

## CONCENTRAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO POR SENSOR-BASED SORTING

SAMPAIO, C.H.<sup>1</sup>, CAZACLIU, B.G.<sup>2</sup>, AMBRÓS, W.M.<sup>3</sup>, PETTER, C.O.<sup>3</sup>, VERAS, M.M.<sup>4</sup>,  
CORTINA, J.L.<sup>5</sup>, OLIVA, J.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona Tech, Manresa, 08242 Barcelona, Spain.  
e-mail: carlos.hoffmann@upc.edu

<sup>2</sup>Université Gustave Eiffel, MAST, GPEM, Bouguenais, France.

<sup>3</sup>Mineral Processing Laboratory, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre 91501-970, Brazil.

<sup>4</sup>Federal Institute of Amapá, Rod. BR 210 Km 3, S/N, Brazil Novo, Macapá 68909-398, Brazil.

<sup>5</sup>Chemical Engineering Department, Escola de Enginyeria Barcelona Est, Barcelona TECH UPC, 08019 Barcelona, Spain.

### RESUMO

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) apresentam composições diferentes, dependendo da construção do prédio, tamanho da cidade, desenvolvimento do país etc. Os principais componentes do RCD são o concreto e a cerâmica vermelha (tijolos). Este estudo mostra a possibilidade de separar e concentrar RCD através de Separadores Baseados em Sensores (Sensor-based sorting). Em todos os testes foi utilizada uma mistura de concreto, cerâmica vermelha e gesso, sem a presença de metais ou impurezas leves. Partículas de concreto e cerâmica vermelha foram escolhidas devido ao seu domínio em todos os RCD gerados. Partículas de gesso foram utilizadas devido a este ser o principal e mais prejudicial contaminante em formulações de novos concretos, bem como a possibilidade de reciclagem na indústria. Todos os testes foram realizados com partículas na faixa de tamanho de 20x4 mm.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor-based sorting, RCD, concreto, gesso, cerâmica vermelha.

### ABSTRACT

Construction and Demolition Waste (CDW) presents different compositions, depending on the building construction, city size, country development, etc. The main components of CDW are concrete and red ceramics (bricks). This study shows the possibility of separating and concentrating CDW through Sensor Based Sensors. A mixture of concrete, red ceramic, and gypsum, without the presence of metals or light impurities was used in all tests. Concrete and red ceramics particles were chosen because of their dominance in all CDW generated. Gypsum particles were used due to this being the main and most harmful contaminant in new concrete, as well as its recyclability in the industry. All tests were conducted with particles in size range of 20x4 mm.

**KEYWORDS:** Sensor-based sorting, CDW, concrete, gesso, red ceramic.

## 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) podem ter composições diferentes. Essas composições dependem do tipo de construção (comercial ou residencial), tamanho da cidade, bairro onde o material é amostrado (área rica ou pobre), desenvolvimento do país etc. (Lachimpadi et al., 2012). Mesmo com grande variação na composição, os RCD são constituídos em média por cerca de 70% de concreto e cerâmicas vermelhas (Oikonomou, 2005). O gesso aparece na maioria dos casos como o principal contaminante do RCD, principalmente por ser muito prejudicial quando misturado ao agregado reciclado utilizado em novos concretos. Quando possível, o gesso é separado e concentrado para reaproveitamento (Tam, 2008). O uso de agregados reciclados é economicamente viável, mas geralmente é limitado a materiais de construção em obras públicas ou como embasamento de estradas. O sucesso da separação e concentração de RCD para reutilização futura está associado a políticas públicas governamentais (Lu & Yuan, 2012). Uma política de gestão de RCD em canteiros de obras permite uma redução de custos de cerca de 30-40% (Coelho & Brito, 2013). Métodos de separação e concentração de RCD são propostos por Tomas e Gröger (2000). Equipamentos de fácil operação e baixa eficiência podem ser utilizados na remoção de impurezas leves como papel, madeira, plásticos etc. A separação magnética e por correntes parasitas (Eddy Current) podem ser utilizadas para remover metais ferrosos ou não ferrosos. Esses processos de separação são usados nas atuais usinas de reciclagem, conforme descrito por Huang et al. (2002). Os resíduos restantes são separados por demolição seletiva ou por coleta manual. Uma alternativa para separação e concentração de CDW é o uso de Separadores Baseados em Sensores (Sensor-based Sorting, SBS), após a remoção de luz e materiais magnéticos. O SBS pode ser empregado em um único estágio ou em conjunto com concentradores de gravidade. Este estudo mostra a possibilidade de separação e concentração de Resíduos de Construção e Demolição através do SBS. Foram consideradas neste trabalho partículas de concreto, cerâmica vermelha (denominado no trabalho como tijolo) e gesso sem a presença de metais ou impurezas leves (papel, papelão, plásticos), que devem ser removidas antes desta etapa. Os desenvolvimentos de sensores específicos para a separação de diferentes materiais apresentam inovações tecnológicas. Existem inúmeros princípios físicos para caracterização e diferenciação de minerais para separação (Cutmore & Eberhardt, 2002). O estágio atual da tecnologia de separação automática permite a separação de partículas individuais entre 10 e 250 mm, a uma taxa média de produção de 0,3 a 300 ton/h (Nienhaus et al., 2014). Os sensores que podem ser usados são ondas eletromagnéticas com diferentes frequências, como p.e. UV, VIS, NIR, MIR, raios X de baixa energia. Existem dois tipos principais de equipamentos, tipo correia e tipo calha, com também dois separadores possíveis, impacto mecânico e sopro (Wotruba et al., 2014).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Os ensaios de separação foram realizados com três tipos de materiais: concreto (C25 / 30), tijolos maciços de argila e gesso de blocos maciços de gesso. Os intervalos de tamanho são os seguintes: 19,1x12,5 mm, 12,5x9,1 mm e 9,1x4,76 mm. As partículas podem ser vistas na Figura 1. A faixa de tamanho total (19,1 x 4,76 mm) é considerada típica para o tamanho de agregados reciclados grossos.

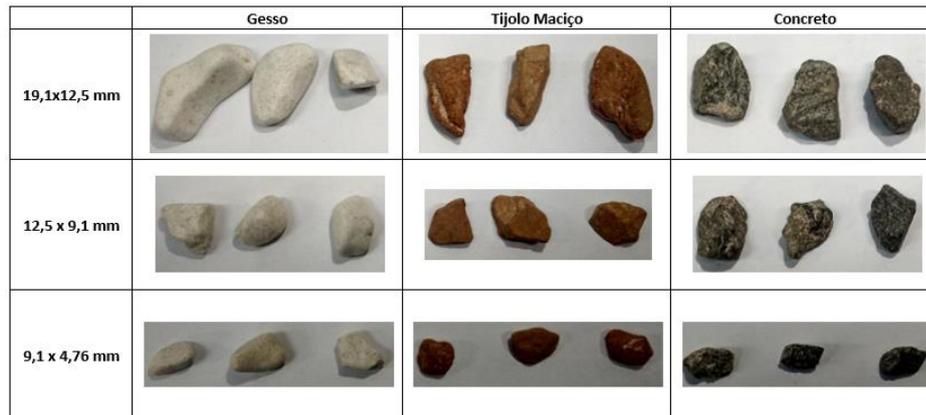


Figura 1. Partículas de gesso, tijolo e concreto separadas no SBS.

## 2.2. SEPARADORES BASEADO SEM SENSORES (SENSOR-BASED SORTING)

Todos os testes de SBS foram realizados no Laboratório de Processamento de Minerais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre, Brasil, com um COMEX Lab-Sorter MSX-400-VL-XR-3D. A Figura 2 mostra uma foto do equipamento utilizado em todos os testes.



Figura 2. Classificador SBS COMEX Lab-Sorter MSX-400-VL-XR-3D.

Este equipamento é do tipo correia com separação por impacto mecânico. Possui dois tipos de sensores, raios X de baixa energia (energia dupla) e câmera CCD de alta resolução. Os testes foram realizados com o último sensor.

## 2.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO

O fluxograma de classificação utilizado neste trabalho pode ser visto na Figura 3.

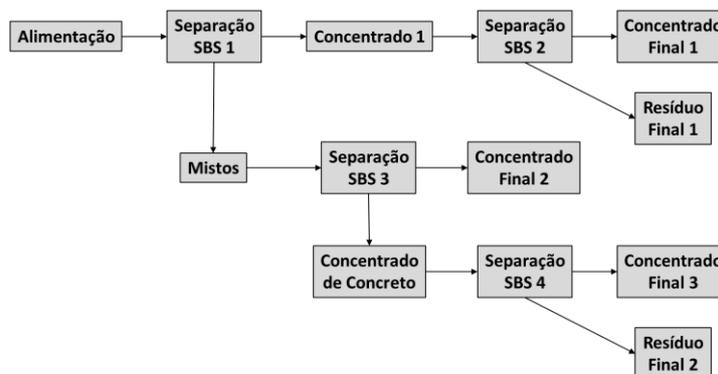


Figura 3. Fluxograma de classificação.

Todas as partículas (concreto, tijolo e gesso) em diferentes faixas de tamanho (19,1x12,5 mm, 12,5x9,1 mm e 9,1x4,76 mm) foram concentradas em SBS (o primeiro corte de separação foi denominado Separação SBS 1 na figura). Os seguintes produtos foram separados: concentrado de gesso (denominado Concentrado 1 na figura) e uma mistura de partículas de concreto e tijolo (denominada Mistos). O Concentrado 1 foi novamente beneficiado no SBS (denominado Separação SBS 2) e gerou 2 produtos: um concentrado de gesso (denominado Concentrado Final 1) e um resíduo (denominado Resíduo Final 1). Os mistos foram beneficiados no SBS (denominado Separação SBS 3) e geraram 2 produtos: um concentrado de cerâmica vermelha (denominado Concentrado Final 2) e um resíduo (denominado Concentrado de Concreto). O concentrado de concreto foi submetido novamente ao SBS (denominado Separação SBS 4) que gerou 2 produtos: Concentrado Final 3 e Resíduo Final 2. Vale a pena dizer que as partículas de concreto e gesso se concentraram duas vezes no SBS e a partícula de tijolo apenas uma.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. BALANÇO DE MASSAS E CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS

A Figura 4 apresenta o balanço de massa em gramas (g) em diferentes faixas de tamanho (19,1x12,5 mm, 12,5x9,1 mm e 9,1x4,76 mm) para todos os produtos concentrados de acordo com o fluxograma descrito na Figura 3.

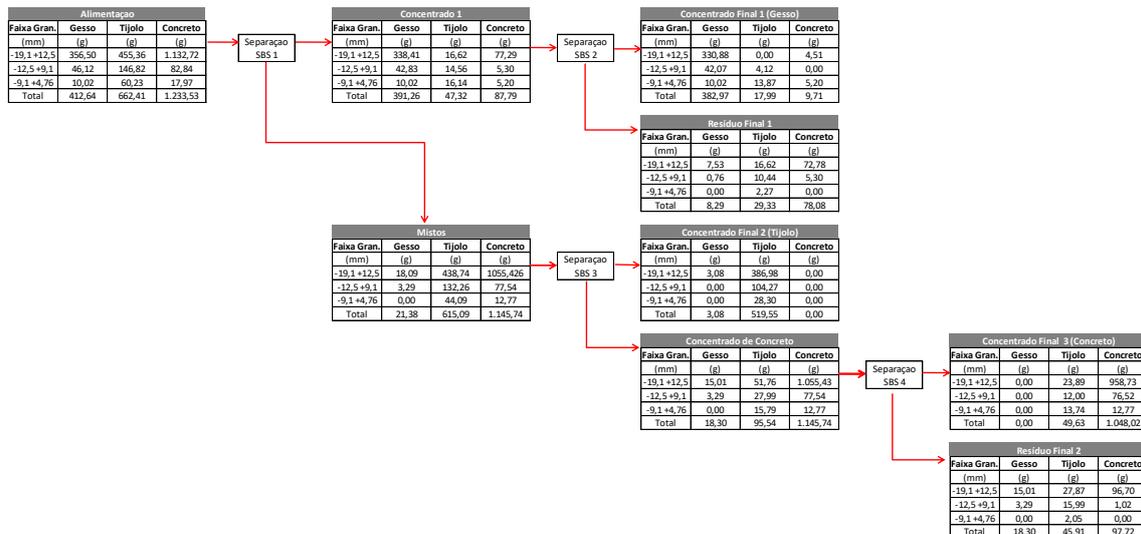


Figura 4. Balanço de massa em gramas (g) do fluxograma de classificação.

Pelos concentrados finais (Concentrado Final 1, 2 e 3) e resíduos (Resíduos Finais 1 e 2), pode-se dizer que em geral a separação dos produtos com o uso de um SBS ocorreu de forma eficiente. A maior parte das partículas de gesso estão concentradas no Concentrado Final 1. O mesmo comportamento pode ser observado no Concentrado Final 2, onde se concentram as partículas de tijolo, e no Concentrado Final 3 (concentrado com partículas de concreto).

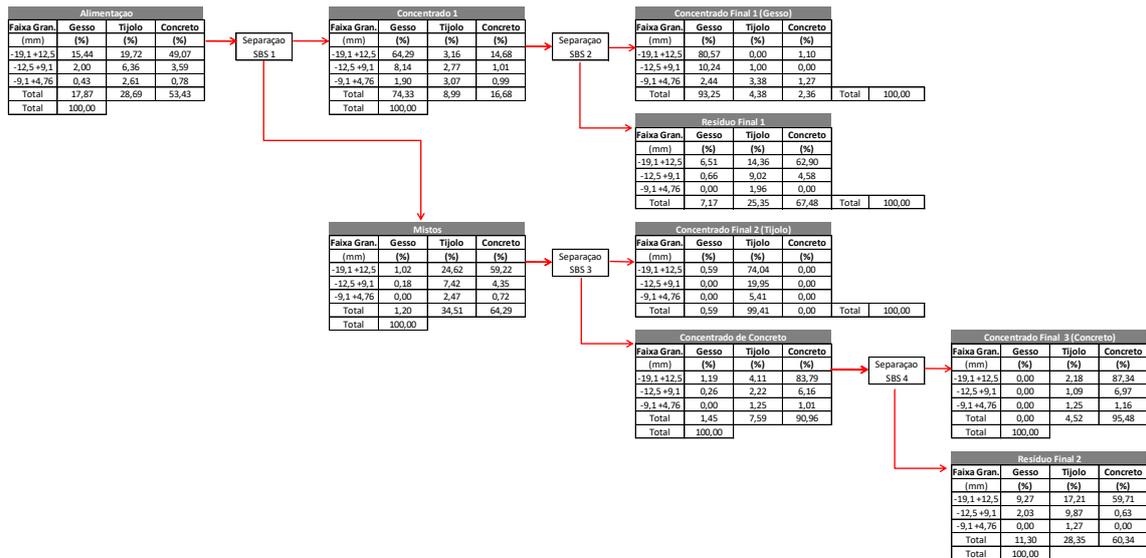


Figura 5. Balanço de massa em porcentagem (%) em cada produto do fluxograma de classificação.

A Figura 5 apresenta a porcentagem de cada material e faixa de tamanho em cada produto. Por exemplo, o Concentrado Final 1 é constituído por 80,57% de partículas de gesso, faixa de tamanho 19,1x12,5 mm; 3,38% de partícula de tijolo, intervalo de tamanho de 9,1x4,76 mm e assim por diante. A soma de todas as partículas em todas as faixas de tamanho é 100%. É possível observar na Figura que o Concentrado Final 1 apresenta 93,25% de partículas de gesso; O Concentrado Final 2 apresenta 99,41% de partículas de tijolo; e Concentrado Final 3 95,48% de partículas de concreto.

### 3.2. BALANÇO DE MASSAS DAS PARTÍCULAS DE GESSO

A Figura 6 apresenta o balanço de massa parcial das partículas de gesso nos produtos do SBS (ver Figura 3). Por exemplo, as partículas de gesso, faixa de tamanho 19,1x12,5 mm, na alimentação representam 356,50 g (100%). Após a separação no circuito, as partículas de gesso são distribuídas da seguinte forma: 330,88 g (92,81% da alimentação) no Concentrado Final 1; 7,53 g (2,11% da alimentação) no Resíduo Final 1; 3,08 g (0,86% da alimentação) em Concentrado Final 2; 0,0 g em Concentrado Final 3; e 15,1 g (4,21% da alimentação) em Resíduos Finais 2.

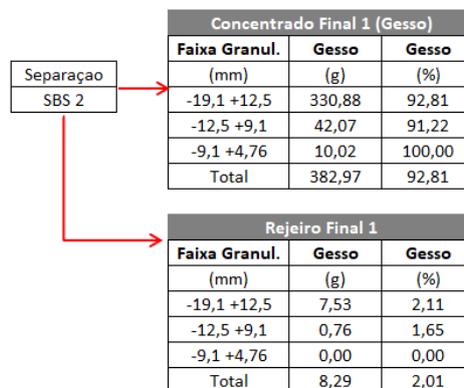


Figura 6. Balanço de massa em gramas (g) e em porcentagem (%) das partículas de gesso durante a classificação.

Considerando todas as faixas de tamanho, de 412,64 g de partícula na alimentação, 382,97 g estão no Concentrado Final 1, que representa 92,81%; 2,01% (8,29 g) são no Resíduo

Final 1; 0,75% (3,08 g) no concentrado final 2; 0,0% no concentrado final 3; e 4,43% (18,30 g) no Resíduo Final 2. É possível concluir que a eficiência geral das partículas de gesso no circuito de beneficiamento é de 92,81%. Isso significa que 92,81% de todas as partículas de gesso da são reportadas ao concentrado de gesso. A maior parte das partículas de gesso, que não estão no Concentrado Final 1 (concentrado de gesso), estão no Resíduo Final 2 (18,30 g - 4,43% da alimentação). Este material foi originado da primeira imperfeição de separação SBS (Separação SBS 1). Posteriormente, as partículas de gesso foram descartadas como resíduos na Separação SBS 3 e 4.

### 3.3. BALANÇO DE MASSAS DAS PARTÍCULAS DE TIJOLO

A Figura 7 mostra o balanço de massa das partículas de tijolo nos produtos SBS (ver Figura 3). O total de partículas de tijolo em todas as faixas de tamanho na alimentação é de 662,41 g. Deste material, 519,55 g (78,43%) foram concentrados no Concentrado Final 2 (concentrado de tijolo). Esse valor, 78,43%, pode ser considerado a eficiência geral das partículas do tijolo no circuito de beneficiamento.

Mistos			→ Separação SBS 3 →	Concentrado Final 2 (Tijolo)		
Faixa Granul. (mm)	Tijolo (g)	Tijolo (%)		Faixa Granul. (mm)	Tijolo (g)	Tijolo (%)
-19,1 +12,5	438,74	96,35		-19,1 +12,5	386,98	84,98
-12,5 +9,1	132,26	90,08		-12,5 +9,1	104,27	71,02
-9,1 +4,76	44,09	73,20		-9,1 +4,76	28,30	46,99
Total	615,09	92,86		Total	519,55	78,43

Figura 7. Balanço de massa em gramas (g) e em porcentagem (%) das partículas de tijolo durante a classificação.

O concentrado da Separação SBS 1 apresenta 92,86% (615,09 g) das partículas de tijolo (47,32 g - 7,14% foram considerados resíduos para concentração de tijolo). A Separação SBS 3 produziu um concentrado de tijolo de 519,55 g (78,43%) e um resíduo com 95,54 g (14,42%) de partículas de tijolo. Em ambas as separações de corte (Separação SBS 1 e 3), a eficiência de corte não é alta. Na separação do primeiro corte (Separação SBS 1), 7,14% das partículas do tijolo foram separadas como resíduo. Na segunda separação por corte (Separação SBS 3) 15,53% das partículas de tijolo foram separadas como resíduos (95,54 g de 615,09 g da alimentação Separação SBS 3).

### 3.4. BALANÇO DE MASSAS DAS PARTÍCULAS DE CONCRETO

A Figura 8 apresenta o balanço de massa das partículas de concreto em todos os produtos do SBS. Considerando todas as faixas de tamanho, de 1.233,53 g das partículas de concreto na alimentação, 1.048,02 g (84,96%) estão no Concentrado Final 3 (concentrado de concreto); 97,72 g (7,92%) no Resíduo Final 2; 9,71 g (0,79%) estão no Concentrado Final 1; 78,08 g (6,33%) no Resíduo Final 1; e 0 g no concentrado final 2. A eficiência geral de corte (todos os tamanhos) em SBS pode ser considerada razoável. A recuperação em massa de partículas de concreto Concentrado Final 3) é de quase 85% (84,96%).

Concentrado Final 3 (Concreto)		
Faixa Granul. (mm)	Concreto (g)	Concreto (%)
-19,1 +12,5	958,73	84,64
-12,5 +9,1	76,52	92,37
-9,1 +4,76	12,77	71,06
Total	1.048,02	84,96

Rejeito Final 2		
Faixa Granul. (mm)	Concreto (g)	Concreto (%)
-19,1 +12,5	96,70	8,54
-12,5 +9,1	1,02	1,23
-9,1 +4,76	0,00	0,00
Total	97,72	7,92

Figura 8. Balanço de massa em gramas (g) e em porcentagem (%) das partículas de concreto durante a classificação.

### 3.5. INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHOS

Pode-se dizer que a maior parte das partículas de gesso em todas as faixas de tamanho estavam concentradas no Concentrado Final 1 (Figura 6). Este concentrado apresenta 92,81% (382,97 g) de partículas de gesso (alimentação do processo de concentração). Considerando as faixas de tamanho, do Concentrado Final 1, é possível observar que 330,88 g (92,81% da alimentação) estão na faixa de tamanho 19,1x12,5 mm (a alimentação no processo é de 356,50 g nesta faixa de tamanho); 91,22% (42,07 g da alimentação) na faixa de tamanho 12,5 x 9,1 mm; e 100% na faixa de tamanho de 9,1x4,76 mm.

O SBS foi muito eficiente na separação e concentração de partículas de gesso em todas as faixas de tamanho estudadas. Pode-se esperar que quanto menor for a partícula, maior será a imperfeição do corte. Neste caso, nas 3 faixas de tamanho a recuperação das partículas de gesso no Concentrado Final 1 (concentrado de gesso) foi superior a 90%, demonstrando a viabilidade do corte do processo com SBS.

Considerando diferentes faixas de tamanho das partículas de tijolo (Figura 7) no Concentrado Final 2 (concentrado de tijolo), 386,98 g (84,98% da alimentação do fluxograma) das partículas de tijolo na faixa de tamanho 19,1x12,5 mm foram separadas neste concentrado; 104,27 g (71,02% da alimentação) na faixa de tamanho 12,5 x 9,1 mm; e 28,30 g (46,99% da alimentação) na faixa de tamanho 9,1x4,76 mm. É possível concluir que a eficiência de corte de partículas de tijolo é dependente do tamanho da partícula. Conforme esperado da literatura (Burt, 1984), quanto menor a partícula, menor a eficiência de corte.

Para a concentração de partículas de concreto, considerando a eficiência de corte em diferentes faixas de tamanho (Figura 8), é possível confirmar o mesmo comportamento das partículas de tijolo, a eficiência é dependente do tamanho da partícula do concreto (a eficiência de corte diminui com o tamanho das partículas). Para a faixa de tamanho 19,1x12,5 mm, 958,73 g (84,64% da alimentação do circuito de concentração) foram separados no Concentrado Final 3 (concentrado de concreto); 76,52 g (92,37% da alimentação) na faixa de tamanho 12,5 x 9,1 mm; e 12,77 g (71,06% da alimentação) na faixa de tamanho 9,1x4,76 mm.

## 4. CONCLUSÕES

A separação e concentração do Resíduos de Construção e Demolição em SBS foi realizada de forma eficiente: 92,81% das partículas de gesso, 78,43% das partículas de tijolo e

84,96% das partículas de concreto foram reportadas aos seus respectivos concentrados. Esses percentuais (92,81%, 78,43% e 84,96%, respectivamente para partículas de gesso, tijolo e concreto) podem ser considerados a eficiência geral de separação do circuito de beneficiamento. O SBS foi muito eficiente na separação e concentração de partículas de gesso em todas as faixas de tamanho estudadas. Em todas as faixas de tamanho, a recuperação do gesso foi superior a 90%. A concentração de partículas de tijolo e concreto não foi tão eficiente quanto a concentração de gesso, mas com eficiência razoável em todas as faixas de tamanho. Em geral, pode-se dizer que quanto menor a partícula, maior a imperfeição do corte.

## 5. REFERÊNCIAS

- Burt, R.O., 1984. Gravity concentration technology, Elsevier, Amsterdam, 605 pp.
- Coelho, A., Brito, J., 2013. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – part I: location, materials, technology and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 39, 338-352.
- Cutmore, N.G., Eberhardt, J.E., 2002. The Future of Ore Sorting in Mineral Processing. In: Proc. International Conference on the Sustainable Processing of Minerals, Cairns, 287-289.
- Huang, W.L., Lin, D.H., Chang, N.B., Lin, K.S., 2002. Recycling of Construction and Demolition Waste via a Mechanical Sorting Process. *Resources, Conservation and Recycling* 37 (1), 23–37.
- Lachimpadi, S.K., Pereira, J.J., Taha, M.R., Mohktar, M., 2012. Construction waste minimization comparing conventional and precast construction (Mixed system and IBS) methods in high-rise buildings: A Malaysia case study. *Resource, Conservation and Recycling*, 68, 96-103.
- Lu, W., Yuan, H., 2012. Off-site sorting of construction waste: What can we learn from Hong Kong? *Resources, Conservation and Recycling*, 69, 100-108.
- Nienhaus, K., Pretz, T., Wotruba, H. *Sensor Technologies: impulses for the raw Materials Industry*. Aachen: RWTH; 2014. Chapter 4, Berwanger, M., Gaastra, M. Technical and physical principles of sensor technologies applied in the raw materials industry, p. 47-199.
- Oikonomou, Nik.D., 2005. Recycled Concrete Aggregates. *Cement and Concrete Composites* 27, no. 2, 315–18.
- Robben, C., De Korte, J., Wotruba, H., Robben, M., 2014. Experiences in Dry Coarse Coal Separation Using X-Ray-Transmission-Based Sorting. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 34, 210–219.
- Tam, V.W.Y., 2008. Economic comparison of concrete recycling: A case study approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 52 (5), 821-828
- Tomas, J., Gröger, G., 2000. Assessment of multistage turbulent cross-flow aereseparation of building rubble. *Dev. Mineral Processing*, 13pp, C7-C34-C7-C43.
- Wotruba, H., Knapp H., Neubert K., Schropp, C. Anwendung der sensorgestützten Sortierung für die Aufbereitung mineralischer Rohstoffe. *Chemie Ingenieur Technik* 2014. 86(6); 773-783.