



Uso de Modelagem e Simulação no Beneficiamento de Materiais Recicláveis

Lucas Faria Reis

Universidade Federal de Itajubá
lfariareis@gmail.com

Bruno Aló Martins

Universidade Federal de Itajubá
xfaulz@hotmail.com

Josiane Palma Lima

Universidade Federal de Itajubá
jplima@unifei.edu.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o processo de beneficiamento de Resíduos Sólidos Urbanos Recicláveis realizado pela Associação de Catadores de Materiais Recicláveis, no que tange a padronização das atividades e a instalação utilizada para a realização destas atividades. O trabalho aborda as etapas de um projeto de simulação e a importância da adequação dos procedimentos de coleta de dados para a realidade de uma associação de catadores. O mapeamento de processo foi utilizado como apoio para elaboração do modelo conceitual por meio da técnica IDEF-SIM. Utilizou-se também recursos audiovisuais na coleta de dados e do software Promodel 7.5 para a modelagem computacional. Depois de vários cenários simulados, o cenário D, com mais 6 funcionários e mais duas prensas foi o que apresentou o melhor resultado, comprovando que o processo de prensagem e enfardamento é o mais crítico do sistema.

Palavras-chave: Simulação, Modelagem, Materiais Recicláveis.

Área principal: SIM - Simulação

ABSTRACT

This study aims to evaluate the processing Urban Solid Waste recyclable conducted by association of recyclable materials collectors, regarding the standardization of activities and equipment. The work covers the steps of a simulation project and the importance of the adequacy of procedures for data collection for the reality of a trash gatherers association. The mapping process was used as support for development of the conceptual model through IDEF-SIM technique. We also used visual aids to capture the data input and subsequent implementation of the computational model by Promodel 7.5 software. Through the use of modeling and simulation was possible to evaluate the productivity and identify the bottleneck activities, proposing improvements to the Association.

KEYWORDS: Simulation, Modeling, Recyclable Materials

Main Area: SIM - Simulation

1 Introdução

Aumentar a eficiência dos processos relacionados com o tratamento de RSU, desde a coleta até a reciclagem, reduzindo custos de modo que viabilize a universalização da coleta seletiva, é uma questão estratégica para se manter a reciclagem como a principal alternativa para a destinação final dos resíduos sólidos a longo prazo. Em face desta dificuldade, devido à falta de uma melhor utilização dos recursos necessários no desenvolvimento das atividades, o uso de simulação computacional pode ser uma alternativa ao auxílio à tomada de decisão para solução dos problemas nestes sistemas produtivos.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) englobam os resíduos provenientes de atividades domésticas em residências e os resíduos da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, além de outros serviços de limpeza urbana. Esses resíduos sofreram alterações ao longo do tempo, contudo sua gestão não acompanhou a evolução das tecnologias de produção (STRAUCH, 2008), evidenciando a importância de se desenvolver maneiras e meios de coletar e processar esses resíduos de modo eficiente e eficaz.

Nesse contexto, a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Itajubá (ACIMAR) realiza o trabalho de coleta, processamento e venda de RSU recicláveis (em forma de fardos), oriundos de empresas de Itajubá e região, bem como lixos domésticos coletados nas ruas da cidade, tentando se encaixar nesse novo contexto de evoluções tecnológicas de produção. Porém, o processo de produção da associação se caracteriza por uma total ausência de padronização e rotinas pré-estabelecidas, tendo uma baixa eficiência na produção do produto acabado (fardo).

Portanto, este trabalho tem por objetivo avaliar o processo de beneficiamento de RSU recicláveis realizado pela ACIMAR, no que tange a padronização das atividades e a instalação utilizada para a realização destas atividades. O trabalho aborda as etapas de um projeto de simulação e a importância da adequação dos procedimentos de coleta de dados para a realidade de uma associação de catadores. Por meio do uso da modelagem e simulação foi possível avaliar a produtividade e a identificação das atividades gargalo, propondo melhorias para a Associação.

2 O processo produtivo de materiais recicláveis

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizada pelo IBGE em 2008, observa-se que os vazadouros a céu aberto (Lixões), constituíram o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros. A PNSB (2008) identificou ainda, que 26,8% das entidades municipais que faziam o manejo dos resíduos sólidos em suas cidades sabiam da presença de catadores nas unidades de disposição final desses resíduos. Tal atividade é exercida, basicamente, por pessoas de um segmento social marginalizado pelo mercado de trabalho formal, que têm na coleta de materiais recolhidos nos vazadouros ou aterros uma fonte de renda que lhes garante a sobrevivência. Portanto, apesar dos esforços administrativos locais atuais de melhorias no setor de coleta seletiva, o catador de materiais recicláveis ainda é uma classe profissional pouco reconhecida em países em desenvolvimento, como o Brasil. Estima-se que o número de catadores de materiais recicláveis seja de aproximadamente 500.000 (quinhentos mil) estando 2/3 somente no estado de São Paulo e de acordo com os dados do Movimento Nacional dos Catadores de Material Reciclável – MNCR (2007), os catadores de materiais recicláveis estão presentes em 3.800 municípios brasileiros. São compreendidos como pessoas que vivem e trabalham, individual e coletivamente, na atividade de coleta, triagem e comercialização de materiais recicláveis.

Para Carmo (2005), os catadores desconhecem completamente os aspectos que envolvem a logística do processo de reciclagem, desconhecimento muitas vezes atribuído ao baixo nível de escolaridade. Já Leal *et al.* (2002) ponderam que o catador de material reciclável participa como elemento base de um processo produtivo lucrativo, porém, paradoxalmente, trabalha em condições precárias e não obtém ganho que lhe assegure uma sobrevivência digna.

De um modo geral, os processos relacionados ao tratamento dos RSU abrangem as etapas de coleta, beneficiamento, que seria o tratamento adequado ao material coletado e, disposição final

na qual os resíduos sólidos que passam pelo processo de reciclagem ou compostagem, são transformados em matéria-prima e retornam à cadeia produtiva.

Portanto, são vários os processos envolvidos desde a geração dos resíduos sólidos até seu destino final. Já para as associações de catadores, a maior importância é dada aos processos de beneficiamento dos RSU, pois são os que fazem parte da estrutura de produção na organização. Dentro dessa cadeia, depois da coleta os materiais são transportados para uma unidade de triagem, onde é feita uma separação mais criteriosa dos materiais visando a sua comercialização. As unidades de triagem devem possuir prensas para que os materiais recicláveis como papel, papelão, alumínio e plástico, possam ser enfardados para facilitar a estocagem, transporte e comercialização. Assim, para alcançar o sucesso do empreendimento, uma organização deve gerir seus processos de forma organizada, utilizar técnicas para observar os gargalos existentes e buscar a melhoria da produtividade com análises frequentes sobre a existência de atividades que não agregam valor e que poderiam ser eliminadas, simplificadas ou combinadas (LOBATO e LIMA, 2010).

De acordo com Parreira *et al.*, 2009, o gargalo pode estar situado em qualquer elo da cadeia produtiva e ser consequência de causas materiais, como baixa qualidade dos insumos de produção e capacidade de equipamentos, de causas organizacionais, tal como estrutura organizacional, formas de organização do trabalho, ou ainda de procedimentos adotados ou motivacionais, como, por exemplo, salários e esforço despendido.

3 Modelagem e Simulação

Um projeto de simulação vai muito além da programação computacional de um modelo. Ele permite entender aspectos importantes do processo real, interpretados por meio de um modelo conceitual que é utilizado para a construção do modelo computacional, esse por sua vez permitindo geração de novos cenários de melhorias no sistema e posterior tomada de decisão na implementação das melhorias. Banks *et al.* (2005) afirmam que o maior benefício da utilização da simulação é a possibilidade de obter uma visão geral (macro) do efeito de uma pequena mudança (micro) no sistema. A Figura 1 apresenta uma proposta de Chwif e Medina (2006) para as etapas de um projeto de simulação.

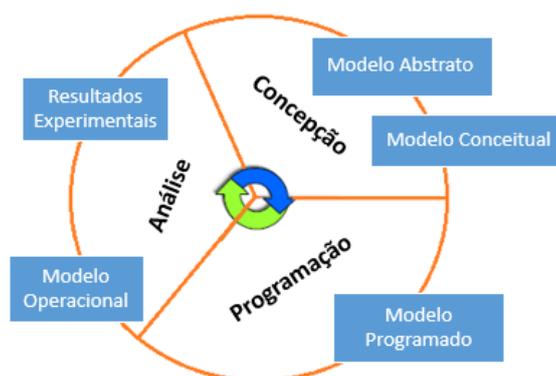


Figura 1 - Sequência de passos para o projeto de simulação
 Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2006)

Ainda, Montevechi *et al.* (2007) afirma que para se trabalhar com simulação é necessário passar por três grandes etapas: *Concepção*, *Implementação* e *Análise*. Na etapa de concepção, o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado e os seus objetivos, através da discussão do problema com especialistas. O modelo que está na mente do analista (modelo abstrato) deve ser representado de acordo com alguma técnica de representação de modelo de simulação, a fim de torná-lo um modelo conceitual, de modo que outras pessoas possam entendê-lo. A técnica de modelagem conceitual utilizada neste trabalho é o IDEF-SIM (*Integrated Definition methods-Simulation*) proposto por Leal *et al.* (2008).

Os dados de entrada também devem ser coletados nesta fase. A etapa da coleta de dados é um dos aspectos mais difíceis de uma simulação, pois é preciso conseguir dados de entrada com qualidade suficiente, quantidade e variedade para obter uma análise razoável e confiável. O tratamento consiste em utilizar técnicas para identificar as possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar o conhecimento a cerca do fenômeno, tendo como resultado um modelo probabilístico que representará o fenômeno aleatório em estudo e este será incorporado ao modelo de simulação (PINHO *et al.*, 2009). Para Pereira e Chwif (2010) a dedicação desta parcela de tempo na elaboração do modelo conceitual se faz necessária, pois a inexistência de um modelo conceitual, ou a utilização de um modelo mal elaborado, provavelmente levará a um modelo computacional que poderá exigir muito retrabalho ou que não seja capaz de atender aos objetivos da simulação.

Na etapa da modelagem computacional deve-se também ter o cuidado de não elaborar modelos muito complexos, mas que atendam ao objetivo inicial do projeto de simulação. Na terceira etapa, após a verificação e validação do modelo computacional, este está pronto para a realização dos experimentos, dando origem ao modelo experimental, ou o chamado modelo operacional (CHWIF, 1999).

De todas as etapas envolvidas em um projeto de simulação, a modelagem conceitual é muitas vezes a que recebe menor atenção, e conseqüentemente, pode não representar de forma eficaz o sistema real. Wang e Brooks (2007) afirmam que a fase de modelagem conceitual toma maior parte do tempo em projetos de simulação que são realizados por pessoas especialistas. Essa porcentagem cai drasticamente quando tal projeto é realizado por iniciantes na área.

4 Modelagem do Processo de Seleção de Materiais Recicláveis: O Caso da ACIMAR

A cidade de Itajubá, está situada na região sul do estado de Minas Gerais, a 418 Km da capital do estado, considerada uma típica cidade média brasileira, com aproximadamente 100.000 habitantes e densidade populacional de 402,7 hab/km². No município a ACIMAR, Associação dos Catadores Itajubenses de Material Reciclável, é uma das responsáveis pela coleta seletiva e conta com o apoio da secretaria de meio ambiente da cidade (OLIVEIRA, LIMA e LIMA, 2009). A associação possui atualmente em torno de 25 catadores associados, sendo que as atividades da ACIMAR trazem benefício direto a cerca de 100 pessoas (catadores e seus familiares) e benefício indireto a cerca de 25.000 pessoas (número de habitantes dos bairros onde é feita a coleta seletiva). A associação recebe assessoria e auxílio da Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares (INTECOOP), vinculada à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), e da Prefeitura Municipal. Esta última fornece um galpão para a realização das atividades da associação, equipamentos (prensa, empilhadeira, telefone etc.) e um funcionário técnico-administrativo. A Associação conta com um caminhão carroceria de madeira, adaptado com gaiola, com capacidade de 12 m³. No galpão é feita a armazenagem do material, a triagem, a prensagem, a pesagem e as atividades administrativas (OLIVEIRA, LIMA e LIMA, 2009).

Além da coleta de material nas ruas da cidade, a ACIMAR conta com doações de materiais de empresas da região. Entre os materiais recebidos, papelão e plástico são os que são doados em maiores quantidades, sendo ainda, que o primeiro representa 80% do total das doações. O lucro proveniente dos materiais recebidos de doações é dividido entre todos os associados. Importante entender que são dois tipos de associados, classificados como os internos e os externos, sendo os externos aqueles que fazem também a coleta e os internos só trabalham dentro do galpão. Foi um meio que a associação encontrou para trabalhar com os materiais que chegam das doações e aqueles que vêm da coleta seletiva de rua.

Este trabalho segue as etapas de um projeto de simulação proposto por Montevechi *et al.* (2007).

4.1 Etapa de concepção

Primeiramente, na etapa de modelagem conceitual a fim de se entender o modo de funcionamento das diversas atividades realizadas, o fluxo de materiais e pessoas dentro do galpão da ACIMAR, elaborou-se o mapa de processo apresentado na Figura 2. O mapa de processo foi

desenvolvido para caracterização e avaliação do processo de seleção de RSU com dados coletados em 2013.

Trabalhos anteriores (LOBATO e LIMA, 2010) mostraram que com relação ao volume coletado, os materiais plásticos possuem maior representatividade e são compostos por PET verde, PET transparente, PET óleo, Tetra park, PEAD branco, PEAD colorido e plásticos em geral, ocupando um grande espaço nas instalações da ACIMAR. Porém, quando se considera a quantidade de fardos produzidos, é expressiva a participação do papelão, se comparado aos plásticos e papéis, como principal material manuseado e trabalhado dentro da associação.

Nos últimos três anos a ACIMAR passou por algumas modificações, tanto de instalações físicas quanto no modo como as atividades são realizadas e processadas. Inicialmente, fez-se o mapeamento, indo ao novo galpão da ACIMAR conferindo a organização operacional e funcional das prensas, dos fluxos e disposições de materiais a serem reciclados e os já reciclados. O mapa contém sete fluxos de atividades caracterizados pelas atividades desempenhadas e necessárias para cada tipo de material. Os materiais representados no mapa foram classificados em: Papelão (PP); Materiais eletrônicos (ME); Vidros (V) e Latas (L); Plásticos (MP); Metais (M) e Papel branco (PB).

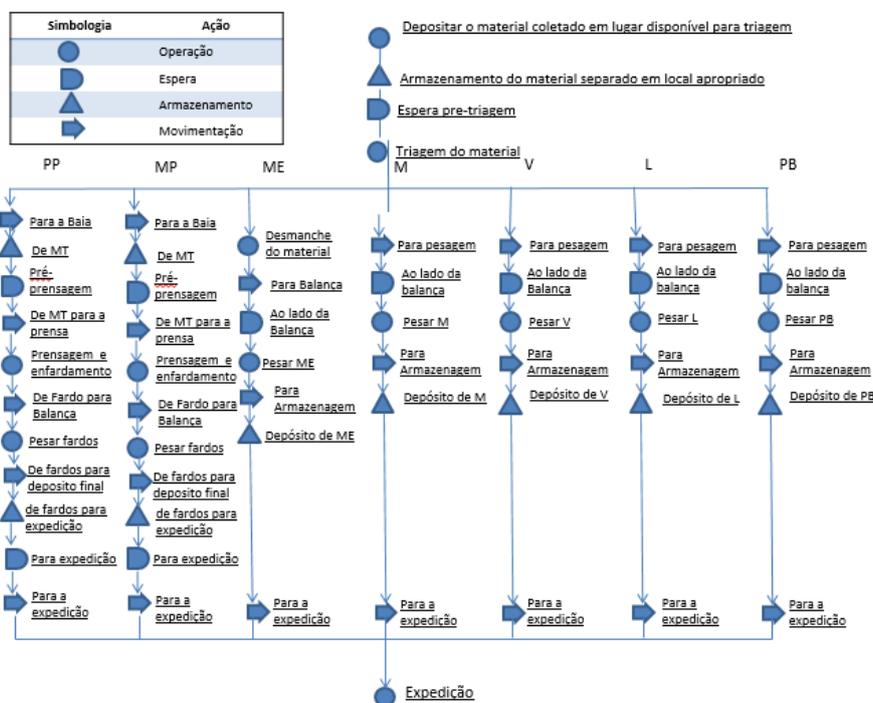


Figura 2 – Atividades relacionadas a seleção de RSU

Primeiramente, ocorre o depósito do material coletado, oriundo da rua, seguindo para o armazenamento do mesmo e espera para a triagem (MT – Material de Triagem). Após a triagem, ocorre o transporte para as baias e o respectivo armazenamento. Depois um período de espera, ocorre o transporte do material triado para a prensa. Prensase e enfarda-se o material. Transporta-se o fardo para a balança, a fim de ratificar seu peso final. Após a pesagem, o mesmo é transportado para o depósito final onde é armazenado, aguardando o momento para ser despachado. No momento oportuno, o fardo é transportado até a área de expedição, onde ocorre o abastecimento do caminhão, a fim de levar os fardos ao comprador final de fardos.

Após a compreensão completa do fluxo de atividades, pessoas e processos realizados dentro do galpão, elaborou-se o modelo conceitual do sistema a ser simulado, mostrado na Figura 3, utilizando a técnica IDEF-SIM. A aplicação do IDEF-SIM se fez necessário, pois esta técnica apresenta um grande enfoque na lógica utilizada em modelos de simulação.

As primeiras observações e medições na ACIMAR ocorreram por meio da medição de alguns tempos necessários para a execução de cada tarefa, utilizando um cronômetro. Este levantamento confirmou a necessidade de técnicas apropriadas para a coleta de dados, pois se verificou a falta de padronização na realização das operações, com atividades que eram interrompidas e voltavam a ser realizadas depois de algum tempo, dificultando as medições de tempo e distâncias.

Portanto, procurou-se novas alternativas para a coleta dos dados. Assim, com a permissão de uma empresa localizada em frente à ACIMAR, posicionou-se uma câmera de filmagem (Sony HandyCam HDR-XR100), em seu segundo andar, para a filmagem das atividades realizadas no galpão da associação. Realizou-se a filmagem por cerca de duas semanas, obtendo-se cerca de 60GB de dados e de aproximadamente 55 horas de gravação.

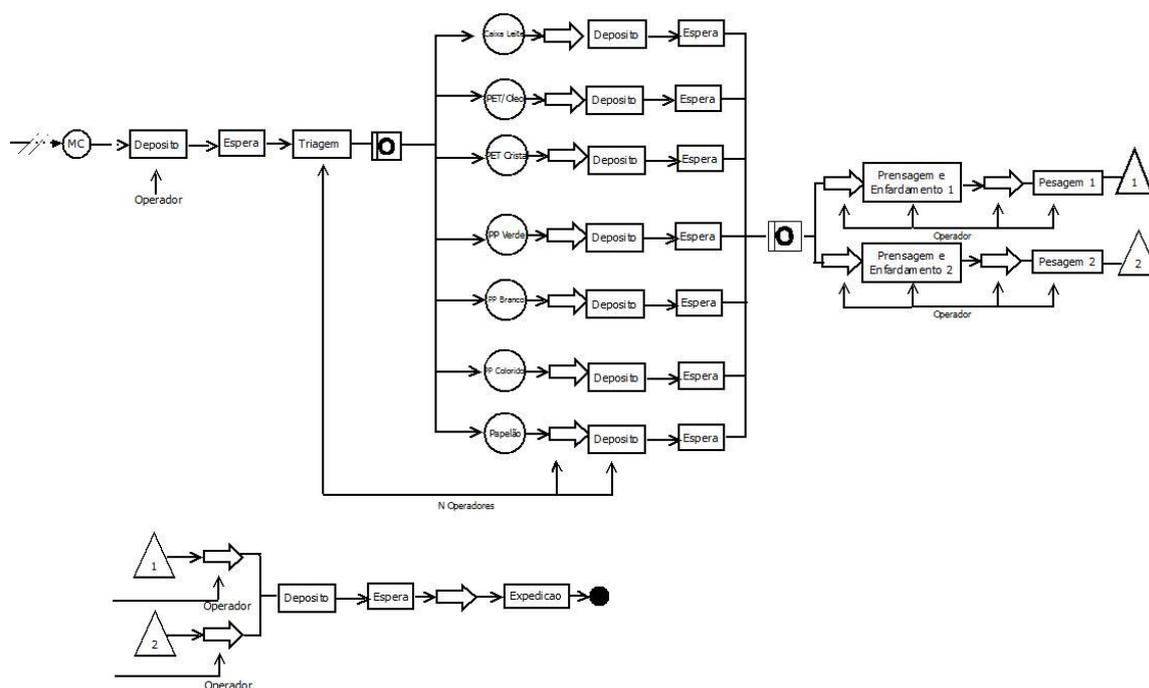


Figura 3 – Modelo Conceitual em IDEF-SIM

O uso do recurso da filmagem para a obtenção dos dados de entrada do modelo se fez necessário pela dificuldade em se visualizar o fluxo do processo. Para Pinheiro *et al.* (2005), a filmagem capta muito mais que somente os dados da pessoa ou do fenômeno que se estuda, mas também registra com exatidão as condições em que o fenômeno acontece. Outra vantagem destacada pelos autores é que a linguagem não verbal pode ser captada de forma precisa, além de diminuir drasticamente a subjetividade do analista na coleta de dados.

Apesar de cada material possuir peculiaridades em relação à quantidade necessária em quilos para a obtenção de um fardo e ao tempo gasto com as diversas atividades, tomou-se como suposição que, na média, todos os materiais levam o mesmo tempo para processamento dentro das diversas atividades desenvolvidas, o que se mostrou plausível com a obtenção dos tempos de processamento. O tempo de processamento foi dividido em tempo de triagem, tempo de prensagem e enfardamento e tempo de pesagem.

Na coleta do tempo de triagem, definiu-se como medida para o estudo, o tempo gasto com a separação de materiais, sejam eles de quaisquer espécies ou fonte. Tem-se seu início quando um ou mais funcionários começam o processo de separação e tem-se seu término quando não há mais nenhuma atividade de separação realizada dentro dos 5 minutos subsequentes. Na coleta do tempo de prensagem e enfardamento, tomou-se como medida o tempo gasto no processo de prensagem do material e posterior enfardamento do mesmo. Tem-se seu início dado quando o operador começa a carregar a prensa com materiais e o término quando o operador abre a porta

frontal da prensa e retira o fardo. Passa-se então a medição do tempo de pesagem, com início no momento em que o operador posiciona o fardo em cima da balança e término quando o operador, após anotar o peso em um caderno, retira o fardo da balança. Finalmente tem-se o fardo pesado, já processado e pronto para expedição. Analisando os tempos em minutos, obtidos com a filmagem, através do software *StatFit*, chegou-se as distribuições apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuições apontadas no StatFit

Tempo	Distribuição
Triagem	Lognormal (6., 2.79, 1.72)
Prensagem/enfardamento	Exponencial (23.,41.2)
Pesagem	Exponencial (1.,1.04)

Através da experiência e do depoimento dos funcionários, obteve-se a relação de unidades de cada entidade considerada. Na elaboração do modelo computacional, levou-se em conta o peso e a quantidade média, em unidades, de material necessário para a fabricação de um fardo.

4.2 Etapa de implementação

A partir do modelo conceitual elaborado, construiu-se o modelo computacional através do software de simulação Promodel, cuja estrutura gráfica está representada na Figura 4.

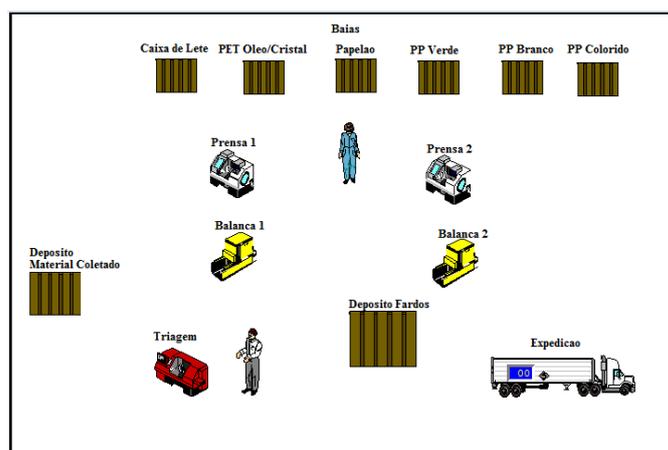


Figura 4 – Estrutura gráfica do modelo computacional

Para que a construção do modelo computacional fosse viável, foram feitas as seguintes suposições:

- Os materiais processáveis são: Caixa de leite, PET/Óleo, PET Cristal, PP Verde, PP Branco, PP Colorido e Papelão.
- A qualquer momento pode-se chegar qualquer tipo de material dentre os processáveis.
- Em todas as fases - triagem, pesagem, prensagem e enfardamento - foram considerados os tempos médios de cada uma e são iguais em cada fase para todos os materiais plásticos e Papelão.
- A triagem de materiais é realizada utilizando a probabilidade média da entrada dos mesmos no galpão (Caixa de leite 20%, PET Óleo/Cristal 10%, PP Verde 10%, PP Branco 10%, PP Colorido 10% e Papelão 40%) e o tempo de processamento é realizado para a separação de 10.000 itens diversos.
- Há funcionários dedicados ao processo de triagem e ao processo de prensagem/enfardamento.

Dada a carência de dados precisos da saída e do controle da produção de fardos, assim como a falta de padronização e sequenciamento do sistema produtivo, foi inviável a realização da validação do modelo de maneira comparativa aos *outputs* do sistema real.

Portanto, optou-se por realizar a validação do modelo computacional pelo modo face a face. A Validação face-a-face, segundo alguns autores (CHWIF e MEDINA, 2006; KLEIJNEN, 1995; SARGENT, 2004) é a discussão com especialistas, objetivando alcançar o aval para o uso do modelo. Nesta técnica de validação, pode-se utilizar a animação gráfica do software, como forma de apresentação do modelo aos especialistas. A validação foi realizada com o presidente da Associação.

Para a análise de resultados utilizou-se o tempo de 1 mês de funcionamento, trabalhando-se de segunda a sexta-feira, das 7h às 17h. Além disso, levou-se em conta que cada funcionário tinha uma hora de folga para almoço.

4.3 Etapa de análise

Considerou-se, além do estado atual, 3 novos cenários a serem simulados:

- *Cenário A*: Cenário real, onde o modelo segue a risca o modelo conceitual, o qual conta com duas prensas, 8 funcionários e nenhuma esteira.
- *Cenário B*: Conta com o setup do cenário base, ou seja, duas prensas, 8 funcionários e nenhuma esteira, mais a adição de 6 funcionários, ou seja, os funcionários externos, que muitas vezes ficam com tempo ocioso depois que retornam da coleta seriam alocados nas atividades de triagem, prensagem e enfardamento.
- *Cenário C*: Conta com o setup do cenário base mais o incremento de duas prensas, sendo que atividade de prensagem é o gargalo no cenário atual.
- *Cenário D*: Conta com mais 6 funcionários (quantidade de funcionários externos) e mais duas prensas, agregando os cenários B e C.

A Tabela 2 apresenta as características de nº de funcionários e quantidade de prensa utilizado em cada cenário.

Tabela 2 – Cenários a serem simulados

Cenário	No Funcionários	Prensa (s)
A (Real)	8	2
B	14	2
C	8	4
D (B+C)	14	4

Como resposta da simulação do primeiro cenário – Cenário A (Real), tem-se os resultados apresentados nas Figuras 5 e 6, relatórios gerados no ProModel. Neste cenário observa-se quase a completa utilização das prensas (98,79% em ambas) e a produção de 208 fardos em 1 mês corrido de trabalho. Tem-se também que o processo de triagem fica em espera (% *Waiting*) 13,69% do tempo total e foi bloqueado (% *Blocked*) 77,04% do tempo total. Lembrando-se que a cada 55 fardos expedidos, o caminhão é acionado para buscar os materiais (Com um *lead time* de 1 dia útil).

Name	Total Entries	% Utilization
Deposito Material Coletado	36601.00	1.83
Triagem	56.00	99.84
Deposito Caixa Leite	109863.00	3.09
Prensagem Enfardamento 1	89.00	98.79
Prensagem Enfardamento 2	123.00	98.79
Pesagem 1	88.00	68.90
Pesagem 2	122.00	81.62
Expedicao	165.00	0.00
Deposito PET Oleo	55127.00	1.49
Deposito Papelao	220116.00	5.53
Deposito PP Verde	55008.00	1.45
Deposito PP Branco	54922.00	1.47
Deposito PP Colorido	54964.00	1.47
Deposito Fardo	208.00	0.00

Figura 5 – Entidades obtidas e utilização, no cenário A

FINAL.MOD (Cenario A)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Triagem	602.00	9.11	0.00	0.16	13.69	77.04	0.00
Prensagem Enfardamento 1	584.00	43.95	0.00	1.21	0.00	54.84	0.00
Prensagem Enfardamento 2	577.00	23.27	0.00	1.21	0.01	75.51	0.00
Pesagem 1	431.00	0.70	0.00	31.10	0.01	68.19	0.00
Pesagem 2	577.00	0.68	0.00	18.38	0.00	80.94	0.00

Figura 6 – Estado dos Locais operantes (Locations), no cenário A

Os resultados da simulação do cenário B são apresentados nas Figuras 7 e 8. Já neste cenário, as prensas continuam sendo praticamente totalmente utilizadas (98.83%), uma vez que não se alterou sua quantidade e capacidade. Já o processo de triagem teve uma pequena queda no tempo de espera (10,02%) e na quantidade bloqueada (74,86%) uma vez que com uma maior quantidade de funcionários, o fluxo de materiais no sistema se faz de maneira mais rápida. A quantidade de material nas baias também aumentou, uma vez que com mais funcionários, a atividade de triagem se torna mais eficiente. Obteve-se a produção de 210 fardos para o período estudado. Logo, nota-se que apenas o acréscimo no número de funcionários, de maneira isolada, não impactou de maneira significativa a produção do sistema.

Name	Total Entries	% Utilization
Deposito Material Coletado	36601.00	1.83
Triagem	70.00	99.81
Deposito Caixa Leite	138143.00	4.73
Prensagem Enfardamento 1	80.00	98.83
Prensagem Enfardamento 2	134.00	98.83
Pesagem 1	79.00	67.07
Pesagem 2	133.00	81.87
Expedicao	165.00	0.00
Deposito PET Oleo	69088.00	2.32
Deposito Papelao	276283.00	8.88
Deposito PP Verde	68667.00	2.30
Deposito PP Branco	68899.00	2.33
Deposito PP Colorido	68920.00	2.32
Deposito Fardo	210.00	0.00

Figura 7 – Entidades obtidas e utilização, no cenário B

FINAL.MOD (Cenario B)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Triagem	603.00	14.93	0.00	0.19	10.02	74.86	0.00
Prensagem Enfardamento 1	584.00	50.14	0.00	1.17	0.00	48.69	0.00
Prensagem Enfardamento 2	577.00	22.24	0.00	1.17	0.01	76.58	0.00
Pesagem 1	416.00	0.63	0.00	32.93	0.01	66.43	0.00
Pesagem 2	577.00	0.75	0.00	18.13	0.00	81.12	0.00

Figura 8 – Estado dos Locais operantes (Locations), no cenário B

As Figuras 9 e 10 apresentam os resultado do terceiro cenário, o cenário C. Neste cenário, mesmo dobrando a quantidade de prensas, a utilização das mesmas continuou alta (cerca de 98% em média), porém, a produção de fardos aumentou para 347 no período. Já a triagem voltou a ter altos níveis de espera e bloqueio (impossibilidade de recebimento por parte do processo subsequente). As pesagens continuaram nos mesmo níveis de funcionamento do cenário base.

Name	Total Entries	% Utilization
Deposito Material Coletado	36601.00	1.83
Triagem	61.00	99.83
Deposito Caixa Leite	119916.00	2.09
Prensagem Enfardamento 1.1	72.00	98.51
Prensagem Enfardamento 1.2	58.00	98.73
Prensagem Enfardamento 1	130.00	98.62
Prensagem Enfardamento 2.1	114.00	98.57
Prensagem Enfardamento 2.2	108.00	98.49
Prensagem Enfardamento 2	222.00	98.53
Pesagem 1	128.00	74.53
Pesagem 2	220.00	82.08
Expedicao	330.00	0.00
Deposito PET Oleo	60155.00	1.04
Deposito Papelao	240248.00	3.71
Deposito PP Verde	59884.00	1.00
Deposito PP Branco	59861.00	1.03
Deposito PP Colorido	59936.00	1.01
Deposito Fardo	347.00	0.00

Figura 9 – Entidades obtidas e utilização, no cenário C

FINAL.MOD (Cenario C)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Triagem	599.00	8.67	0.00	0.17	15.39	75.77	0.00
Prensagem Enfardamento 1.1	573.96	51.82	0.00	1.49	0.00	46.69	0.00
Prensagem Enfardamento 1.2	590.00	52.52	0.00	1.27	0.00	46.21	0.00
Prensagem Enfardamento 1	1163.96	52.17	0.00	1.38	0.00	46.45	0.00
Prensagem Enfardamento 2.1	585.00	20.80	0.00	1.42	0.00	77.78	0.00
Prensagem Enfardamento 2.2	586.00	20.28	0.00	1.51	0.00	78.21	0.00
Prensagem Enfardamento 2	1171.00	20.54	0.00	1.47	0.00	77.99	0.00
Pesagem 1	507.00	0.89	0.00	25.47	0.00	73.64	0.00
Pesagem 2	563.00	1.37	0.00	17.92	0.00	80.71	0.00

Figura 10 – Estado dos Locais operantes (Locations), no cenário C

Como resultado do quarto cenário, o cenário D, tem-se os valores apresentados nas Figuras 11 e 12. Nesta situação, a produção saltou para 392 fardos; o processo de triagem teve uma espera menor em relação ao cenário base (10,30%) e menos itens bloqueados. Nota-se ainda, que quando se aumenta o número de funcionários, o processo de triagem aumenta sua porcentagem de operação.

Name	Total Entries	% Utilization
Deposito Material Coletado	36601.00	1.83
Triagem	68.00	99.81
Deposito Caixa Leite	134056.00	2.19
Prensagem Enfardamento 1.1	102.00	97.34
Prensagem Enfardamento 1.2	78.00	97.52
Prensagem Enfardamento 1	180.00	97.43
Prensagem Enfardamento 2.1	118.00	97.32
Prensagem Enfardamento 2.2	100.00	97.21
Prensagem Enfardamento 2	218.00	97.27
Pesagem 1	178.00	80.24
Pesagem 2	216.00	80.82
Expedicao	385.00	0.00
Deposito PET Oleo	67085.00	0.99
Deposito Papelao	268348.00	3.52
Deposito PP Verde	66637.00	0.95
Deposito PP Branco	66869.00	0.97
Deposito PP Colorido	67005.00	0.96
Deposito Fardo	392.00	0.00

Figura 11 – Entidades obtidas e utilização, no cenário D

FINAL.MOD (Cenário D)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Triagem	600.00	12.38	0.00	0.19	10.30	77.13	0.00
Prensagem Enfardamento 1.1	569.00	39.69	0.00	2.66	0.00	57.65	0.00
Prensagem Enfardamento 1.2	573.00	46.25	0.00	2.48	0.00	51.27	0.00
Prensagem Enfardamento 1	1142.00	42.98	0.00	2.57	0.00	54.45	0.00
Prensagem Enfardamento 2.1	572.00	20.84	0.00	2.68	0.00	76.48	0.00
Prensagem Enfardamento 2.2	570.00	20.30	0.00	2.78	0.00	76.92	0.00
Prensagem Enfardamento 2	1142.00	20.57	0.00	2.73	0.00	76.70	0.00
Pesagem 1	548.00	1.08	0.00	19.76	0.01	79.15	0.00
Pesagem 2	549.00	1.39	0.00	19.18	0.01	79.42	0.00

Figura 12 – Estado dos Locais operantes (Locations), no cenário D

5 Conclusão

Com a análise nos gráficos dos diferentes cenários, o cenário D mostrou ser o melhor, evidenciando quais são os gargalos do sistema. Um deles é a quantidade de prensas disponíveis para trabalho, uma vez que a etapa de prensagem e enfardamento é a mais demorada, se tornando no cenário A real, o gargalo do processo. Por outro lado, a triagem também é uma etapa importante do processo, pois é uma das que mais agrega valor ao produto. O trabalho é todo manual, em que na maioria das vezes as pessoas que a executam possuem ritmos diferentes de trabalho, podendo se tornar outro gargalo de produtividade para a associação.

Os recursos, tanto de pessoas quanto de equipamentos, são fatores que limitam a produtividade da ACIMAR. Tendo em vista tais limitações, conclui-se como mudanças, visando a melhoria do processo, o deslocamento dos catadores externos (6 funcionários) para realização de trabalhos dentro do galpão, aumentando assim a quantidade de funcionários internos. Sugere-se a distribuição destes funcionários para as áreas de triagem e de prensagem e enfardamento, uma vez que tais áreas são gargalos na produção. Sugere-se ainda a instalação de esteiras que auxiliem no processo de triagem, diminuindo o tempo total desse processo e aumentando sua eficiência e utilização (embora esta alternativa tenha um alto custo).

Algumas dificuldades encontradas na obtenção de dados para a simulação podem ser destacadas, e servem como ponto de partida para trabalhos futuros, como: fluxo não contínuo de produção, não há horário fixo para realização das diversas atividades, ausência de controle e métricas na produção, ausência de treinamentos para funcionários, dificuldade para definição do começo e fim de uma atividade, dificuldade para mensurar o tempo de cada atividade.

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja feito um trabalho visando a padronização de processos e atividades, uma vez que se aumentaria as chances de implementação das medidas propostas, além de se facilitar a identificação e coleta das métricas necessárias para a elaboração do modelo computacional.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro concedido aos projetos que subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Carmo, M.S.** A semântica “negativa” do lixo como fator “positivo” à sobrevivência da Catação – Estudo de caso sobre a associação dos recicladores do Rio de Janeiro. In: *ENANPAD - Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-graduação em Pesquisa em Administração*. Brasília – DF, 2005.
- Chwif, L.** *Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: Uma abordagem causal*. (Tese) Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- Chwif, L.; Medina, A.C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. São Paulo: Ed. dos Autores, 2006.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)* 2008. Disponível em:

www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/ . Acesso em: Nov.2013.

Kleijnen, J.P.C. Theory and Methodology: Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, v.82, p.145-162,1995.

Leal, A.C.; Junior, A.T.; Alves, N.; Goncalves, M.A.; Dibiezo, E.P. A reinserção do lixo na sociedade do capital: uma contribuição ao entendimento do trabalho na catação e na reciclagem. *Revista Terra Livre*, São Paulo, 18(19), 177-190, jul/dez, 2002.

Leal, F.; Almeida, D.A.; Montevechi, J.A.B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: *Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, João Pessoa, PB, 2008.

Lobato, K.C.D; Lima, J.P. Caracterização e avaliação de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica de mapeamento. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Out/dez 2010.

MNCR Coordenação do Movimento Nacional dos catadores de materiais recicláveis. 2007. Disponível em: <http://www.movimentodoscatadores.org.br> Acesso em 28 Abril de 2013.

Montevechi, J.A.B.; Pinho, A.F.; Leal, F.; Marins, F.A.S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, Washington, DC. 2007.

Oliveira, R. L.; Lima, J. P.; Lima, R. S. Logística Reversa: O caso de uma associação de coleta seletiva de materiais recicláveis em Itajubá – MG. In: *Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Salvador, BA. 2009.

Parreira, G.F.; Oliveira, F.G.; Lima; F.P.A. O gargalo da reciclagem: determinantes sistêmicos da triagem de materiais recicláveis. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 29, Salvador, BA, 2009.

Pereira, W.I.; Chwif, L. (2010) Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos: aplicação em um caso real. In: *Anais do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, São Carlos, SP.

Pinheiro, E. M.; Kakehashi, T. Y.; Angelo, M. O uso de filmagem em pesquisas qualitativas. *Revista Latino Americana de Enfermagem*, v.13, n.5, 2005.

Pinho, A.F.; Leal, F.; Montevechi, J.A.B.; Costa, R.F.S. (2009) Utilização de Lego® para o ensino dos conceitos sobre simulação computacional a eventos discretos. In: *Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Salvador, BA.

Sargent, R.G. Validation and verification of simulation models. In: *Proceedings of the 2004 Winter Simulations Conference*, Washington, DC, USA. 2004.

Strauch, M. Gestão de recursos naturais e resíduos. In: *Resíduos: como lidar com recursos naturais*. Ed. Strauch, M.; Albuquerque, P.P. São Leopoldo: Oikos. p. 29-82, 2008.

Wang, W., Brooks, R.J., Empirical investigations of conceptual modeling and the modeling process. In: *Proceedings of 2007 Winter Simulation Conference*, ed. J. D. Tew, S. Manivannan, Sadowski, and A. F. Seila, 762 - 770. Washington, DC, USA. 2007.