

# Modelo dinâmico de sistemas para o gerenciamento de resíduos da construção civil na cidade de Porto Alegre: estudo de caso

*Dynamic systems model for waste construction management in the city of Porto Alegre: case study*

Luis Hernando Walteros Galarza<sup>1</sup>, Sandra Tatiana Reyes Gómez<sup>1</sup>,  
Estela Oliari Garcez<sup>2</sup>, Érico Cunde Correa<sup>3</sup>, Álvaro Chávez Porras<sup>4</sup>, Isaac Huertas Forero<sup>4</sup>

## RESUMO

O presente artigo relata a elaboração de um modelo dinâmico de sistemas com o estudo de material reciclado proveniente de escombros para a fabricação de blocos de concreto do tipo não estruturais, utilizando para a modelagem das variáveis o programa computacional Stella. Essa modelagem permite que seja feita uma análise de cada variável do processo de produção, servindo como base para a definição das atividades críticas e as possibilidades de melhora e otimização do processo de produção, além de ser um critério de validação para uma adequada reutilização dos resíduos da construção, tendo em vista as legislações atuais e especificações técnicas e ambientais. Este estudo permitiu o desenvolvimento de um modelo conceitual de análise do processo de produção dos blocos através do comportamento que apresenta as variáveis que intervêm no processo, demonstrando que a utilização de resíduos de construção e demolição neste estudo de caso é uma alternativa socioambiental com potencial econômico.

**Palavras-chave:** RCD; resíduos de demolição e construção; dinâmica de sistemas; Stella (programa computacional); modelagem, reciclagem.

## ABSTRACT

This work presents the development of a system dynamic model for the use of recycled material from construction and demolition waste in the production of non-structural concrete blocks, using the software Stella for modeling of parameters. The modeling allows the individual analysis of the production process parameters, serving as a base for the definition of critical activities and possibilities for the improvement and optimization of the production. The modeling is also a validation criterion to ensure an efficient reuse of construction waste, given the current regulations, environmental and technical specifications. This study resulted in a conceptual analysis model considering several variables related to the production process. It was possible to demonstrate that the use of construction and demolition waste is a feasible social and environmental activity with economic potential.

**Keywords:** CDW; construction and demolition waste; dynamic system; Stella (computational program); modeling; recycling.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é baseado no atendimento das necessidades da geração atual, sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras. Esse conceito também pode e deve ser aplicado na construção civil, sem haver a necessidade de esgotar os recursos naturais no futuro (VALLE, 2004). Segundo Vásquez (2001), a construção sustentável está baseada na prevenção e redução da geração dos resíduos, através do desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso de materiais

recicláveis, reutilizáveis e ou aproveitamento de subprodutos, até a coleta e disposição final adequada dos resíduos inertes da construção.

A construção civil é um dos maiores responsáveis pelo consumo de recursos naturais, estimando-se que seja responsável pelo consumo médio de 33% dos recursos extraídos (EPA, 1998). Os seus produtos consomem grande quantidade de energia, conforme Pinto (2005), que apresenta estudos realizados em municípios do estado de São Paulo, computando números da participação de resíduos da construção e

<sup>1</sup>Engenheiro Industrial pela Universidade Militar Nueva Granada - Bogotá, Colômbia.

<sup>2</sup>Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) - Pelotas (RS), Brasil.

<sup>3</sup>Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFPeL - Pelotas (RS), Brasil.

<sup>4</sup>Professor tutor da Universidade Militar Nueva Granada - Bogotá, Colômbia.

**Endereço para correspondência:** Luis Hernando Walteros Galarza - Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias - Rua Almirante Barroso, 1734 - Centro - 96010-280 - Pelotas (RS), Brasil - E-mail: sanjulwal@hotmail.com

**Recebido:** 08/10/12 - **Aceito:** 06/02/15 - **Reg. ABES:** 99167

demolição (RCD) em relação à massa total dos resíduos sólidos urbanos. Os autores observaram que estes têm uma participação importante no conjunto dos resíduos gerados, e que em todas as cidades estudadas a sua participação foi superior a 50% do total (EPA, 2003). No cenário brasileiro, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2011), define RCD como os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civis incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

A reciclagem dos RCD no Brasil é relativamente recente, atestada pelo grande número de monografias, dissertações e teses que versam sobre esse tema (ÂNGULO, 2000; VIEIRA & DAL MOLIN, 2004; HOLDERBAUM, 2009). Da mesma forma, se relacionam diferentes autores preocupados com a produção de blocos com RCD, tais como Duque (2006), Freire (2010) e França *et al.* (2013), que com seus trabalhos buscaram compatibilizar, no setor da construção civil, o desenvolvimento tecnológico com a redução dos impactos ambientais gerados pelo tratamento ineficiente dos resíduos de construção.

A reciclagem na construção civil pode gerar vários benefícios, como redução no consumo de matérias-primas e insumos energéticos, redução de áreas necessárias para aterro e aumento da vida útil dos que estão em operação. Para que a reciclagem dos RCD seja bem sucedida, é necessário estabelecer uma metodologia complexa e multidisciplinar, exigindo conhecimentos pertinentes a diferentes especializações para o desenvolvimento de um produto destinado a ser um material de construção alternativo (MIRANDA & SELMO, 2003).

Resumidamente, essa metodologia compreenderia as seguintes etapas, presentes no artigo 9º da Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002):

1. caracterização física e química do resíduo;
2. pesquisa das possíveis aplicações;
3. análise de viabilidade financeira;
4. análise de impacto ambiental do novo produto;
5. análise de riscos à saúde;
6. análise de desempenho técnico;
7. concepção do processo de produção;
8. marketing.

Sendo assim, procurou-se investigar a utilização da modelagem computacional no contexto da reciclagem de resíduos de construção e demolição para o desenvolvimento de metodologia baseada no princípio da dinâmica de sistemas (MAO & DAI, 2012), considerando características importantes na utilização desse conceito, tais como avaliação das variáveis, desenvolvimento de estratégias, tomada de decisões e planejamento de cenários reais, podendo, assim, essa ferramenta ser uma alternativa para beneficiar o gerenciamento de resíduos da construção civil e, conseqüentemente, contribuir para a almejada sustentabilidade do setor da construção civil (FORRESTER, 2011).

Nesta perspectiva, o foco inicial dessa iniciativa foi o desenvolvimento do modelo representativo da dinâmica populacional do município de Porto Alegre, no ambiente de modelagem computacional Stella (CERVANTES, 2007), que proporciona uma interface gráfica ao usuário, permitindo a visualização do processo e a interação quantitativa das variáveis do sistema. Devido ao significativo volume de dados disponíveis sobre esse tema foi possível desenvolver a análise de diferentes cenários a partir de informações reais.

Na cidade de Porto Alegre, a organização não governamental (ONG) Solidariedade, através do seu Centro de Transformação Socioambiental (CTSA), já está desenvolvendo o projeto de produção de blocos de concreto a partir de agregados reciclados, sendo utilizadas as potencialidades de tal organização como parâmetros para o desenvolvimento deste trabalho. Os resultados revelam importantes aspectos sobre a utilização de ambientes de modelagem computacional na aprendizagem exploratória e estabelecem diretrizes para a continuidade da investigação (CAMILETTI & FERRACIOLI, 2001).

Assim sendo, com base no resultado da avaliação e de acordo com as tecnologias existentes, fez-se um desenho de um modelo dinâmico de sistemas, o qual permitiu analisar a viabilidade e o comportamento que apresentam as diferentes variáveis envolvidas nos agregados reciclados e sua composição, tendo em vista as perspectivas políticas, os recursos naturais e o recurso econômico no Brasil, com base em dados do ano de 2011.

## Dinâmica de sistemas e sua aplicação na gestão e aproveitamento de resíduos da construção e demolição

A dinâmica de sistemas lida com ciclos de retroalimentação interna e atrasos que afetam o comportamento do sistema como um todo. Através de diversos tipos de diagramas (causais; estoque e fluxo) é possível expressar graficamente um sistema (um pedaço bem delimitado de um evento) possibilitando ver mais claramente a complexidade dinâmica (ao longo do tempo) e as relações entre as partes (FORRESTER, 2011).

No ambiente de modelagem computacional, o usuário não necessita trabalhar diretamente com equações matemáticas, mas sim estabelecer relações causais entre as variáveis consideradas relevantes para o estudo do sistema ou fenômeno de interesse. O ambiente do programa Stella, adotado nas análises apresentadas neste trabalho, permite a geração tanto de saídas gráficas que mostram a evolução temporal de quaisquer variáveis do modelo desenvolvido, quanto de tabelas que traduzem numericamente essas variações (CAMILETTI & FERRACIOLI, 2001).

Alguns estudos já demonstraram as possibilidades do emprego da dinâmica de sistemas na gestão de resíduos, como os trabalhos de Dyson (2005), Danny (2011), Avila (2011) e Maximiliano (2012), bem como no documento intitulado *Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos Regional del valle de Aburra – PGIRSR, proyecciones de generación y gestión de residuos sólidos con Dinámica de sistemas* (AMVA-325-IN-PR, 2006).

Desta forma, procurou-se desenvolver, no ambiente de modelagem computacional Stella, um modelo da dinâmica de sistemas aplicado ao aproveitamento de resíduos de construção na produção de blocos de concreto não estrutural no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, conforme explicado nos itens a seguir.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do modelo da dinâmica do sistema em questão, foram utilizados os passos de construção de modelos proposto por Camiletti e Ferracioli (2001). Inicialmente, foram determinadas as variáveis endógenas, aquelas que de alguma forma podemos controlar e medir, obtendo a maioria de uma maneira visual e assim podendo estimar sua ocorrência, como por exemplo: geração, composição e proporção dos RCD. As variáveis exógenas foram obtidas por meio de análises estatísticas, com ocorrência variável no tempo, como por exemplo: projeção da população, estimação da taxa de geração dos RCD, análise socioeconômica da manutenção do parque fabril. Estudos de laboratório realizados em pesquisa anterior (DUQUE, 2006) foram usados como parâmetro de entrada do modelo.

### Processo de produção dos blocos a partir de agregados reciclados

A reciclagem de RCD tem como origem a coleta desses resíduos nos diferentes pontos de geração, como as obras civis e construtoras. Cabe lembrar que a segregação dos resíduos na origem é fundamental (JADOVSKI, 2005). O aumento da geração dos RCD depende tanto do crescimento da população como do desenvolvimento econômico, sendo uma relação diretamente proporcional ao aumento e qualidade das edificações. Segundo a ABRELPE (2010) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), o dado da geração de RCD *per capita* no Brasil para o ano 2010 foi de 0,634 kg.d<sup>-1</sup>. Posteriormente à coleta, é feita uma segregação dos materiais (manual ou automatizada) visando à retirada do material que não entrará no processo produtivo, como aço, papel e gesso (ÂNGULO, 2000). Depois da separação, os materiais aproveitáveis são triturados a fim de se obter a principal matéria prima (agregado). Para a produção dos blocos, tal material triturado deve ser misturado com aglomerante (cimento) e/ou agregado natural (areia grossa) (RODRIGUES, 2010).

Duque (2006) analisou diferentes traços básicos com agregados naturais e reciclados e, segundo critérios das normas NBR 6136 (ABNT, 2006) e NBR 12118 (ABNT, 1997), que estabelecem valores mínimos de resistência para blocos, sendo 2,5 MPa para resistência média do lote e superior a 2,0 MPa para resistência individual dos blocos, e constatou a possibilidade de utilização de materiais reciclados como agregados na confecção de blocos de concreto para vedação, atendendo às exigências de resistência da norma. O autor sugere alguns traços, como apresentado na Tabela 1.

Com base nos dados apresentados pelo autor, adotou-se o traço básico 1:4,52:1,98:0,90 (cimento, areia, agregado reciclado, água), de resistência média à compressão 2,53 MPa, como padrão os blocos com dimensões de 0,39 x 0,19 x 0,19 m, a serem usados no modelo dinâmico do sistema em estudo. Da mesma forma, na Tabela 2 relacionamos os valores e as quantidades de material para a produção de um bloco, obtendo um custo de produção de R\$ 0,90.

A Figura 1 apresenta o diagrama de produção dos blocos de concreto a partir de RCD. É importante salientar que a capacidade de beneficiamento de RCD é em função da dimensão da usina (capacidade dos equipamentos) e da quantidade de coleta diária na cidade de Porto Alegre. Os dados referentes a equipamentos (maquinários e veículos) foram obtidos em Jadovski (2005) e estão descritos no item a seguir.

### Parque fabril

Para a produção de blocos de concretos não estruturais, segundo Jadovski (2005), são necessários, essencialmente, triturador, peneiras e moinho de martelos, para a preparação dos agregados reciclados, e prensa, para preparação dos blocos.

A vibro-prensa para confecção de blocos de concreto escolhida para essa simulação tem capacidade instalada para produzir um número máximo de 3.800 blocos de concreto por dia (MENEGOTTI MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2012), considerando-se 25 dias de jornada de trabalho mensais e que o material reciclável ingressado é suficiente para a capacidade instalada.

A Figura 2 mostra o nível da maquinaria necessário para a obtenção dos agregados, a serem utilizados na produção dos blocos. Na parte inferior da figura é apresentado o diagrama de custo das máquinas,

**Tabela 1 - Traços utilizados para confecção dos blocos.**

| Concretos       | Tipo   | Traço utilizado<br>cimento: areia: agregado reciclado : água |
|-----------------|--------|--|
| Traço reciclado | Rico   | 1 : 3,78 : 1,72 : 0,8  |
|                 | Básico | 1 : 4,52 : 1,98 : 0,9  |
|                 | Pobre  | 1 : 5,25 : 2,25 : 1,0  |

Fonte: Duque (2006).

**Tabela 2 - Valores de matéria prima e custo aproximado de produção por bloco.**

|                                      | Unidade básica   | R\$   | Quantidade material (kg/bloco) | Valor material (R\$/bloco) |
|--------------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|----------------------------|
| Cimento (aglomerante)                | 1 kg             | 0,39  | 1,6                            | 0,60                       |
| Areia                                | 1 m <sup>3</sup> | 60,00 | 7,1                            | 0,27                       |
| Agregado reciclado                   | 1 m <sup>3</sup> | 11,00 | 3,1                            | 0,02                       |
| Custo (em R\$) de produção por bloco |                  |       |                                | 0,90                       |

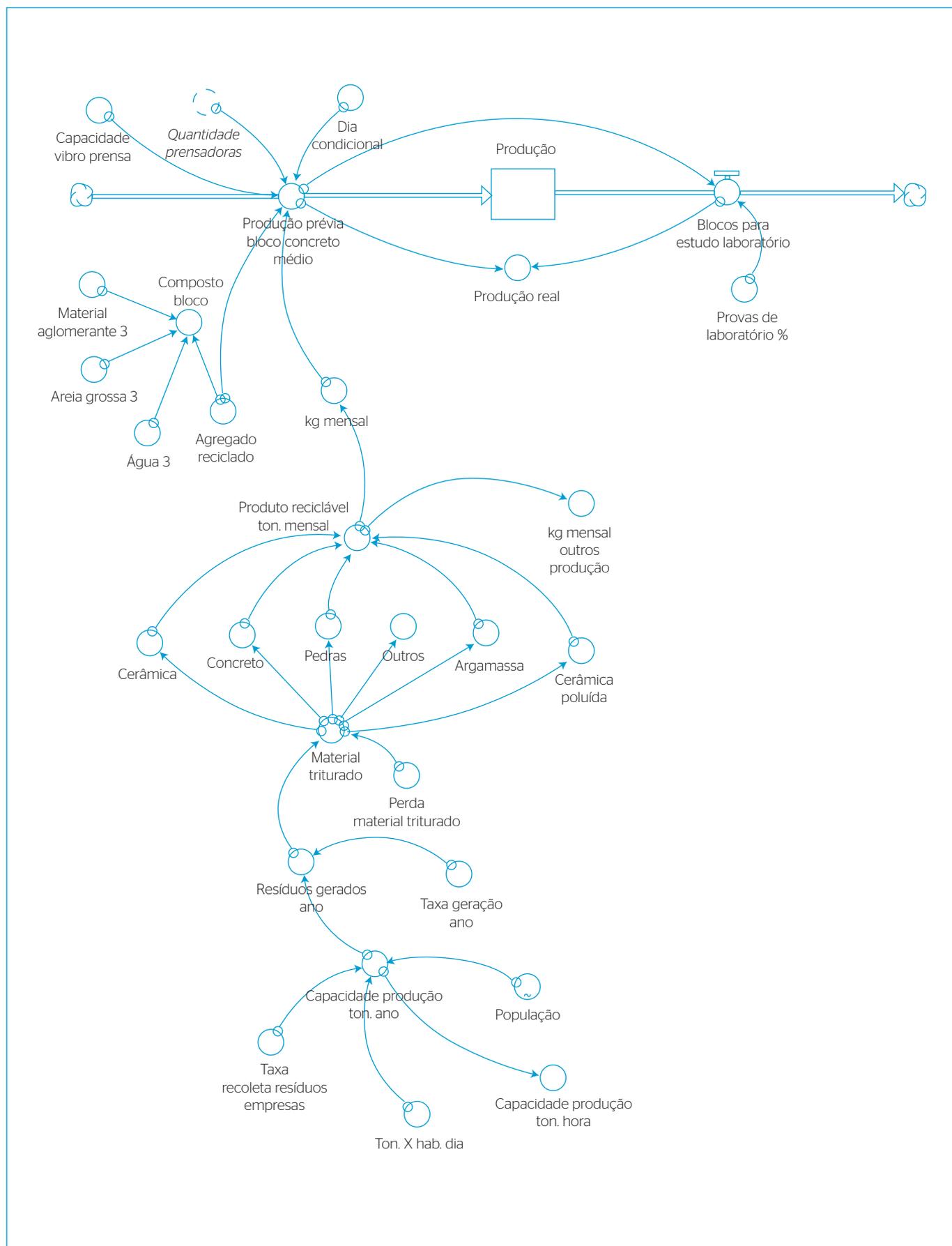


Figura 1 - Nível de produção.

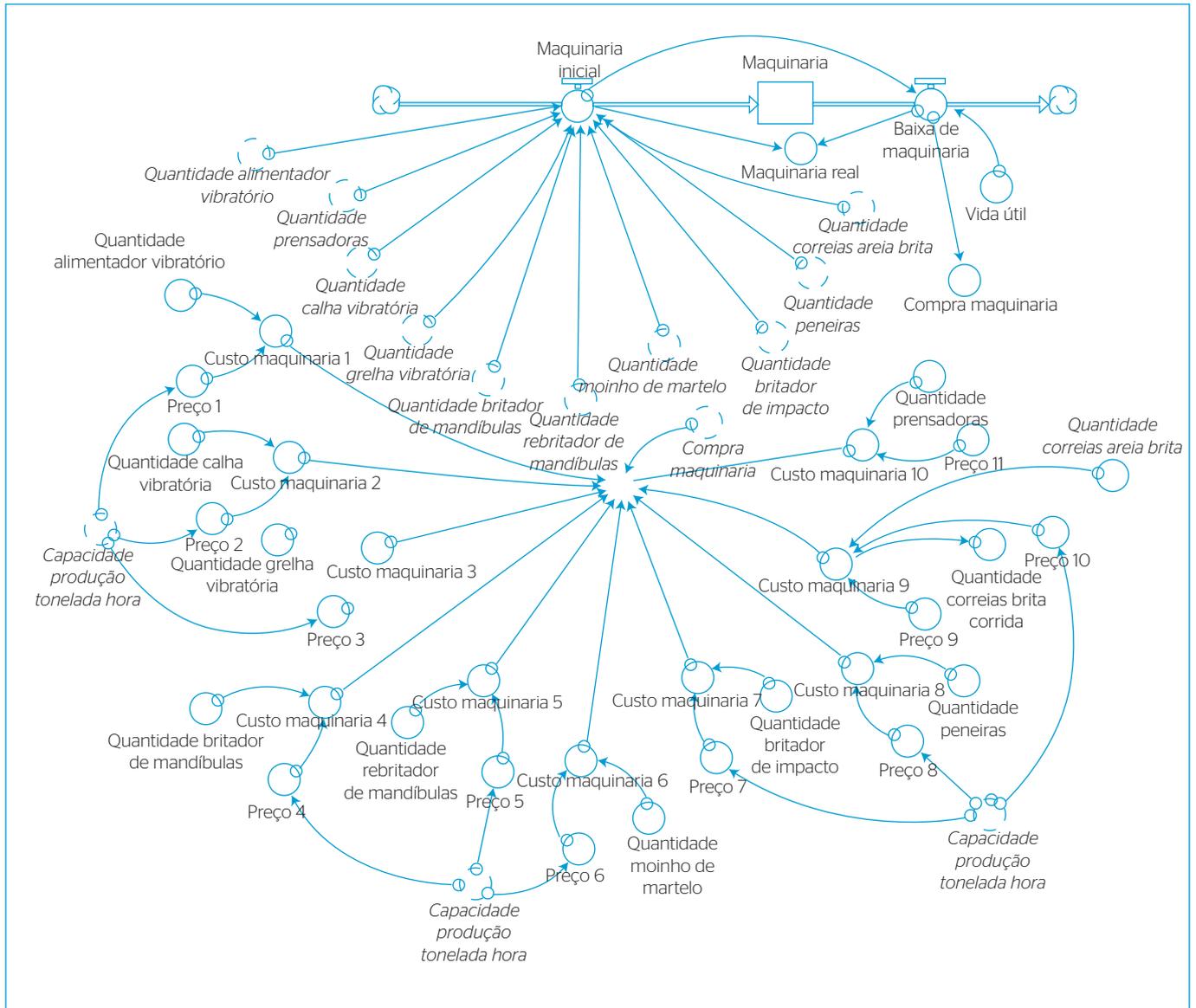


Figura 2 - Nível de máquinas (obtenção dos agregados).

Tabela 3 - Preços meios da aquisição de equipamentos.

| Capacidade de produção<br>(toneladas/hora) | Alimentador vibratório  | Canal vibratório | Rede vibratória | Vibrador de mandíbulas | Rebritador de mandíbulas | Moinho de impacto | Trituradora de impacto | Peneiras | Correias      |             |
|--|-------------------------|------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|-------------------|------------------------|----------|---------------|-------------|
|  |                         |                  |                 |                        |                          |                   |                        |          | Brita corrida | Areia brita |
|  | Milhares de reais (R\$) |                  |                 |                        |                          |                   |                        |          |               |             |
| 20   | 31                      | 5                |                 | 98                     | 60                       | 30                | 85                     | 28       | 23,45         | 62,5        |
| 30   | 40                      | 8                |                 | 136                    | 73,8                     | 37                | 95                     | 35       | 27,9          | 73,6        |
| 40   | 53                      | 9,3              |                 | 160                    | 80                       | 50                | 107                    | 43       | 31            | 85,25       |
| 50   | 62                      | 15               | 32              | 183                    | 100                      | 75                | 125                    | 60,5     | 37,2          | 115,2       |
| 57   | 75                      | 16               | 32              | 238                    | 120                      | 100               | 185                    | 78       | 48            | 135,75      |
| 100  | 90                      | 18               | 32              | 293                    | 120                      | 100               | 245                    | 95,5     | 56            | 151,5       |

Fonte: Jadovski, (2005).

baseado nos preços médios de aquisição de equipamentos apresentados no trabalho de Jadovski (2005). Além disso, a Tabela 3 amostra os preços meios da aquisição de equipamentos, simulados no software.

### Necessidade de recursos humanos

Neste nível, se faz a relação entre o número de máquinas e o número de trabalhadores necessários, levando-se em conta as informações da Tabela 4, apresentadas em Jadovski (2005). Devido à máquina de produção de blocos de concreto ser semiautomática, é necessário um operador. Foi realizada também uma estimativa do pessoal administrativo, tendo em vista a capacidade instalada de acordo com a capacidade de produção tonelada/hora. Na Figura 3 é apresentado o nível de equipe de trabalho.

### Nível de vendas

Neste nível, representado na Figura 4, é demonstrada a relação de uma produção real dos blocos e das unidades vendidas, segundo a possibilidade de demanda de compradores da empresa.

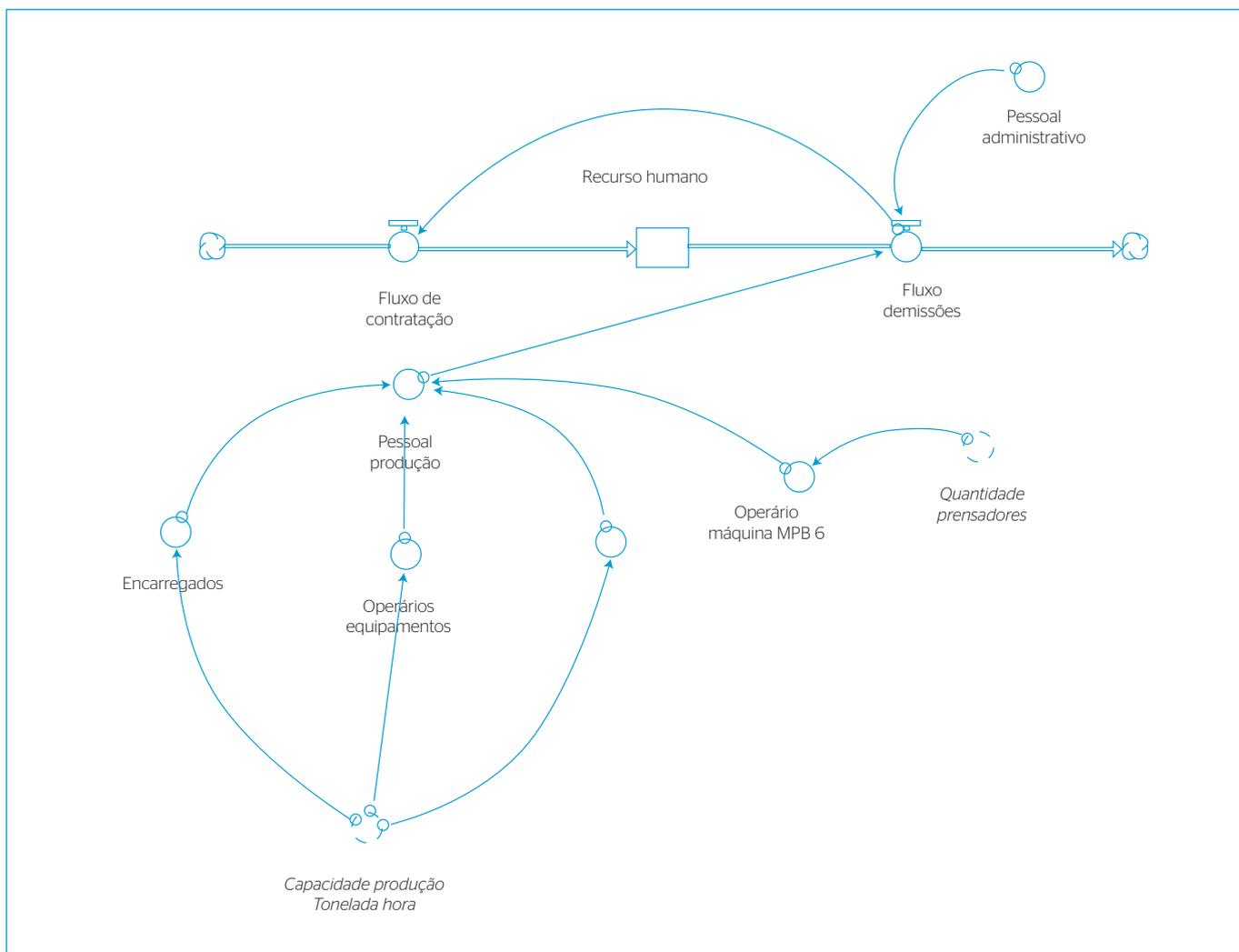
### Fluxo de produção

Neste nível foi efetuada a relação da produção real dos blocos de concreto, do nível de produção e das vendas que se tem de entrada, com

**Tabela 4 - Composição do equipamento de operação da usina de reciclagem.**

| Equipamento de operação |             |                        |                      |
|-------------------------|-------------|------------------------|----------------------|
| Capacidade de produção  | Encarregado | Operador da maquinaria | Auxiliar de produção |
| Até 10 t/h              | 1           | 1                      | 3                    |
| Até 30 t/h              |             | 1                      | 4                    |
| Até 50 t/h              |             | 1                      | 6                    |
| Até 75 t/h              |             | 2                      | 8                    |
| Até 100 t/h             |             | 2                      | 10                   |
| Sobre 100 t/h           |             | 3                      | 12                   |
| Salário x trabalhador   | R\$/h 6,50  | R\$/h 4,00             | R\$/h 2,00           |

Fonte: Jadovski (2005).



**Figura 3 - Nível de equipe de trabalho.**

o objetivo de manejar uma política de inventário de ano a ano mantendo um estoque de segurança constante. Na Figura 5 se mostra o nível de inventário.

### Resultado econômico

Neste nível foi avaliada a relação de todos os ingressos que se tem na produção dos blocos, contemplando as vendas reais. Inicialmente, foi utilizado o preço de venda de R\$ 1,27 com base na estimativa

do preço praticado no mercado local para blocos de concreto convencional (não reciclado) não estrutural no ano de 2013. Na simulação, diferentes valores de preços de blocos foram utilizados, como mostrado mais adiante. Também se contemplou a possibilidade de ter outros ingressos, seja de diferentes fontes, como sócios, governo ou recursos da comunidade (na variável de outros ingressos no modelo de Stella). Nos egressos, além do custo de mão-de-obra estimada, de acordo com o nível de recursos humanos,

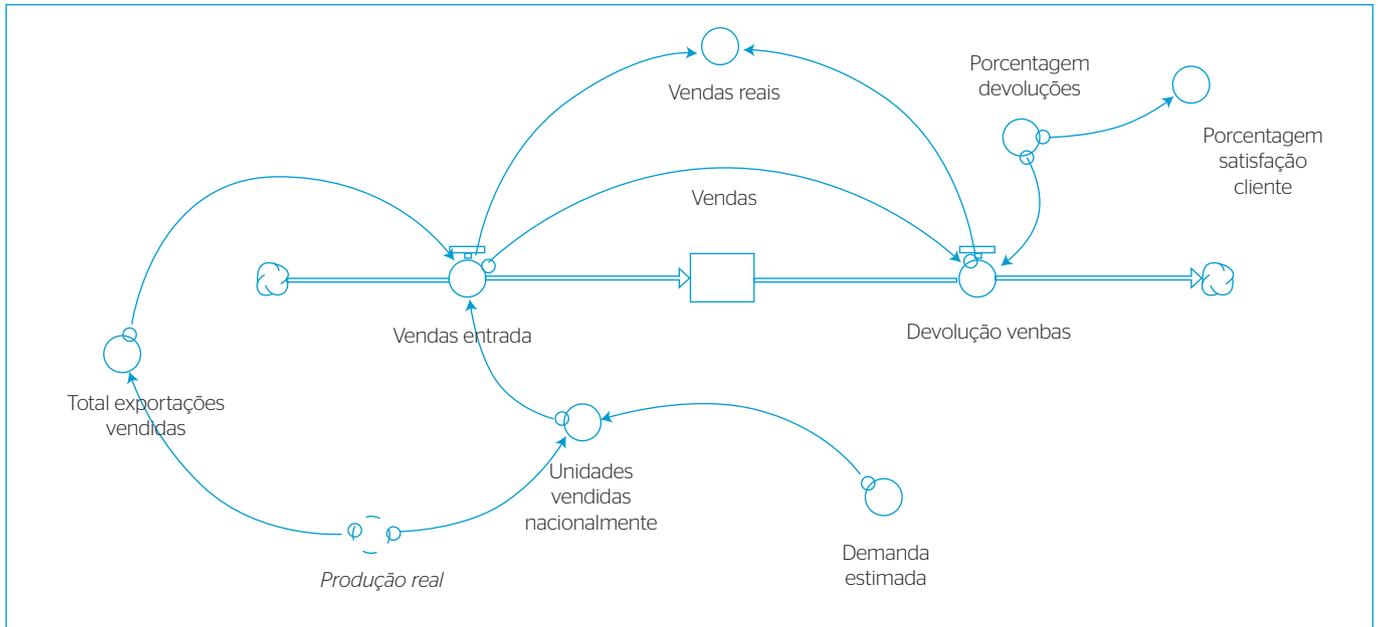


Figura 4 - Nível de Vendas.

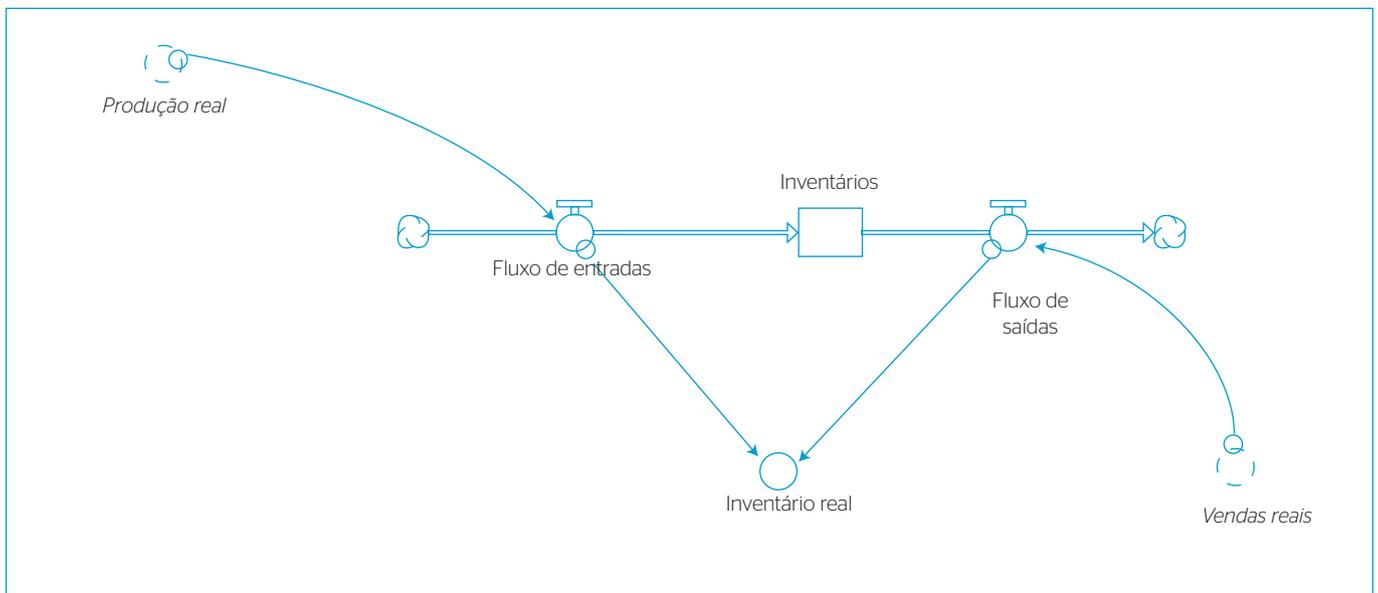


Figura 5 - Nível de Inventários.

também pode ser comparado com a estimativa de valores e o custo de transporte com sua respectiva manutenção, necessária na coleta dos RCD na cidade, apresentada na Tabela 5, segundo a capacidade de produção no nível de maquinaria. Também são considerados nos egressos o custo de água, energia e manutenção de áreas comuns, segundo a Tabela 6.

Na cidade de Porto Alegre, a ONG Solidariedade, através do seu Centro de Transformação Sócio Ambiental (CTSA), desenvolve o projeto Blocos de Concreto a partir de agregados reciclados. A organização comunitária conta com o apoio da prefeitura municipal e recebe doação do material a ser reciclado e utilizado como agregado para a produção dos blocos. Portanto, existe somente custo relacionado ao transporte interno na coleta do entulho até a usina. O projeto também conta com o apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) que, através do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), realiza teste de resistência e conformidade dos blocos.

Na Figura 6 são apresentados os fatores que contribuem para o resultado econômico da simulação.

## Resultados dos níveis estudados para a cidade de Porto Alegre.

Consegue-se, mediante um modelo de dinâmica de sistemas, simular uma usina de reciclagem de RCD com as variáveis mais importantes dentro do sistema. Dessa maneira, foi realizado um prognóstico geral do funcionamento da usina, contando com uma ferramenta

que ajuda no processo de controle sobre o sistema, sendo possível determinar as variáveis que possam estar gerando alguma falha no processo.

Feita a simulação, podemos ver com os resultados dos gráficos e tabelas, que se tem uma produção de 87.892 blocos de concreto não estrutural para o mês 12, com uma produção média de 3.516 blocos por dia nesse mês, sendo essa produção de blocos suportada pela vibro-prensa sem ultrapassar sua capacidade instalada. No processo de fabricação dos blocos não estruturais, sob as condições simuladas neste trabalho, se utilizará 1,1% dos RCD gerados na cidade de Porto Alegre, sendo essa a principal matéria-prima. A quantidade de RCD processados para a produção de blocos não estruturais é de 238.961 kg no primeiro

**Tabela 6 - Custo energia, água e áreas comuns.**

|                                   |                                  |                           |                     |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Custos de água e energia elétrica | Tarifa da água                   | R\$/m <sup>3</sup>        | 5,60                |
|                                   | Custo mensal de água             | R\$/mês                   | 2.341,79            |
|                                   | Tarifa de energia elétrica       | R\$/kWh                   | 0,40                |
|                                   | Custo mensal de energia elétrica | R\$/mês                   | 9.008,52            |
| Custos indiretos                  | Telefone                         | R\$/mês                   | 162,00              |
|                                   | Vigilância                       | R\$/mês                   | 5.519,00            |
|                                   | Material de consumo              | R\$/mês                   | 411,00              |
| Área construída                   | Área construída para oficinas    | m <sup>2</sup>            | 100,00              |
|                                   | Valor de CUB<br>Valor total      | R\$/m <sup>2</sup><br>R\$ | 830,00<br>83.000,00 |

CUB: custo unitário básico da construção civil.  
Fonte: Jadovski (2005)

**Tabela 5 - Custo de manutenção do transporte, custo de mão-de-obra estimado.**

| Equipe           | Item             | Custo           | Durabilidade | Custo mensal (R\$) |
|------------------|------------------|-----------------|--------------|--------------------|
| Pá-carregadeira  | Peças            | R\$ 2,76/h      | 7.000 h      | 534,34             |
|                  | Mão-de-obra      | R\$ 2,98/h      |              | 576,93             |
|                  | Pneus            | R\$ 3.200,00/pç |              | 354,01             |
|                  | Lubrificação     | R\$ 100,00/mês  |              | 100,00             |
|                  | Total            |                 |              | 1.565,28           |
| Retroescavadeira | Peças            | R\$ 3,04/h      | 5.000 h      | 588,54             |
|                  | Mão-de-obra      | R\$ 2,63/h      |              | 509,17             |
|                  | Pneus dianteiros | R\$ 800,00/pç   |              | 195,15             |
|                  | Pneus traseiros  | R\$ 1.800,99/pç |              | 100,00             |
|                  | Lubrificação     | R\$ 100,00/mês  |              | 100,00             |
| Total            |                  | 1.392,86        |              |                    |
| Caminhão         | Peças            | R\$ 0,007/km    | 50.000 km    | 44,04              |
|                  | Mão de obra      | R\$ 0,042/h     |              | 75,00              |
|                  | Pneus            | R\$ 1.276,00/pç |              | 275,62             |
|                  | Lubrificação     | R\$ 100,00/mês  |              | 100,00             |
|                  | Total            |                 |              | 494,66             |

pç: peça.  
Fonte: Jadovski (2005)

mês, da mesma forma, na simulação é trabalhada com uma população inicial de 1.409.351 habitantes para o ano 2010. Conseguiu-se analisar com o modelo de Stella um período de dez anos, visando o comportamento de todas as variáveis que influem no processo (ABRELPE, 2010).

A Tabela 7 mostra uma previsão da quantidade de material mensal necessária para a produção dos 87.892 blocos para o mês 12 individualmente, segundo o traço adotado, adotando-se como peso do bloco o valor de 11,8 kg. Assim, o modelo dinâmico de sistemas nos ajuda a visualizar o processo produtivo e os dados de quantidades de materiais, na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição RCD, oferecendo uma perspectiva de produção ao longo do tempo.

Na Figura 7 são apresentados os resultados da produção real. A produção real de blocos de concreto não estrutural é de 87.892 blocos de concretos não estruturais para o mês 12 (valor mensal, não cumulativo). Nesse sentido, o comportamento da comercialização da produção esteve de acordo com a capacidade de produção, sem causar ociosidade e nem superar a capacidade instalada da máquina, sendo essa de 3.800 blocos por dia. Se houver aumento da quantidade de material reciclável há que se levar em conta o aumento das quantidades de vibro-prensas.

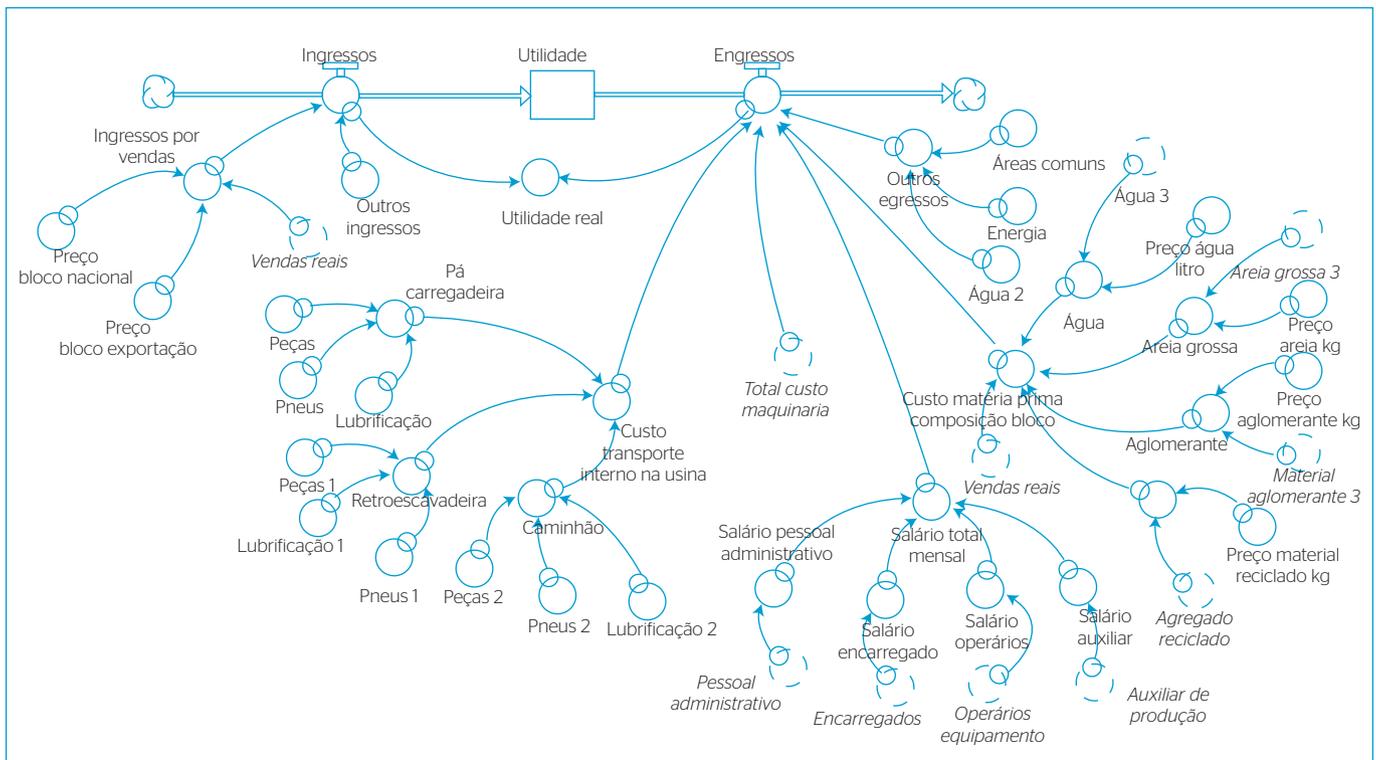
Com relação à comercialização da produção, na Figura 8, a simulação indica o comportamento das vendas reais em função da demanda ao longo do tempo.

Seguindo a política de inventários, a empresa maneja um estoque de segurança dos seus inventários, que aumenta e diminui durante o processo de produção, isso sujeito à demanda e à capacidade instalada da empresa, tendo um inventário para o mês 12 de 3.111 blocos de concreto não estrutural, como mostra a Figura 9, mantendo a capacidade de suprir as necessidades dos clientes e não tendo dificuldade com algum pedido no futuro.

Contemplando um preço de R\$ 1,27 por bloco não estrutural, é possível demonstrar que a fábrica produz e vende o suficiente para obter uma lucratividade real de R\$ 14.502,00 ao final do 12º mês, como mostra a Figura 10. Vale lembrar que o preço de comercialização do bloco com propriedades similares é de R\$ 1,69 por unidade. Dessa forma, a empresa teria como atrativo a venda de seus blocos com valor cerca de 25% abaixo do preço de mercado. Na Tabela 8 é possível se observar que, para a empresa obter lucratividade mínima, o preço mínimo de venda do bloco é de R\$ 1,10.

**Tabela 7 - Quantidade de material necessário no mês 12.**

|                       | Traço | 1 : 4,52 : 1,98 : 0,9 |            |          |
|-----------------------|-------|-----------------------|------------|----------|
|                       |       | Mês 12                | kg/unidade | kg total |
| Cimento (aglomerante) | kg    |                       | 1,6        | 138.284  |
| Areia                 | kg    |                       | 7,1        | 625.044  |
| Agregado reciclado    | kg    |                       | 3,1        | 273.803  |



**Figura 6 - Nível de resultado econômico.**

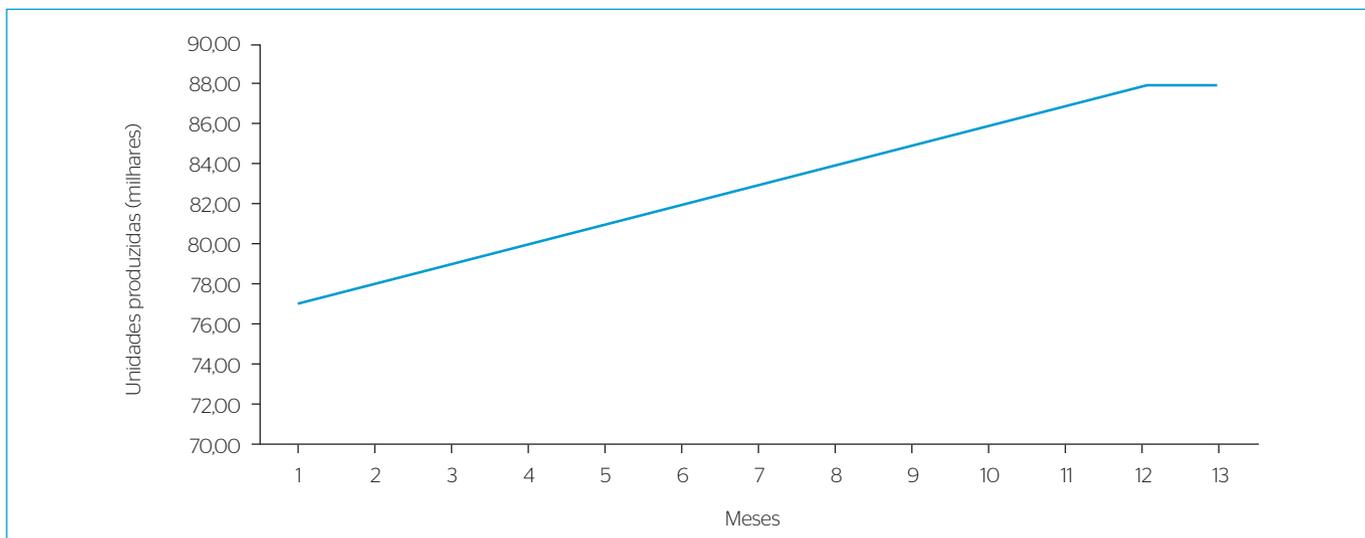


Figura 7 - Produção real.

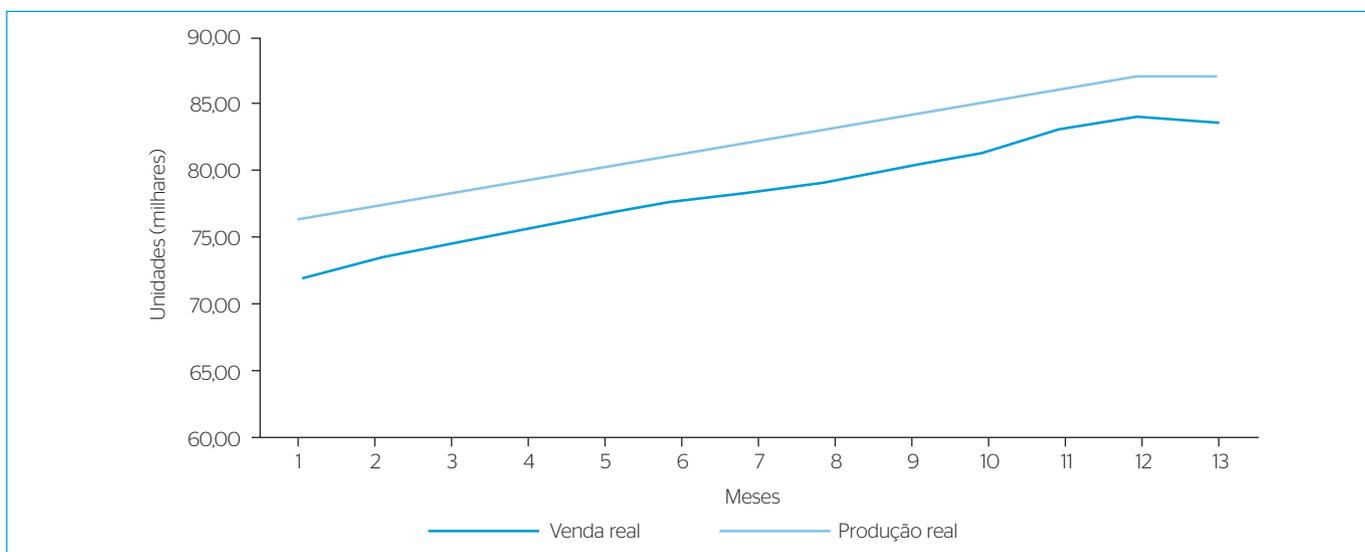


Figura 8 - Venda real.

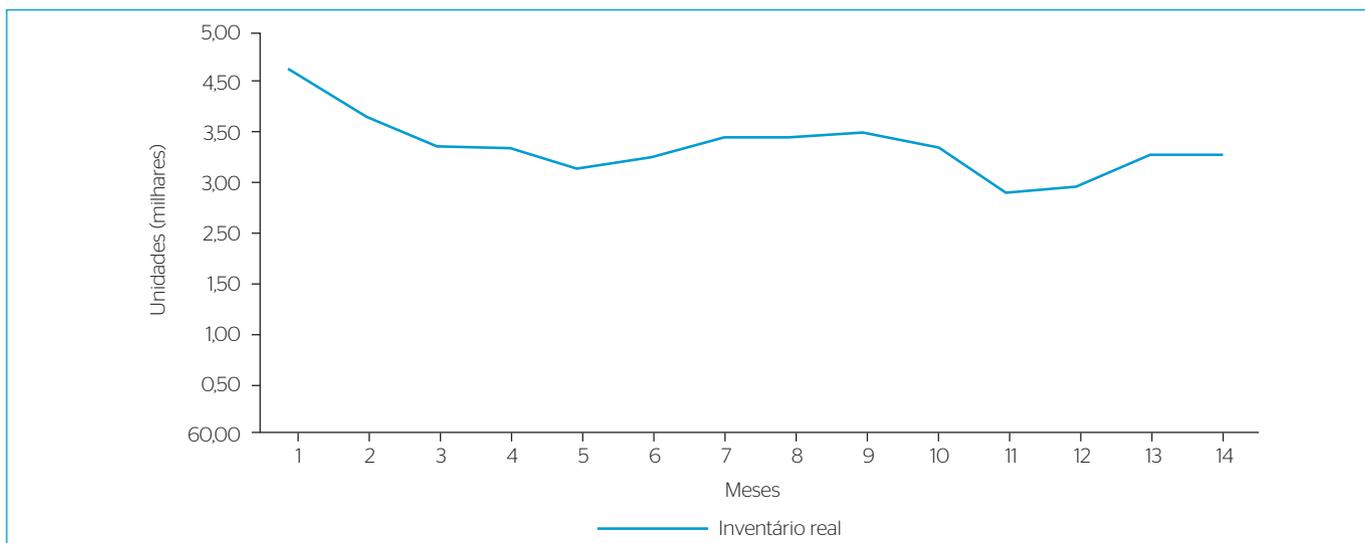


Figura 9 - Inventário real.

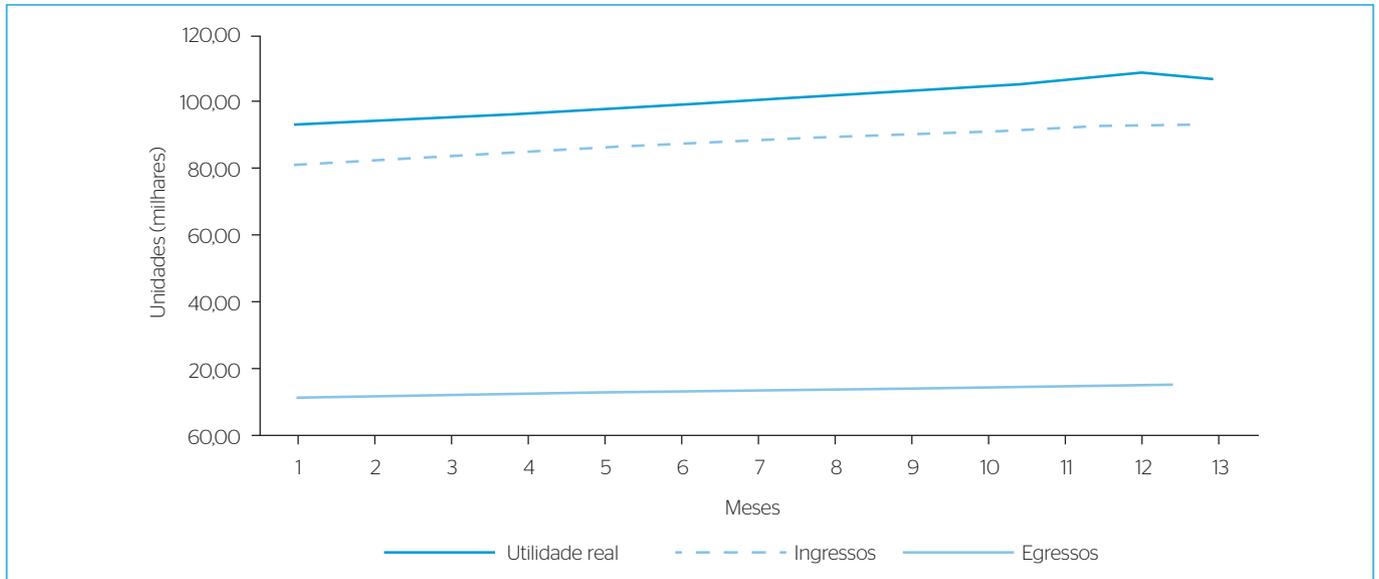


Figura 10 - Utilidade real.

## CONCLUSÕES

Conclui-se, pela simulação efetuada, que a reciclagem de resíduos da construção civil através de sua utilização na fabricação de blocos não estruturais, além dos benefícios ambientais pela reciclagem dos resíduos, gera uma alternativa social e econômica viável, por gerar emprego, venda e lucratividade. De fato, na simulação podemos observar que é possível proporcionar ao cliente um benefício econômico e sustentável.

O modelo dinâmico de sistemas para o tratamento de resíduos da construção utilizando o programa Stella pode ser uma alternativa viável para estudos de caso, como ilustrado para a cidade de Porto Alegre, o qual ajuda a ter uma visão do comportamento das variáveis mais importantes no processo de elaboração dos blocos de concretos não estruturais. Conseguiu-se demonstrar que o tratamento dos RCD pode ser uma boa alternativa socioambiental. Os blocos de concretos não estruturais se mostram uma ótima alternativa de utilização de agregados reciclados por ter desempenhos satisfatórios, tanto em relação às características de resistência à compressão, durabilidade e trabalhabilidade, como já demonstrado em trabalhos anteriores por

Tabela 8 - Valor do lucro com variação dos preços dos blocos (valor máximo e mínimo - R\$).

| Preço do bloco R\$ | Mês | Utilidade real | Ingressos  | Egressos  |
|--------------------|-----|----------------|------------|-----------|
| 1,27               | 12  | 14.501,66      | 106.556,21 | 92.054,55 |
| 1,11               | 12  | 1.077,26       | 93.131,80  | 92.054,55 |
| 1,10               | 12  | 238,23         | 92.292,78  | 92.054,55 |
| 1,00               | 12  | -8.152,02      | 83.902,53  | 92.054,55 |

outros autores, quanto em relação à viabilidade econômica, apresentada neste trabalho.

Aferiu-se também que a produção de blocos com agregados reciclados tem um nível considerável de utilidade, contribuindo na diminuição dos resíduos gerados no município de Porto Alegre, além de gerar benefícios econômicos à gestão ambiental municipal e contribuir ao ótimo uso sustentável dos resíduos.

Deste modo, o presente estudo de caso fornece uma alternativa para um sistema racional e eficaz de gestão de uma parcela dos resíduos gerados em Porto Alegre, podendo constituir uma alternativa para a adequada destinação do RCD.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997) *NBR 12118*: MB - 3459 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - determinação da absorção. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2006) *NBR 6136*: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT. 13 p.

- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. (2010) Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. p. 103. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>>. Acesso em: 13 ago 2015.
- AMVA-325-IN-PR. (2006) Formulación de plan de gestión integral de residuos sólidos regional del Valle de Aburrá - PGIRSR. Colombia: Universidad de Antioquia/Asociación de Ingenieros Sanitarios y Ambientales. Disponível em: <<http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/PGIRS/Cap.%20VI%20Proyecciones.pdf>>. Acesso em: 13 ago 2015.
- ÂNGULO, S.C. (2000) *Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AVILA, S.L. (2011) Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas. In: *9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*. Bogotá, Colombia.
- BRASIL (2011). Plano Nacional Resíduos Sólidos. Versão Preliminar para Consulta Pública. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. (2001) A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física*, v. 18, n. 2, p. 214-228.
- CERVANTES, A.S.; Carrara X.C.; Simoes N. (2007). *Manual práctico de Stella, software de modelación dinámica*. Disponível em: <<http://es.slideshare.net/lonelyheart/manual-ithink>>. Acesso em: 13 ago 2015.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2002) *Resolução nº 307*, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: Diário Oficial da União; 2002.
- DANNY, W.I. (2011) Modelo Sistemico para el Manejo de Residuos Sólidos en Instituciones Educativas en Colombia. In: *9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*. Bogotá, Colombia.
- DUQUE, (2006) *Minimização de impactos ambientais com a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados na fabricação de blocos de concreto*. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade de Taubaté, Taubaté.
- DYSON, B. & Chang N.B. (2005) Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, v. 25, n. 7, p. 669-679.
- EPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (1998) *Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States*. Prairie Village: Franklin Associates. Disponível em: <http://www.epa.gov/osw/hazard/generation/sqg/cd-rpt.pdf>. Acesso em: 13 ago 2015.
- EPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2003) *Estimating 2003: building-related construction and demolition materials amounts*. Prairie Village: Franklin Associates. Disponível em: <http://www.epa.gov/osw/conserv/imr/cdm/pubs/cd-meas.pdf>. Acesso em 13 ago 2015.
- FORRESTER, J.W. (2011). Research: pioneers and innovators. In: ASSAD A.A. & GASS S.I. (eds.). *Profiles in Operations Research*. New York: Springer. p. 363-386.
- FRANÇA, E.A.; QUEIROZ E.G.; RABUSKE F.B.; SOUZA L.V.L.; COSTA J.S. (2013) Blocos de concreto produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição - RCD: processo de produção. In: *Jornada de Pesquisa e Extensão 2013*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Mato Grosso, Campus Cuiabá.
- FREIRE DE PAULA, P.R. (2010). *Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Católica de Pernambuco, Recife.
- HOLDERBAUM, M. (2009). *Gestão de resíduos da construção civil: análise da cidade de Porto Alegre*. Trabalho de Diplomação (Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2010) *Censo Demográfico 2010*. População residente, total e respectiva distribuição percentual, por situação do domicílio e sexo, e razão de sexo, segundo as Unidades da Federação e os municípios das capitais. Tabela de resultados.
- JADOVSKI, I. (2005). *Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição*. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MAXIMILIANO, C. (2012). Modelo de disposición final de residuos sólidos urbanos para el área metropolitana de Buenos Aires. In: *Encuentro dinámica de sistemas*. Facultad de Ingeniería.
- MENEGOTTI MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. (2012). *MBP-6 HSC*. Tabela de dados básicos. Disponível em: <<http://www.menegotti.net/>>. Acesso em: 13 ago 2015.
- MIRANDA, L.F.R. & SELMO, S.M.S. (2003). *Construction and demolition waste variability and its influence on masonry and plastering mortars properties*. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/237559296>>. Acesso em: 13 ago 2015.
- PINTO, T.P. & GONZALES, J.L.R. (Coord.) (2005) *Manejo e gestão de resíduos da construção civil*. Brasília: Caixa.
- RODRIGUES, E. (2010) *Agregados*. Cap.1. Livro para a SBEA. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT1603201025102.pdf>>. Acesso em: 15 ago 2015.
- VALLE, C.E. (2004) *Qualidade Ambiental Iso 14000*. 5 ed. São Paulo: Editora Senac.
- VÁSQUEZ, E. (2001) Aplicación de nuevos materiales reciclados en la construcción civil. In: *Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil... 4 Anais...* São Paulo: IBRACON.
- VIEIRA, G.L. & DAL MOLIN, D.C.C. (2004) Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. *Ambiente Construído*, v. 4, n. 4, p. 47-63.
- MAO, X. & DAI, H. (2012). Finite element model updating with positive definiteness and no spill-over. *Mechanical Systems and Signal Processing*, v. 28, p. 387-398.