

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA PRODUÇÃO DE PASTA DIAMANTADA

Elaine Cristina Gonçalves Moreira

Graduanda em Engenharia de Produção/UENF/RJ
elainemoreira20@yahoo.com.br

João José de Assis Rangel

Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais/UENF/RJ
joao@ucam-campos.br

Ana Lucia Diegues Skury

Doutora em Engenharia e Ciências dos Materiais/UENF/RJ
lucia@uenf.br

Ana Carolina de Almeida Sá

Graduada em Tecnólogo de Análise e Desenvolvimento de Software/IFF/RJ
carolalmeidasa@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho objetiva analisar o processo de produção de Pasta Diamantada, avaliando o número de operadores e máquinas, tempos de produção, alocação de atividades, dentre outros parâmetros importantes para avaliar a dinâmica do sistema e suas regras operacionais. O método utilizado tem por base a técnica de Simulação Computacional Estocástica de Eventos Discretos em virtude das variadas fontes de incertezas e da complexidade operacional relacionada ao processo de produção de Pasta Diamantada. O modelo conceitual deste sistema foi construído a partir da técnica IDEF-SIM e traduzido para o software Arena[®] 12 Rockwell Automation. O modelo de Simulação elaborado permitiu representar diversos cenários com considerável rapidez e flexibilidade, necessários à implantação da empresa ABRASDI. Este método permitiu identificar problemas e oportunidades de melhoria no processo, antes do início das linhas de produção. As principais medidas de desempenho avaliadas foram a taxa de utilização de operadores e o lead time do processo, considerando como restrições o custo da Pasta Diamantada, a qualidade do produto e o tempo total de produção. Os resultados obtidos a partir das análises demonstram que alguns cenários podem ser considerados ideais, dependendo das necessidades da empresa, tendo em vista que consideráveis ganhos podem ser obtidos com algumas mudanças de parâmetros.

Palavras-chave: Simulação; Pasta Diamantada; Diamante.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the production of Diamond Paste, assessing the number of operators and machines, production times, allocation of activities, among other important parameters to evaluate the dynamics of the system and its operating rules. The method is based on the technique of Discrete Event Simulation due to uncertain sources and operational complexity related to the production process of Diamond Paste. The conceptual model was constructed using the technique IDEF-SIM and translated into software Arena[®] 12 Rockwell Automation. The model of Simulation could represent several settings with considerable speed and flexibility, necessary for implantation of ABRASDI Company. This method enabled us to identify problems and opportunities for improvement in the process before the start of production lines. The main performance measures were the rate of use of operators and the process lead time, considering as constraints the cost of Diamond Pastes, product quality and the total time of production. The results show

that some scenarios may be considered ideal, depending on the needs of the company, noting that considerable gains can be made with some parameter changes.

Keywords: Simulation; Diamond Paste; Diamond.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo. O estado do Espírito Santo é o principal pólo de rochas ornamentais do país, instalado na região de Cachoeiro de Itapemirim. No estado do Rio de Janeiro, a região Noroeste também é rica em rochas ornamentais, com enfoque para o município de Santo Antônio de Pádua (MOREIRA; MANHÃES; HOLANDA, 2005).

Apesar do país se destacar neste cenário e as ferramentas diamantadas utilizadas no processamento das pedras serem produzidas no país, os principais insumos ainda são importados (destacando o diamante). Com isso, estas ferramentas muitas vezes não atendem às propriedades das rochas nacionais (ZEPEDA, 2009). Diante disso, a Tec-Campos (incubadora de empresas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF), que é um instrumento de transferência da tecnologia de instituições de ensino para o setor produtivo, em parceria com professores, alunos e pesquisadores do LAMAV/UENF (Laboratório de Materiais Avançados), criou recentemente a empresa ABRASDI, localizada no município de Campos dos Goytacazes.

Com o objetivo de atender à crescente demanda da região Norte Fluminense por ferramentas diamantadas, a ABRASDI irá produzir Pasta e Sapatas Diamantadas utilizadas no polimento de rochas e Serras e Fios Diamantados, utilizados para o corte. Para suprir este específico mercado, a empresa conta com uma vantagem competitiva em relação às outras instaladas no Brasil, que é a proximidade do maior mercado consumidor. Este fato possibilita a realização de testes em condições reais de trabalho com o intuito de obter melhoria nos processos, idéias inovadoras e procedimentos operacionais de maior eficácia, que visem à obtenção do melhor desempenho de suas ferramentas. Além disso, objetiva também atender diretamente e com maior rapidez às empresas de toda região, podendo assim fidelizar clientes e saber suas carências e necessidades.

Devido ao fato da empresa estar em fase de implantação, tornou-se relevante a análise do processo de produção de Pasta Diamantada, utilizando a Simulação Computacional de Eventos Discretos apresentada em Banks (2010). A Simulação propicia que cenários reais possam ser representados com precisão e confiabilidade em um ambiente virtual. As principais medidas de desempenho avaliadas foram a taxa de utilização de operadores e máquinas e o lead time do processo, considerando como restrições o custo da produção e a qualidade do produto.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo o apoio à empresa ABRASDI no desenvolvimento da tecnologia relativa à produção de Pasta Diamantada através de uma análise por Simulação Computacional do processo. Os cenários a serem investigados no processo de fabricação das respectivas Pastas serão elaborados a partir da tecnologia que está sendo desenvolvida pelos pesquisadores do LAMAV/UENF.

Pretendeu-se neste estudo analisar também a capacidade da produção total da linha, o nível de utilização dos operadores e máquinas, além de propor a melhor utilização destes recursos.

2. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS SIMULADOS E DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A Figura 1 apresenta o leiaute do processo da empresa ABRASDI. Esta empresa está sendo incubada pela Tec-Campos, incubadora de empresas da região, parceira de instituições de ensino e localizada no município de Campos dos Goytacazes, na Avenida Alberto Lamego, 694.

Para a elaboração deste projeto de Simulação, foi seguida a metodologia apresentada por Chwif e Medina (2010), utilizando-se os seguintes passos: Formulação e análise do problema; planejamento do projeto; formulação do modelo conceitual; coleta de macro-informações e dados; tradução do modelo;

verificação e validação; projeto experimental; experimentação; interpretação e análise estatística dos resultados; comparação e identificação das melhores soluções; documentação; e apresentação dos resultados.

O modelo conceitual foi traduzido para o software Arena[®]12 para a realização das Simulações Computacionais (KELTON; SADOWSKI; STURROCK, 2007). Para a verificação e validação do modelo, foi utilizada adicionalmente a metodologia de trabalho proposta por Sargent (2007). Vale ressaltar que o modelo computacional só foi inicializado após o modelo conceitual estar pronto e garantido que os pressupostos e hipóteses pertinentes ao modelo estão corretamente implantados.

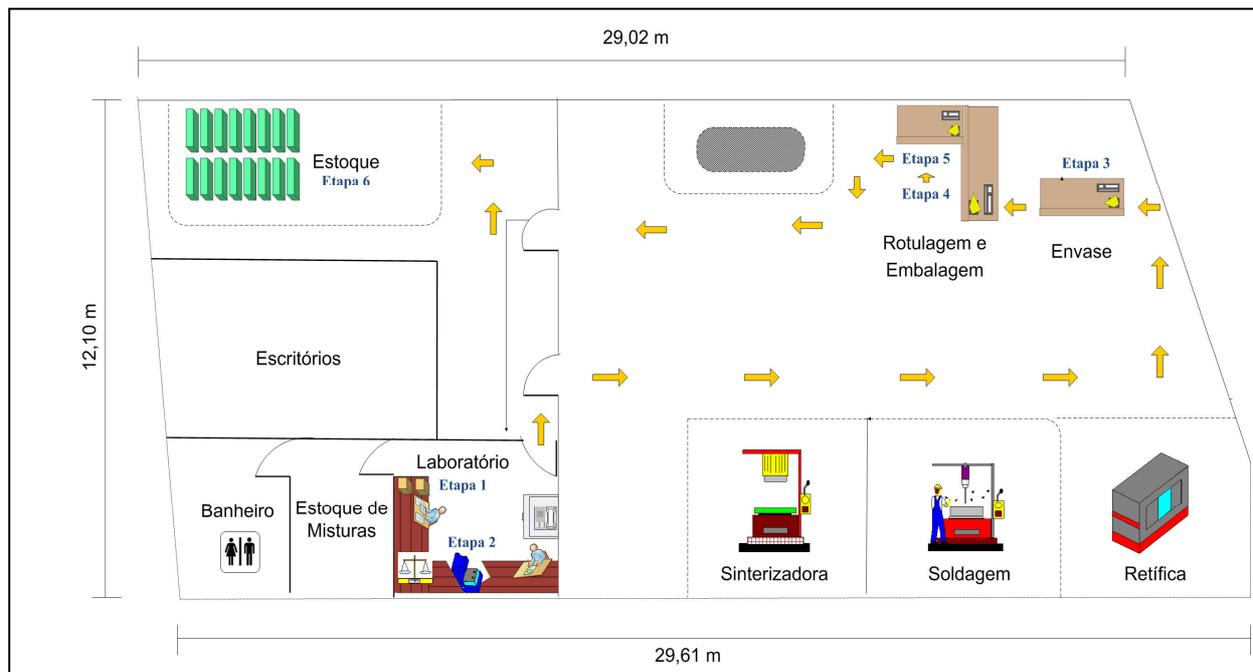


Figura 1: Espaço físico da ABRASDI.

A Figura 2 apresenta o modelo conceitual do processo de fabricação da Pasta Diamantada. A Tabela explicativa no Apêndice detalha informações referentes às regras operacionais e aos tempos dos processos. Estes dados foram coletados junto a especialistas dos processos de produção da empresa ABRASDI.

O modelo conceitual foi construído utilizando a técnica IDEF-SIM (MONTEVECHI; LEAL; PINHO; COSTA; OLIVEIRA, 2010). Esta técnica permite documentar um modelo de Simulação Computacional de Eventos Discretos a partir de elementos de técnicas já consagradas na literatura, voltados para o objetivo da Simulação. Além disso, esta técnica tem um aspecto visual de fácil modelagem e entendimento.

Os tempos utilizados nos processos são funções de distribuição do tipo Normal, obtidos junto a especialistas da ABRASDI. De acordo com Freitas Filho (2008), a distribuição normal “é utilizada sempre que a aleatoriedade for causada por várias fontes independentes agindo de forma aditiva”.

Conforme observado na Figura 2 acima, a produção inicia-se na etapa (F1) com o agrupamento de estearina (E1), borracha sintética (E2), óleo de rícino (E3) e diamante (E4), para posterior recebimento (F2) das mesmas no laboratório pelo operador (OP1). Em seguida, este realiza a análise (F3) e a pesagem, com o auxílio de uma balança, (R1) e prepara a mistura de polímeros (F4), exceto do diamante, que será acrescentado posteriormente.

O operador 1 (OP1) irá transportar (M1) a mistura de polímeros e o diamante até o misturador (R2), onde ocorrerão dois processos sequenciais: primeiro será feita a mistura dos polímeros com o diamante (F5) por um tempo de 30 minutos. A seguir, o operador (OP1) acrescentará à mistura (F6) o equivalente a 50

gramas de corante artificial (E5), e esta retornará ao misturador por mais 10 minutos (F7) até que a pasta esteja homogênea e própria para o uso.

Ao final deste processo, a Pasta Diamantada (E6) será movimentada do misturador para a bancada de envase (M2) pelo operador (OP1). Então, a Pasta será dividida em 1000 partes de 5 gramas (F8) e aguardará a entrada de seringas (E7) para logo formar lotes compostos de 20 seringas e 20 partes de pasta (F9), a fim de iniciar o processo de envase (F10). Esta operação dura aproximadamente 5 minutos e é realizada exclusivamente pelo operador 2 (OP2), visto que requer prática e treinamento para a execução desta tarefa.

O lote de Pasta envasada será movimentado pelo operador 2 (OP2) da bancada de envase para a de rotulagem (M3). Assim que chega à bancada de rotulagem, o operador 1 (OP1) será responsável por receber o lote de 20 rótulos (F11) e rotular as seringas (F12). Tarefa que despense aproximadamente 30 segundos por seringa.

Em seguida, o operador 1 (OP1) receberá lotes de 20 embalagens (E9) (F13) e embalará as seringas já rotuladas (F14). Para embalar, utilizam-se 30 segundos para cada caixa de seringa.

Seringas embaladas já podem ser transportadas pelo operador (OP1) até o setor de estoque (M4), finalizando o seu processo produtivo.

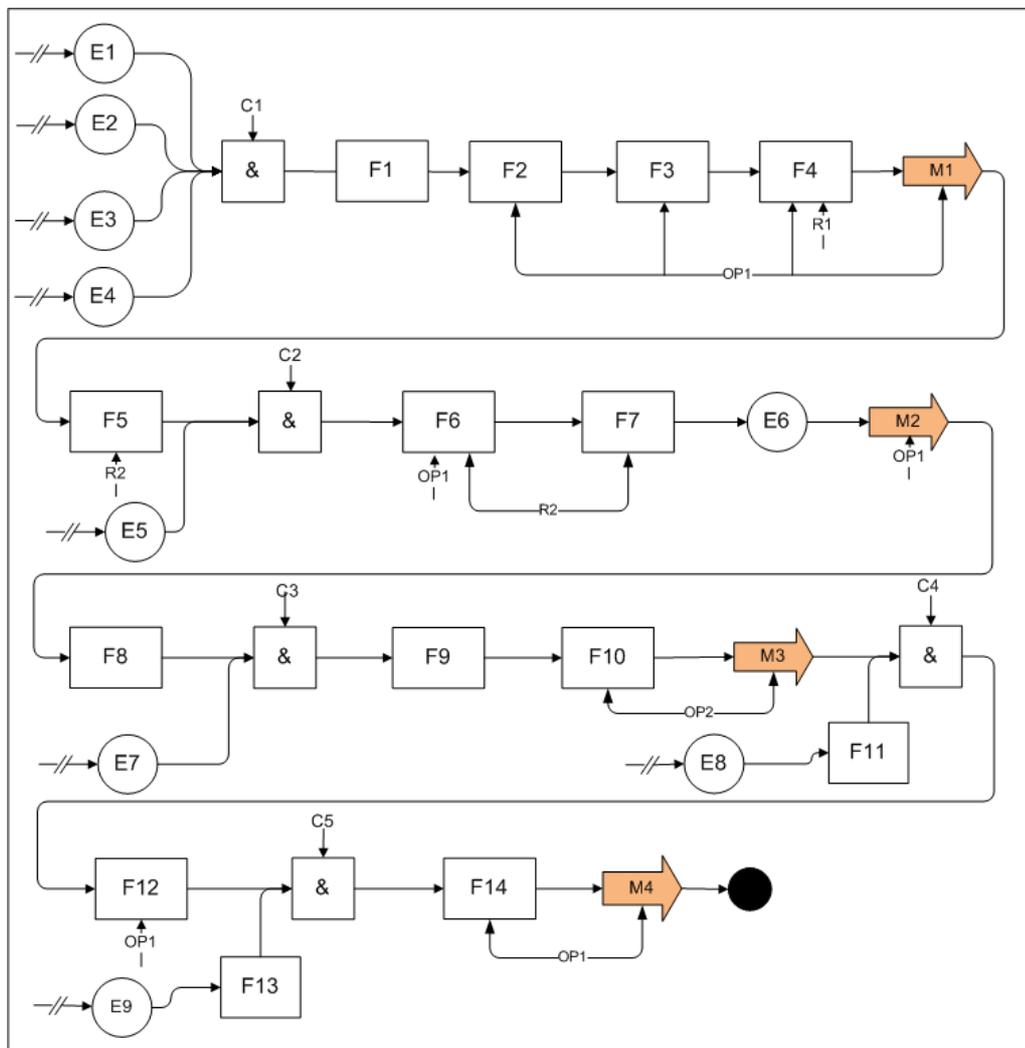


Figura 2: Modelo conceitual do sistema de fabricação de pasta diamantada - IDEF-SIM.
 Legenda desta figura: veja Quadro 1.

É importante ressaltar que a rodada de Simulação deste sistema de produção levou em consideração a produção de 1 batelada, composta por 5 litros de Pasta Diamantada, caracterizando-o, assim, em um sistema terminal. Este sistema terminal apresenta condições iniciais fixas e também um evento que determina um fim natural para o processo de Simulação (LAW, 2007).

3. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com Montgomery (2009), um experimento é um teste ou uma série de testes, onde alterações controladas são realizadas sobre as variáveis envolvidas em um sistema (fatores). Este experimento possibilita observar e identificar as razões das mudanças ocorridas sobre os resultados, que são representados por variáveis previamente eleitas (variáveis de resposta).

Para obter o número mínimo de replicações, no qual o modelo irá rodar, ou seja, o número de vezes em que o modelo será repetido, foram realizadas análises através da ferramenta de apoio do Arena, *Process Analyser*. A partir destas, pôde-se concluir que este modelo foi preparado para rodar com um número de replicações igual a 10, pois, a partir de 10 replicações, a variação no tempo de produção não sofreu grandes alterações. Logo, é recomendável que se utilize o menor número de replicações, do qual o modelo convergiu.

Os primeiros experimentos foram realizados com o objetivo de identificar o número de operadores necessários ao processo. Assim, foi configurado em todo o modelo um mesmo nome para os operadores: Operador 1. Para o fator Operador 1, então, foram utilizados 10 níveis. Níveis são os valores que um fator pode assumir. Em outras palavras, cada nível do fator constitui uma alternativa àquele fator.

A Figura 3 apresenta resultados obtidos com as Simulações Computacionais. Pode-se averiguar que na medida em que se aumenta a quantidade de operadores, há uma redução no tempo de produção. Nota-se que, ao utilizar 2 operadores, reduz-se o tempo de produção em 49,54% se comparado ao tempo de 1 operador, ao passo que, ao ser acrescido um quarto operador, a queda no tempo de produção é satisfatória (24,46%), porém menos significativa. Contudo, a contratação de mais um operador depende das necessidades da empresa, visto que uma pequena redução no tempo de produção pode trazer um considerável ganho que justifique tal contratação.

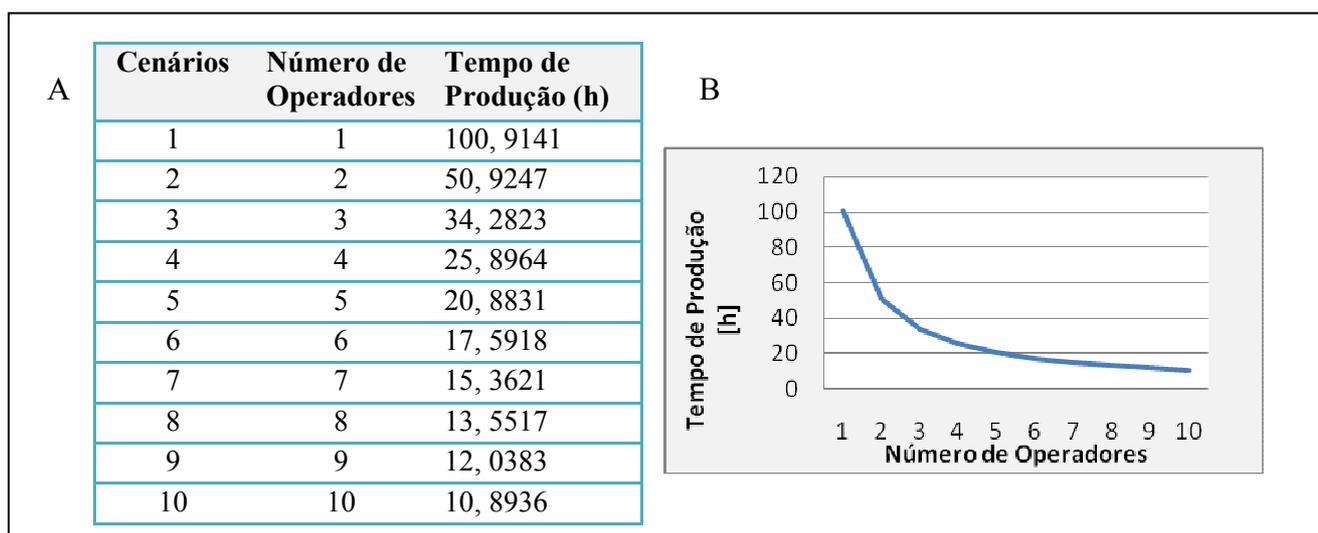


Figura 3 (A,B): Número de operadores x Tempo de produção. Todos os cenários foram realizados com 10 replicações.

Em vista disso, foi necessário realizar experimentos mais detalhados, nos quais deveriam ser feitas combinações dos diferentes tipos de operadores e seus respectivos postos de trabalho.

Para o detalhamento de novos experimentos, foram analisados dois fatores sobre todo o processo de fabricação da Pasta. Estes fatores são Operador 1 e Operador 2, cada um com uma função específica no sistema. Na Tabela 1, são apresentados os fatores e as etapas em que eles participam no processo de produção.

Tabela 1: Descrição dos fatores e etapas participantes do processo de produção.

Símbolos	Fatores	Descrição das atividades
A	Operador 1	Etapa 1, Etapa 2, Etapa 4, Etapa 5, Etapa 6
B	Operador 2	Etapa 3

A Tabela 2 mostra a combinação dos dois fatores mencionados acima com o tempo de produção. Observando a referida Tabela, conclui-se que o fator B realiza uma função específica e crítica do processo, considerando que o tempo de produção, com o acréscimo feito no fator B, tenha reduzido significativamente em relação à variação do fator A. Ou seja, ao utilizar 1 fator A e 2 fatores B, houve uma redução de 51,07%. Logo, com o acréscimo de 1 operador do tipo B, o tempo de produção reduziu mais do que a metade se comparado com o tempo de apenas 1 nível de cada fator.

Tabela 2: Combinação dos dois operadores.

Cenários	A	B	Tempo de Produção (h)
1	1	1	84, 5429
2	1	2	43, 1754
3	2	1	84, 5429

Tendo em vista que o fator de maior relevância no processo é o fator B, foram feitos uma tabela e um gráfico, como ilustra a Figura 4, nos quais o fator A é constante e igual a 1 e o fator B é o que se altera. Neste sentido, nota-se que, à medida que este fator é acrescido, reduz-se o tempo de produção. Percebe-se ainda que, a partir do cenário 3, no qual utilizam-se 3 fatores B, o tempo de produção continua diminuindo, porém a taxas decrescentes.

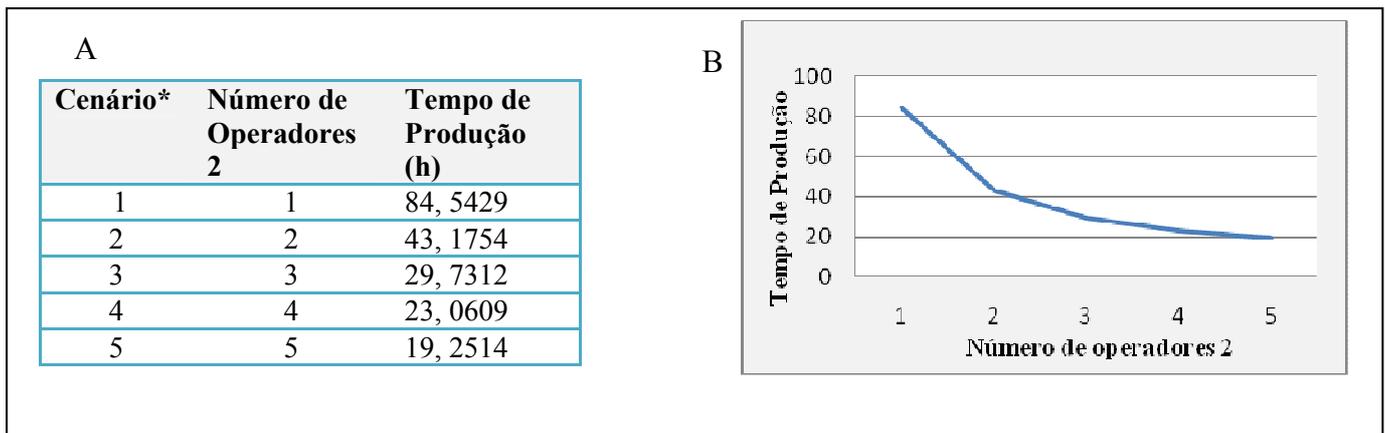


Figura 4 (A, B): Variação da quantidade de operador 2 X Tempo de produção.

Com o objetivo de avaliar com maior detalhe o número de operadores em cada função do processo, foi realizado um experimento baseado no Projeto Fatorial Completo n^k , descrito em detalhes em Montgomery, 2009. A Figura 5 apresenta os resultados do experimento com dois fatores, (Operador 1 e Operador 2) e 3 níveis (2, 4 e 6 operadores) em um total de 9 cenários (3^2), da seguinte forma:

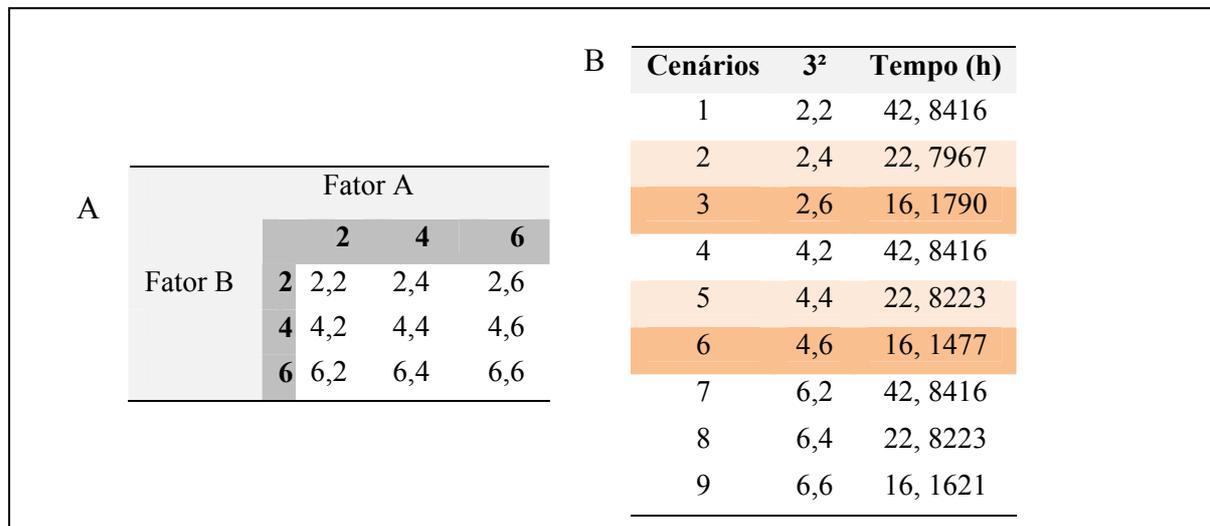


Figura 5 (A, B): Combinação entre os dois operadores.

Com base nos resultados apresentados na Figura 5, observa-se que algumas interações merecem destaque, como os cenários 2, 3, 5 e 6, os quais têm um total de 6, 8, 8 e 10 operadores, respectivamente, e um tempo de produção bem próximo. Considerando este fato, pode-se concluir que para um tempo de produção de aproximadamente 16 horas, convém utilizar o cenário 3 ao invés do 6, tendo em vista que o número de operadores utilizados no processo é menor e o tempo de produção, bem semelhante. Desta forma, serão utilizados 8 operadores, sendo uma combinação de 2 fatores A e 6 fatores B.

Conclui-se ainda que para um tempo de produção de aproximadamente 23 horas, o melhor cenário a ser utilizado é o 2 ao invés do cenário 6 pelos mesmos motivos da escolha do cenário 3 acima. Vale ressaltar que, com este tempo de produção, serão utilizados 2 fatores A e 4 fatores B.

A partir das análises realizadas neste trabalho, pode-se avaliar da seguinte forma o sistema: o número de operadores que satisfazem o processo de produção em um menor tempo é um total de 8 operadores. Por outro lado, a distribuição dos operadores nos postos de trabalho pode ser feita da seguinte forma: 2 operadores atuando nos processos do fator A e 6 operadores no processo do fator B. Caso seja necessário um acréscimo de mais um operador, constata-se que ele poderá atuar no processo do fator B (etapa 3 da produção), visto que este é o que tem maior influência no sistema.

Vale ressaltar que, caso não seja necessário obter um operador especializado (fator B), os 8 operadores produziriam em um tempo de 13,5517 horas, enquanto que com o operador especializado, utilizaria-se de 16,1790 horas para produzir a mesma quantidade de Pasta.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar o modelo elaborado para simular a produção de Pasta Diamantada, foi possível constatar que o mesmo atendeu às expectativas de sua construção, sendo possível atender à dinâmica dos processos envolvidos e auxiliar os gestores da empresa ABRASDI na análise e tomada de decisão da linha de produção da Pasta Diamantada.

Os resultados da Simulação mostraram também, o número necessário de operadores para o processo de produção. Em vista disso, pode-se auxiliar a empresa ABRASDI na contratação da quantidade de operários necessária para se produzir um número de seringas de Pasta Diamantada que atenda às necessidades da empresa.

Neste sentido, fica a critério dos gestores da empresa optar pelos seguintes cenários: utilizar 8 operadores em toda a linha de produção e fabricar as 1000 seringas em aproximadamente 16 horas ou utilizar 6 operadores e ter um acréscimo no tempo de produção para aproximadamente 23 horas. Vale lembrar que a escolha de um destes cenários deve levar em consideração os custos em se contratar mais ou menos operários, bem como os lucros de se produzir em mais ou menos tempo.

Cabe ainda aos gestores desta empresa analisarem se é de extrema relevância a contratação do funcionário qualificado, pois este estudo mostrou que, sendo 8 operários de mesmas habilidades e competências, o tempo de produção seria inferior ao mesmo número de operários com atividades distintas no processo. Sendo assim, a produção terminaria em aproximadamente 14 horas.

Espera-se que os resultados das Simulações Computacionais aqui apresentados sobre a produção de Pasta Diamantada possam contribuir para o desenvolvimento de novos trabalhos a serem realizados neste campo de conhecimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, JERRY, CARSON II, JOHN S., BARRY, NELSON L., DAVID M-NICOL. Discrete – Event System Simulation. Fifth Edition, United States of America, Editora: Pearson Education, 2010.

CHWIF, LEONARDO; MEDINA, AFONSO C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. 3ª edição, São Paulo: Do Autor, 2010.

FREITAS FILHO, P. J. Introdução a modelagem e simulação de sistemas. 2ª edição, Editora Visual, 2008.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P. E STURROCK, D.T. Simulation with Arena, Forth Edition, New York: McGraw- Hill, 2007.

LAW, AVERILL M., Simulation Modeling Analysis. Fourth Edition, New York, Editora MCGRAW-HILL, 2007.

MONTGOMERY, D.C. Design and Analysis of Experiments. 7th edition. John Wiley & Sons, Inc, 2009.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F. D.; COSTA, R. F. D. S.; OLIVEIRA, M. L. M. D.; Conceptual Modeling in Simulation Projects by mean adapted IDEF: an application in brasilian tech company. In: Winter simulation conferece, Arizona, USA. p. 1624-1635, 2010.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. Cerâmica 51, Campos Dos Goytacazes - Rj, p.180-186, 2005.

SARGENT, R.G. Verifications and validation of simulations models. In: Winter simulation conference, Miami, USA. p. 124-137, 2007.

VINÍCIUS ZEPEDA. Novos produtos deverão impulsionar setor de rochas ornamentais no estado. Disponível em: <http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=5886>. Acesso em: 29 out., 2009.

Quadro 1: Parâmetros do modelo conceitual IDEF-SIM.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	PARÂMETRO
E1	Estearina	Qnt: 1entidade (0,7L); Tempo de Criação: 0seg; Quantidade de entidade: 1.
E2	Borracha sintética	Qnt: 1entidade (1,4L); Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1.
E3	Óleo de rícino	Qnt: 1entidade (1,4L); Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1.
E4	Diamante	Qnt: 1entidade (1,5L); Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1
E5	Corante	Qnt: 1entidade (50g); Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1
E6	Pasta diamantada	Qnt: 1entidade (5L)
E7	Seringa	Qnt: 1000; Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1000.
E8	Rótulo	Qnt: 1000; Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1000
E9	Embalagem	Qnt: 1000; Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1000.
F1	Unir os quatro tipos de matéria-prima	Qnt: 1 lote composto dos 4 tipos de matéria prima
F2	Receber matéria-prima	NORM (10,0.1) seg. Qnt. de OP1: 01
F3	Analisar matéria-prima	NORM (10,0.1) seg. Qnt. de OP1: 01
F4	Pesar matéria prima e	NORM(10,0.1)min. Qnt. de OP1:01 e

	misturar polímeros	qnt. de R2: 01
F5	Misturar	NORM (30,0.3) min. Qnt. de R2: 01
F6	Adicionar corante	NORM (10,0.1) seg. Qnt. de OP1: 01 e qnt. de R2:01
F7	Misturar corante	NORM (10,0.1) min. Qnt. de R2: 01
F8	Dividir mistura	1 mistura é dividida em 1000 partes
F9	Juntar mistura	A mistura é agrupada junto às seringas em lotes de 20 partes de mistura para 20 de seringas
F10	Envasar	NORM (5,0.5) min. Qnt. de OP2: 01
F11	Agrupar rótulos	Os rótulos serão agrupados em lotes de 20 cada
F12	Rotular	NORM (30,0.3) seg. Qnt. de OP1: 01
F13	Agrupar embalagens	As embalagens serão agrupadas em lotes de 20 cada
F14	Embalar	NORM (30,0.3) seg. Qnt. de OP1: 01
OP1	Recurso: Operador 1	Qnt: 01
OP2	Recurso: Operador 2	Qnt: 01
R1	Recurso: Balança	Qnt: 01
R2	Recurso: Misturador	Qnt: 01
M1	Movimentar mistura da mesa de recebimento p/ misturador	Distância: 0,7m; Velocidade: 1,50m/s; qnt. de OP1: 01
M2	Movimentar pasta p/ bancada de envase	Distância:0,8m;Velocidade:1,50m/s; qnt. de OP1: 01

M3	Movimentar a pasta da bancada de envase p/ a de rotulagem	Distância: 4,20m; Velocidade: 1,50m/s; qnt. de OP2: 01
M4	Movimentar as embalagens da área de embalagem p/ estoque	Distância: 23,0m; Velocidade: 1,50m/s; qnt. de OP1: 01
C1	Controlar a entrada de matéria prima	Para cada mistura utilizam-se 4 tipos
C2	Controlar adição de corante em mistura	Para cada mistura libera-se 50g de corante
C3	Controlar fluxo de seringas com a pasta	Para cada 5g de pasta libera-se 1 seringa
C4	Controlar fluxo de rótulos com seringas	Para cada seringa libera-se 1 rótulo
C5	Controlar fluxo de embalagens c/seringas.	Para cada seringa libera-se 1 embalagem