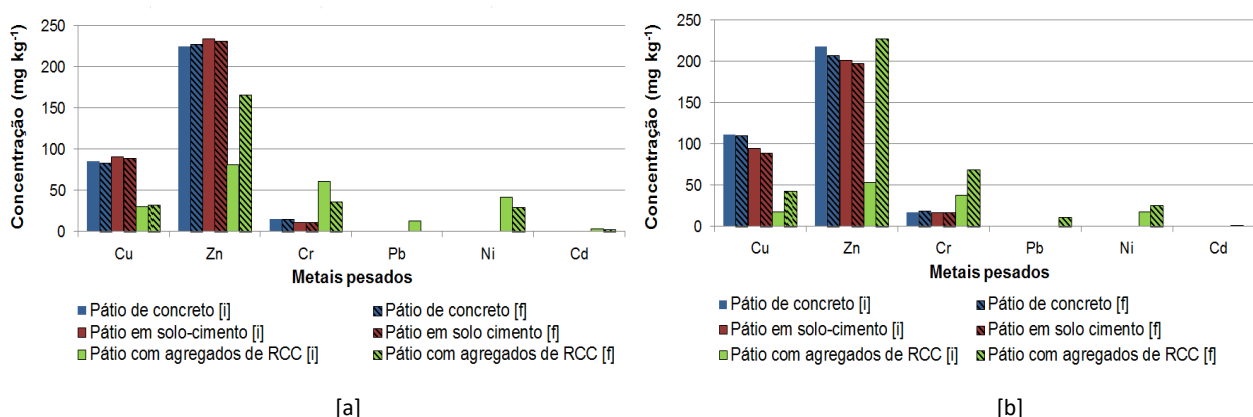


FIGURA 8: Concentração de metais pesados nos resíduos orgânicos: [a] Experimento 1 e [b] Experimento 2.

FONTE: Autoria Própria.

5.2.2 Análises dos efluentes superficiais

Os resultados das análises dos efluentes superficiais foram comparados àqueles encontrados por Novais (2011), o qual avaliou apenas os efluentes gerados no pátio em solo-cimento. Em ambos os pátios, a formação de efluentes ocorreu, principalmente, em virtude das precipitações, com exceção do período inicial do Experimento 1 – Pátio com agregados de RCC, em que a geração foi devida à elevada umidade dos resíduos orgânicos, e do estágio final do Experimento 2 - Pátio com agregados de RCC, em que se forçou, por meio de rega, a formação de efluente, a fim de se avaliar suas características.

Em todos os experimentos observou-se, de maneira geral, uma queda na turbidez ao longo da compostagem (Figura 9). Isto se deve à diminuição dos compostos solúveis durante o processo. Como no Experimento 2 - Pátio com agregados de RCC, o teor de sólidos voláteis voltou a crescer a partir do 49º dia, aumentou-se a concentração de compostos solúveis a serem estabilizados, o que, conseqüentemente, acarretou em um acréscimo na turbidez dos

efluentes coletados.

A temperatura dos efluentes superficiais em ambos os pátios situou-se, de forma geral, acima dos valores registrados para a temperatura ambiente, devido às condições de armazenamento (Figura 10).

O pH dos efluentes coletados no Experimento 1, no pátio em solo-cimento, apresentou valor inicial de 5,41 (Figura 11a). Devido ao acúmulo de ácidos no início da compostagem, o pH decresceu a valores próximos de 4, voltando a subir gradativamente, atingindo valor final de 6. O pH dos efluentes coletados, no Experimento 1, no pátio com agregados de RCC, acompanhou, de certa forma, a variação de pH apresentada pela pilha de resíduos orgânicos (Figura 11a). O pH dos efluentes coletados no Experimento 2, no pátio em solo-cimento, apresentou valor inicial de 5,98, decrescendo para 4,98 (Figura 11b), devido ao acúmulo de ácidos. O pH dos efluentes coletados, no Experimento 2, no pátio com agregados de RCC, apresentou valores próximos do neutro, durante todo o processo (Figura 11b).

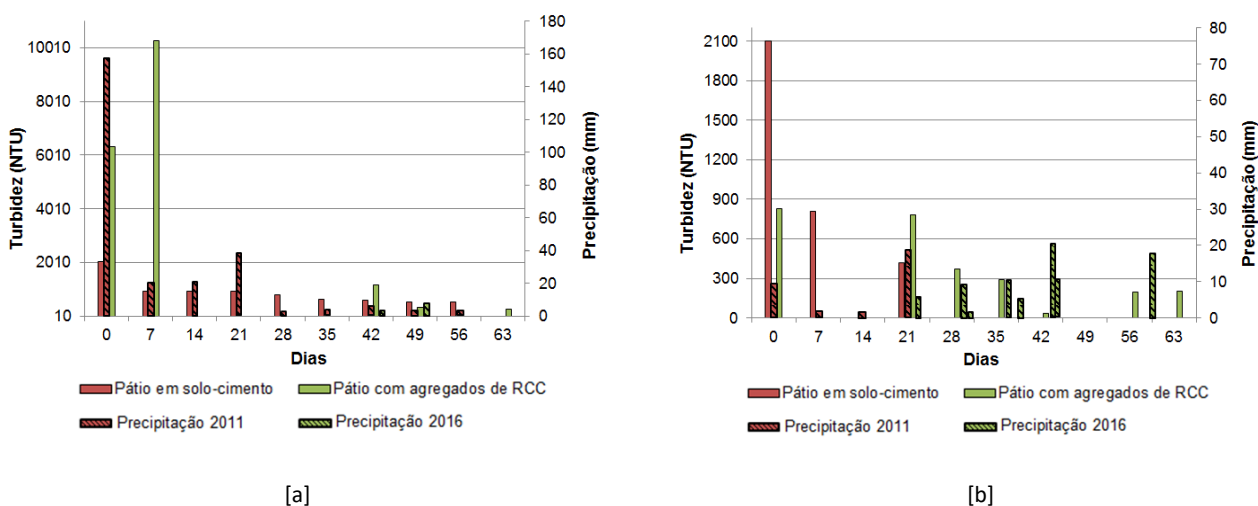


FIGURA 9: Turbidez dos efluentes superficiais coletados no [a] Experimento 1 e [b] Experimento 2.

FONTE: Autoria Própria.

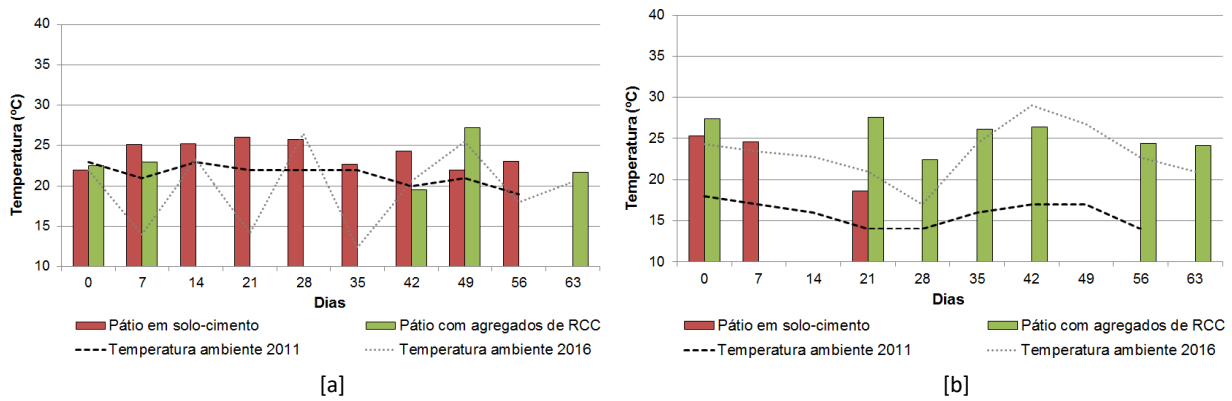


FIGURA 10: Temperatura dos efluentes superficiais coletados no [a] Experimento 1 e [b] Experimento 2.

FONTE: Autoria Própria.

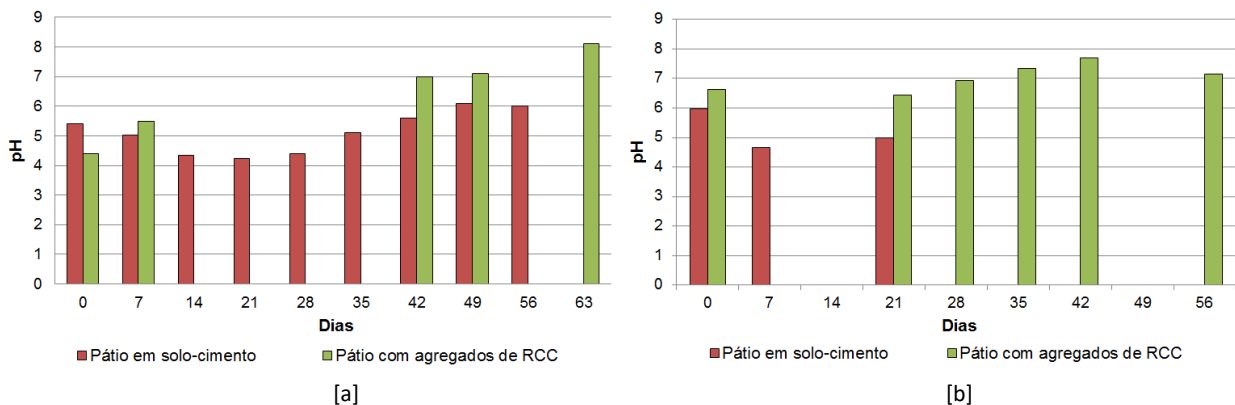


FIGURA 11: Valores de pH dos efluentes superficiais coletados no (a) Experimento 1 e (b) Experimento 2.

FONTE: Autoria Própria.

Quanto às análises de *Escherichia coli*, os efluentes coletados nos Experimentos 1 e 2 no pátio em solo-cimento não apresentaram valores acima do mínimo detectável (< 3 NMP/mL) pelo processo de NMP – Número Mais Provável (Tabela 8). Os resultados obtidos para os Experimentos 1 e 2, no pátio executado

com agregados de RCC, pela técnica de substrato cromogênico da IDEXX (colilert), indicaram que os efluentes coletados (águas provenientes das chuvas e das regas), em virtude do contato com os resíduos orgânicos, permaneceram contaminados durante todo o período analisado (Tabela 8).

TABELA 8: Resultados das análises de *Escherichia coli*.

Dias	Experimento 1		Experimento 2	
	P. solo-cimento	P. RCC	P. solo-cimento	P. RCC
0	<3	$2,18 \times 10^3$	<3	$2,025 \times 10^4$
7	<3	$5,99 \times 10^3$	<3	---
14	<3	---	---	---
21	<3	---	<3	$1,86 \times 10^3$
28	<3	---	---	$2,348 \times 10^3$
35	<3	---	---	$1,13 \times 10^2$
42	<3	$9,78 \times 10^3$	---	$7,3 \times 10^1$
49	<3	$1,0112 \times 10^3$	---	---
56	<3	---	---	3×10^1
63	<3	$1,28 \times 10^3$	---	4×10^1

FONTE: Autoria Própria.

Os valores das concentrações de Cu, Zn, Cd, Pb, Cr e Ni nos efluentes superficiais analisados foram comparados aos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005). Na Figura 12 encontram-se os valores das concentrações dos metais para o Experimento 1 e, na Figura 13 apresentam-se os valores para o Experimento 2. Uma vez que os metais possuem maior mobilidade em ambientes ácidos (SOUZA et al., 2015), no Experimento 1 – Pátio com agregados de RCC,

devido ao baixo pH inicial (4,4) e à geração de ácidos orgânicos no início da compostagem, no sétimo dia do processo, observou-se um aumento nas concentrações de Cu, Zn, Cr e Cd (Figura 12 - a, b, c, f). Tais concentrações extrapolaram os limites especificados pela Resolução CONAMA nº 357. Nos demais experimentos, as concentrações dos metais permaneceram abaixo dos limites da CONAMA nº 357, durante todo o período analisado.

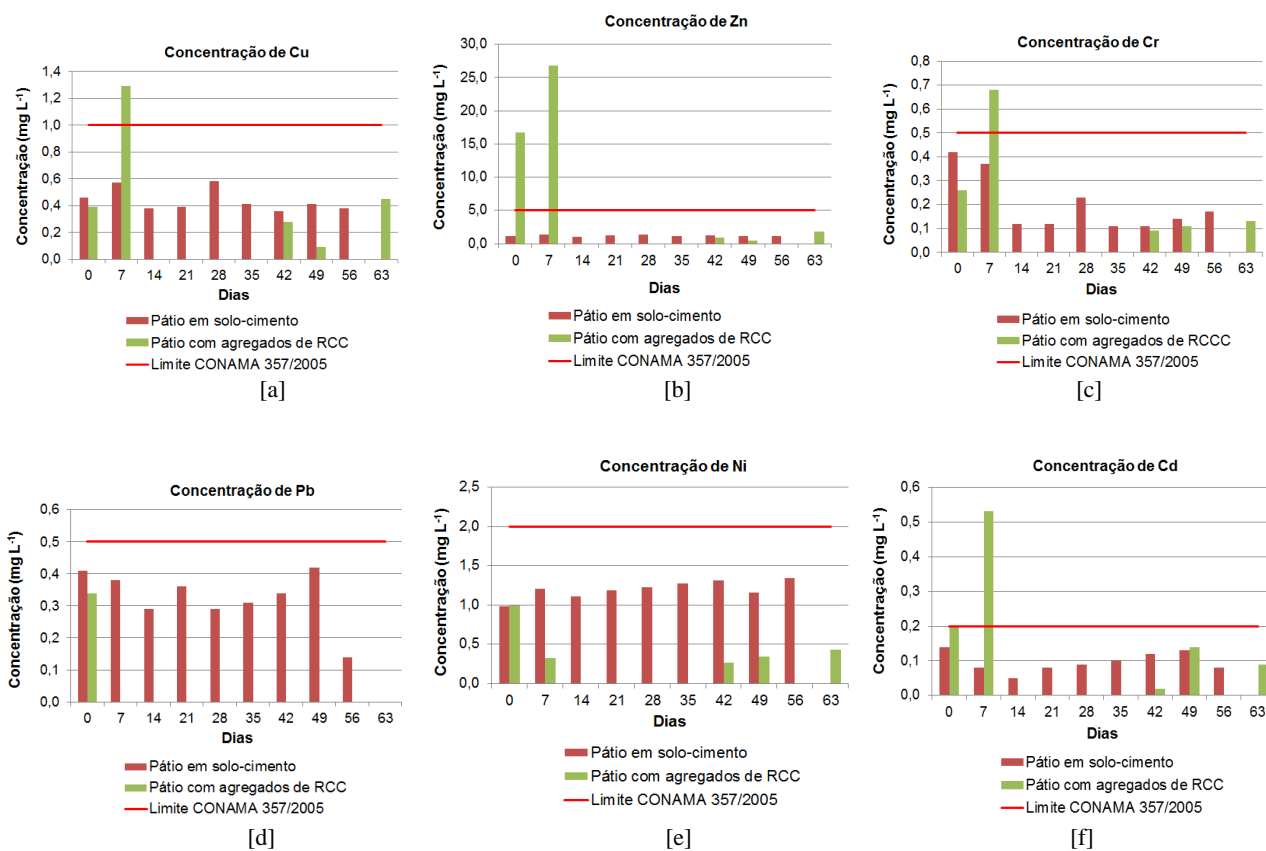


FIGURA 12: Concentrações de [a] Cu; [b] Zn; [c] Cr; [d] Pb; [e] Ni e [f] Cd nos efluentes superficiais do Experimento 1.

FONTE: Autoria Própria.

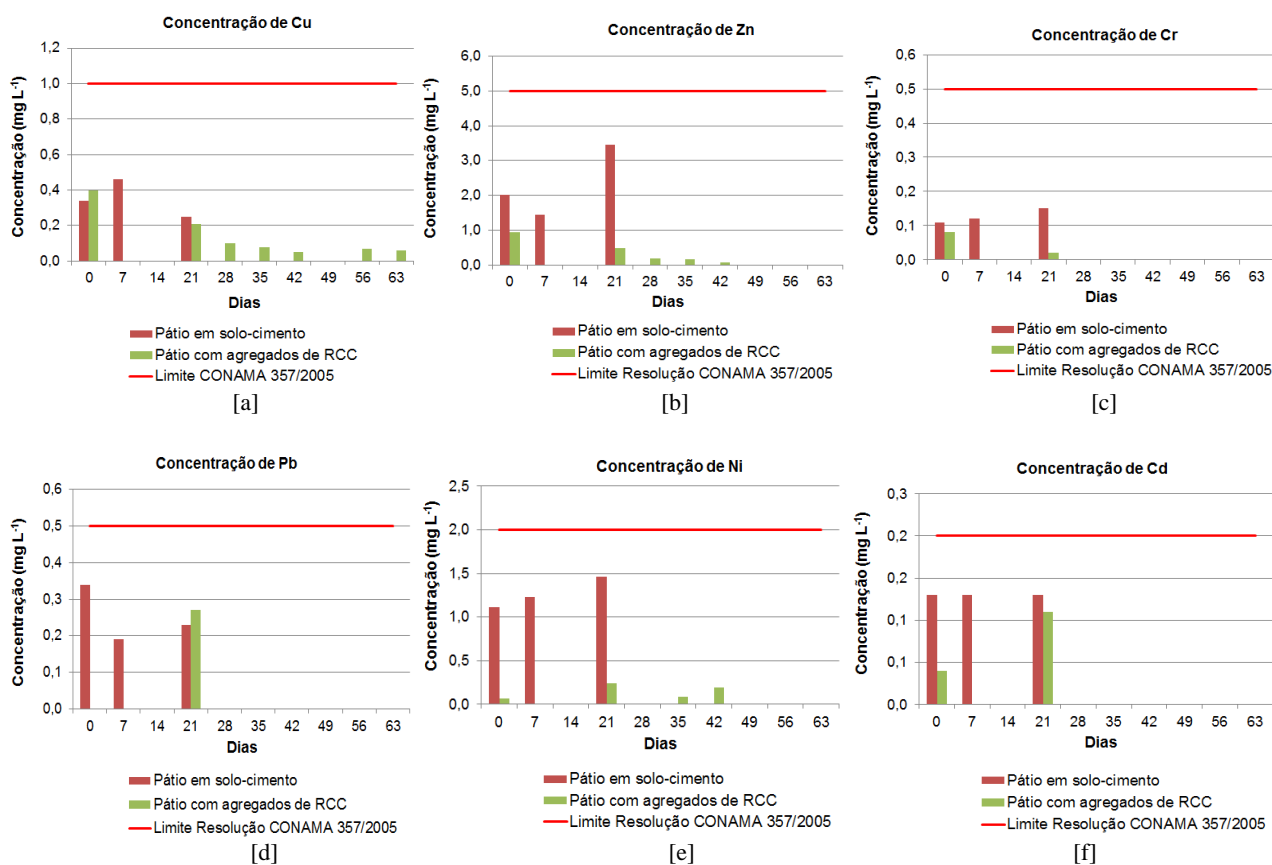


FIGURA 13: Concentrações de (a) Cu, (b) Zn, (c) Cr, (d) Pb, (e) Ni e (f) Cd nos efluentes superficiais do Experimento 2.

FONTE: Autoria Própria.

5.2.3 Análises dos efluentes infiltrados

Diferentemente dos pátios executados com concreto tradicional e solo-cimento, nos quais não houve infiltração, o pátio com agregados de RCC registrou a infiltração de aproximadamente 36 litros de efluente, durante o desenvolvimento do Experimento 2. Os resultados das análises dos efluentes infiltrados foram comparados com os encontrados para os efluentes superficiais. O efluente infiltrado apresentou valores menores de turbidez (Figura 14a), o que evidencia o bom desempenho da camada drenante e da manta geotêxtil quanto à filtração de materiais. As temperaturas do efluente infiltrado foram inferiores àquelas registradas para os efluentes superficiais, mas, permaneceram próximas à temperatura ambiente, devido às condições de armazenamento (Figura 14b). Os valores de pH do efluente infiltrado foram superiores aos encontrados para os efluentes superficiais (Figura 14c). Logo, o contato do efluente infiltrado com os

materiais constitutivos do pátio com agregados de RCC promoveu o aumento da basicidade do efluente. Assim como os resultados obtidos para os efluentes superficiais, os obtidos para os efluentes infiltrados também indicaram a contaminação por *E. coli*, devido ao contato com os resíduos orgânicos (1ª coleta (04/10/2016): $1,34 \times 10^2$ NMP/mL; 2ª coleta (01/11/2016): $1,09 \times 10^2$ NMP/mL).

Nos efluentes infiltrados, foram detectadas apenas concentrações de Cu e Zn, referentes à primeira coleta. Os valores encontrados foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005). Comparados aos resultados obtidos para os efluentes superficiais, coletados no mesmo dia, os efluentes infiltrados apresentaram menores concentrações (Tabela 9). Acredita-se que tais resultados estejam relacionados à maior basicidade do meio, já que nessa condição os metais possuem menor mobilidade (SOUZA et al., 2015).

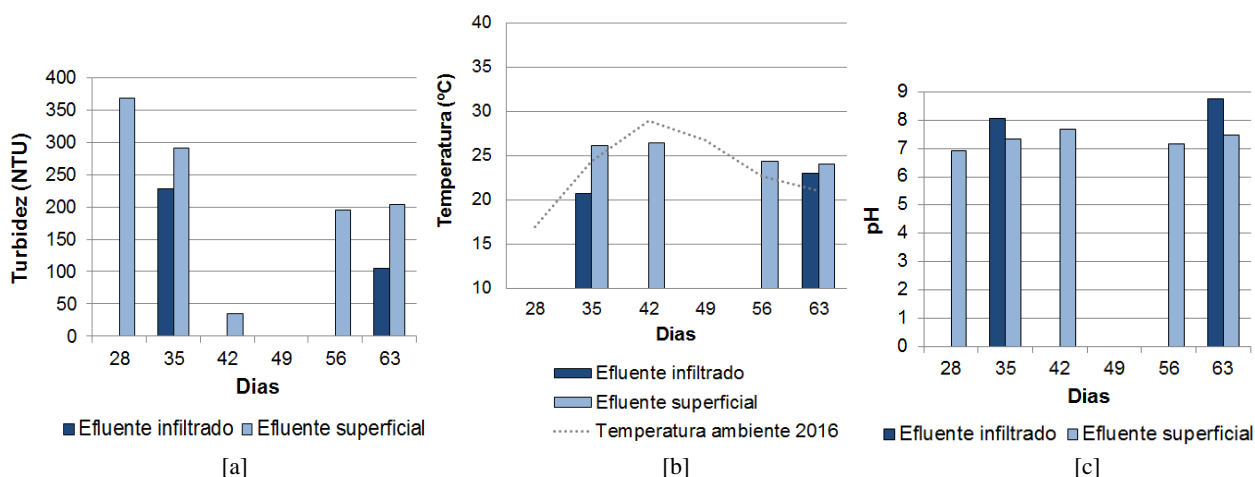


FIGURA 14: Análises do efluente infiltrado: [a] turbidez; [b] temperatura e [c] pH.

FONTE: Autoria Própria.

TABELA 9: Concentrações de metais pesados no efluente infiltrado e superficial no dia 04/10/2016.

EFLUENTE	Cu (1,0 mg L ⁻¹)	Zn (5,0 mg L ⁻¹)	Cr (0,5 mg L ⁻¹)	Pb (0,5 mg L ⁻¹)	Ni (2,0 mg L ⁻¹)	Cd (0,2 mg L ⁻¹)
SUPERFICIAL (pH – 7,33)	0,08	0,17	ND	ND	0,08	ND
INFILTRADO (pH – 8,08)	0,07	0,12	ND	ND	ND	ND

*ND – NÃO DETECTÁVEL

FONTE: Autoria Própria.

5.3 MONITORAMENTO DA ESTANQUEIDADE E PATOLOGIAS

Os pátios analisados apresentaram distintos comportamentos quanto à estanqueidade e ao surgimento de patologias. Os pátios executados com concreto tradicional e solo-cimento se mostraram satisfatórios em relação a tais parâmetros, uma vez que alterações não foram constatadas. Já no pátio executado com agregados de RCC, observou-se o aparecimento de anomalias, como fissuração e desagregação na estrutura do concreto, o que possivelmente contribuiu para a infiltração de cerca de 36 litros de efluentes. Como os agregados reciclados tendem, no geral, a apresentar reduções nas suas propriedades físicas e mecânicas (Cabral, 2007), tais resultados eram esperados e se assemelham aos encontrados por Topçu (1997), Dhir et al. (2004) e Zaharieva et al. (2003). Nos experimentos realizados por Topçu (1997) e Dhir et al. (2004), os concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram elevada abrasão em relação aos

concretos produzidos com agregados naturais, devido ao elevado teor de finos. Zaharieva et al. (2003), ao avaliarem as propriedades de permeação do concreto produzido com agregados reciclados, constataram que a permeabilidade à água deste, correspondeu ao dobro da permeabilidade verificada para o concreto com agregados naturais. Desse modo, acredita-se que o surgimento de patologias no pátio com agregados de RCC esteja relacionado ao elevado teor de materiais pulverulentos (11,56%) encontrado nos agregados reciclados. Como consequência, este teor incidiu na taxa de absorção de água elevando-a (em torno de 7%), o que, possivelmente, acarretou em maior desgaste por abrasão e fissuração do concreto. Supõe-se que a fluência e o desgaste por abrasão sejam os principais fatores responsáveis pela degradação do concreto, considerados os contínuos esforços mecânicos exercidos sobre a superfície do pátio durante a compostagem. Além destes, a degradação do concreto está também possivelmente relacionada à atividade metabólica dos microrganismos

atuantes na degradação da matéria orgânica, que tendem a liberar produtos de caráter ácido, que comprometem a integridade do concreto.

5.4 COMPARAÇÃO DE CUSTOS

Tomando-se por base a quantidade de materiais gastos na execução do pátio com agregados reciclados e, levando-se em conta os preços de areia reciclada (R\$ 29,33) e brita reciclada (R\$ 29,00), fornecidos por Paschoalin Filho et al. (2015), que corrigidos, corresponderam, respectivamente, a R\$ 14,74 e R\$ 14,57, o valor do metro quadrado do pátio com agregados de RCC seria de R\$ 32,08 (Tabela 10).

Em relação ao pátio executado com concreto tradicional, este valor representaria uma redução de 18,68% nos custos de implantação desta estrutura. Assim, de acordo com os orçamentos realizados por Novais (2011), a adoção de agregados reciclados na confecção do pátio proporcionaria uma redução de 4,64% no valor total de implantação de uma UTC, para um município com até 10.000 habitantes (Tabela 11). Todavia, em relação ao pátio em solo-cimento, o pátio executado com agregados reciclados apresentou menor viabilidade econômica, visto que superou o custo deste em 17,77%. O que elevaria o custo total de implantação de uma UTC em 3,30%.

TABELA 10: Orçamentos ilustrativos de pátios em concreto tradicional, em solo-cimento e com agregados de RCC (R\$/m²).

Item	Unidade	P. concreto		P. solo-cimento		P. RCC	
		Preço unitário	Preço total por m ²	Preço unitário	Preço total por m ²	Preço unitário	Preço total por m ²
Limpeza e nivelamento	m ²	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
Locação de obra	m ²	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85
Fôrma e desfôrma	m ²	15,37	15,37	15,37	15,37	15,37	15,37
Concreto tradicional	m ³	232,94	18,64	--	--	--	--
Cimento	Kg	--	--	0,39	4,08	0,39	10,37
Areia reciclada	m ³	--	--	--	--	14,74	0,47
Brita reciclada	m ³	--	--	--	--	14,57	0,43
Escavação e compactação	m ³	--	--	6,09	2,35	--	--
Total R\$/m²			39,45		27,24		32,08

FONTE: Adaptado de Novais (2011).

TABELA 11: Orçamento de uma UTC com pátio em concreto, solo-cimento e com agregados de RCC.

Descrição	Concreto tradicional	Solo-cimento	Agregados de RCC
UTC (exceto pátio)	131.452,97	131.452,97	131.452,97
Pátio em concreto tradicional (1.100 m ²)	43.395,00	--	--
Pátio em solo-cimento (1.100 m ²)	--	29.964,00	--
Pátio com agregados de RCC (1.100 m ²)	--	--	35.288,00
Total R\$/m²	174.847,97	161.416,97	166.740,97

FONTE: Adaptado de Novais (2011).

6 CONCLUSÃO

Essa pesquisa objetivou avaliar e comparar o desempenho de um pátio de compostagem, construído com agregados reciclados, com o de pátios construídos com solo-cimento e concreto tradicional, avaliados por Novais (2011). Para isso, foram analisadas as características dos agregados reciclados, com base nos resultados obtidos por Cruz e Pereira (2015), realizados ensaios de monitoramento da compostagem, e monitoradas a estanqueidade e o surgimento de patologias. Verificou-se que, de forma geral, os agregados reciclados atenderam às especificações estabelecidas pelas normas NBR 7211 (ABNT, 2005) e NBR 15116 (ABNT, 2004).

Apesar de terem sido observadas variações na temperatura e umidade nos experimentos, as pilhas de resíduos dos três pátios analisados apresentaram valores semelhantes de pH ao término do processo. A compostagem no pátio com agregados de RCC realizou-se de forma satisfatória quanto à redução de sólidos voláteis, à mineralização da matéria orgânica e à redução de microrganismos indicadores. As concentrações de metais, tanto nos resíduos orgânicos, quanto nos efluentes infiltrados, não foram significativas, não oferecendo, portanto, risco de contaminação. As concentrações de Cu, Zn, Cr e Cd nos efluentes superficiais do Experimento 1 – Pátio com agregados de RCC, no 7º dia da compostagem, superaram os limites da Resolução CONAMA nº 357, o que aponta para a necessidade de tratamento. Diferente dos pátios executados com concreto tradicional e solo-cimento, a resistência mecânica e estanqueidade do pátio com agregados de RCC foram insatisfatórias.

Quanto à viabilidade econômica, quando comparado ao pátio de concreto tradicional, a adoção de agregados reciclados na confecção do pátio representaria uma redução de 18,68% nos custos de sua implantação e proporcionaria uma redução de 4,64% no valor total de implantação de uma UTC, para um município com até 10.000 habitantes.

O pátio em solo-cimento apresentou maior viabilidade econômica, entre os três analisados. Deste modo, conclui-se que os agregados reciclados constituem-se em uma alternativa econômica e ambientalmente viável. Entretanto, para que estes se firmem como tal e para que proporcionem maior resistência mecânica e estanqueidade ao concreto é necessário que se aprimore alguns de seus aspectos, sobretudo, o teor de finos.

7. AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pela bolsa concedida à primeira autora, ao CNPq pelos recursos concedidos e à Universidade Federal de Viçosa pela estrutura disponível para a realização dos trabalhos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000.
- APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: APHA/AWWA/WPCF, 1985. 1268p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: 2003. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 2007. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 170 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concretos - Especificação. Rio de Janeiro, 2005, 11p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218**: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001, 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001, 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 51**: Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 2001, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003, 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: 2004. 12 p.

AZEVEDO, I. C. A. D.; MESQUITA, L. C. **Resíduos da construção civil no município de Viçosa, MG**: avaliação da atual gestão e de seu uso em barreiras químicas e como agregado na construção civil. Viçosa, MG: PIBIC/CNPq, 2012. Relatório.

AZEVEDO, M. A. **Compostagem de Resíduos Sólidos Orgânicos – Aspectos Teóricos e Operacionais**. DEC/UFV, 2004. 55 p. (Apostila).

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.

BIDONE, F. A. (Org.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais**: eliminação e valorização. Brasília: FINEP/PROSAB, 2001. 216 p.

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**. 2000. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 254 f. Tese (Doutorado em Ciência da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2005.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2006.

CRUZ, D. S.; PEREIRA, R. M. R. **Avaliação de concreto dosado com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2015. 64 f. Monografia (Conclusão de curso) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

DHIR, R.; PAINE, K.; DYER, T. Recycling construction and demolition wastes in concrete. **Concrete**, v. 38, n. 3, p. 25-28, 2004.

FAGURY, S. C.; GRANDE, F. M. Gestão de resíduos da construção e demolição (RCD): aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP. **Exacta**, São Paulo, SP, v.5, n.1, p.35-45, Jan./Jun. 2007. Disponível em: <http://www.uninove.br/PDFs/Publicacoes/exacta/exactav5n1/exacta_v5n1_3b46.pdf>. Acesso em: 13 out. 2015.

HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. 316 p.

HANSEN, T. C.; NARUD, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. **Concrete International**, p. 79-83, 1983.

HELENE, P; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2016**. 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm>. Acesso em: 15 de dez. 2016.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 240 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1999.

NOVAIS, T. M. F. **Execução de um pátio de compostagem em solo-cimento análises de suas propriedades e influência no processo de compostagem**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

OLIVEIRA, D. D.; SOARES, F. D. N.; BATISTA, G. S.; MAGNI, J. R.; KRUG, L. F. Produção de concreto com uso de agregados reciclados oriundos de resíduos da construção civil. In: Seminário de Iniciação Científica, 24., 2016, Panambi. **Anais...** Panambi. 2016. Disponível em: <<https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/download/7218/5985>>. Acesso em: 07 jan. 2017.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; FARIA, A. C.; PIRES, G. W. M. O. Custos de implantação de usinas para reciclagem de resíduos de construção civil no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 18., 2015. **Anais...** 2015. Disponível em: <http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2015/artigos/E2015_T00201_PCN33492.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF. 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J.T. **On the treatment of Municipal refuse and sewage sludge using aerated static pile composting** - A low cost technology approach. 1987. 272 f. Tese (Doutorado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Leeds Metropolitan University, Leeds, Inglaterra, 1987.

PEREIRA, M. R. **Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves**. 2008. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2008.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 14 ed. São Paulo: Editora Globo, 2005. 307 p.

QUEIROZ, M. T. A.; QUEIROZ, C. A.; SABARÁ, M. G.; LEÃO, M. M. D.; AMORIN, C. C. Estudo de caso: aproveitamento do resíduo da construção civil em Coronel Fabriciano, Minas Gerais. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Florianópolis, SC, v. 6, n. 11, 2014. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/2964/pdf_33>. Acesso em: 11 nov. 2016.

SCHULTMANN, F.; SINDT, V.; RUCH, M.; RENTZ, O. Strategies for the quality improvement of recycling materials. In: INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 2., 1997, Paris. **Proceedings**. Paris, 1997. p. 611-618.

SOLYON, P. Inter-calibration of methods for chemical analyses of sludge. **Vatten**, 33 (1): 21-26, 1977.

SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 03, p. 01-13, 2015.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação das propriedades do concreto com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2007.

TOPÇU, I. B. Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 12, p. 1817-1823, 1997.

VIEIRA, G. L.; MOLIN, D. C. C. D. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 4, n. 4, p. 47-63, Dez./Out. 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3575/1979>>. Acesso em: 11 out. 2016.

ZAHARIEVA, R.; BUYLE-BODIN, F.; SKOCZYLAS, F.; WIRQUIN, E. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 2, p. 223-232, 2003.