



APLICAÇÃO DE SIMULAÇÕES NO PROCESSO DE ENSINO- APRENDIZAGEM DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Marcel de Gois Pinto – marcel@ct.ufpb.br

Universidade Federal da Paraíba, CT, Departamento de Engenharia de Produção.
Jardim Cidade Universitária / CEP 58051-001, João Pessoa – PB.

Mariana Moura Nóbrega – marianamoura@ct.ufpb.br

Universidade Federal da Paraíba, CT, Departamento de Engenharia de Produção.
Jardim Cidade Universitária / CEP 58051-001, João Pessoa – PB.

Fábio de Almeida Gomes Filho – fabioalmeidagf@gmail.com

Universidade Federal da Paraíba, CT, Departamento de Engenharia de Produção.
Jardim Cidade Universitária / CEP 58051-001, João Pessoa – PB.

Resumo: Este artigo apresenta uma experiência de ensino participativo desenvolvida na disciplina de Sistemas de Produção do curso de graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Esta disciplina, introdutória no referido curso, apresenta aos estudantes tipos e características dos sistemas produtivos com os quais se depararão na vida profissional. A atividade didática versou sobre os sistemas de Produção Artesanal e Industrial, sendo neste último, simuladas a produção Taylorista, Fordista e Toyotista. Para tal, foram utilizadas peças de montar do tipo Lego® e um roteiro adequado às características de cada sistema em particular. As variáveis de interesse no aprendizado foram setup de máquinas, variedade de produtos, layout fabril, tamanho do lote de produção, método de trabalho, movimentação de materiais, forma de programar a produção, inspeção da qualidade e natureza da demanda de mercado. Ao final dos 15 minutos de cada simulação, eram debatidos os resultados numéricos (volume de produção e de estoques, qualidade e produtividade) e as impressões dos estudantes quanto à experiência. A utilização desta metodologia de ensino mostrou-se efetiva no entendimento de conceitos inerentes aos sistemas de produção, pois foram vivenciados aspectos que jamais seriam obtidos em uma aula expositiva.

Palavras-chave: Sistemas de Produção, Engenharia de Produção, Dinâmicas.

1. INTRODUÇÃO

A humanidade acumulou mais conhecimento nas últimas três décadas do que em toda a sua história. Isso provocou uma defasagem entre a evolução do conhecimento e recursos educacionais. Deste modo, se faz necessário rever práticas pedagógicas de ensino, focadas no professor detentor do conhecimento e na teoria descontextualizada (BELHOT, 2005).

Diante disso, novos métodos que visam o aprendizado ativo têm sido usados com sucesso. Eles engajam o estudante no aprendizado, requerendo a prática de atividades expressivas e a reflexão. O foco é a participação do aluno (PRINCE, 2004).

No ensino de engenharia, por sua vez, jogos, simulações e outras metodologias

Realização:



Organização:





participativas vêm sendo utilizadas com sucesso, pois, segundo alguns estudos, apresentam vantagens sobre os métodos tradicionais de ensino. (FELDER & BRENT, 2003)

Os resultados mostram que estudantes que passaram por tais métodos de ensino tendem a um melhor desempenho, menor evasão, melhores habilidades de pensamento crítico, mais profundidade no assunto, menores níveis de ansiedade e estresse, melhores relacionamentos com colegas, atitudes mais positivas em relação ao estudo e autoestima elevada.

Assim, este trabalho apresenta uma atividade didática de simulação elaborada para facilitar o aprendizado relativo à evolução de sistemas de produção para os estudantes de graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). O assunto em tela é importante para este engenheiro, pois, em sua vida profissional ele se dedicará ao projeto e à gestão dos sistemas de produção.

2. DIFERENÇAS ENTRE A PRODUÇÃO ARTESANAL E INDUSTRIAL

A produção artesanal caracteriza-se pela simplicidade e flexibilidade das ferramentas e pela produção de um produto por vez conforme encomendas. Nesse modo de produção, o artesão é detentor dos meios de produção e domina todas as etapas do processo, da concepção à entrega do produto.

Esta forma de produzir foi aos poucos suplantada por uma burguesia mercantil (mercadores), que deu um passo na transição do feudalismo para o capitalismo, implantando o sistema manufatureiro. Neste modelo, os artesãos trabalhavam em troca de um salário, pois a matéria-prima e os instrumentos pertenciam aos burgueses. Tudo isso marca o início da expropriação do saber dos artesãos, a divisão do trabalho e a especialização. A partir daí, o aumento da concorrência e o surgimento das máquinas impulsionaram um processo de fusão de oficinas, que passaram a constituir centros maiores, aos poucos convertidos em fábricas. (CHIAVENATO, 2004)

Neste contexto, a mecanização aumentou a produção, reduziu custos e preços, estimulando o consumo. O mesmo contexto fez surgir inúmeros postos de trabalho que demandavam pessoas com pouca qualificação, pois as tarefas tornaram-se elementares e repetitivas. Por outro lado, apesar deste crescimento acelerado da produção, nos ambientes de trabalho havia grande desordem, improvisação e empirismo.

Todo esse processo foi denominado como 1ª Revolução Industrial (ocorrida na Inglaterra) no início do século XVIII e sofreu grande influência filosófica dos economistas liberais, especialmente Adam Smith.

2.1. Taylorismo (Administração Científica)

O Taylorismo é um sistema de produção desenvolvido pelas proposições de Frederick Winston Taylor (1856 - 1914) que consiste, essencialmente, no aprofundamento da aplicação das observações de Adam Smith a respeito das vantagens da divisão e especialização do trabalho. (SMITH, 1996; TIGRE, 2006).

Apesar da denominação, Taylor não foi o único estudioso a compor a base conceitual daquilo que se denominou de Taylorismo. Neste contexto foram importantes Frank Gilbreth, Lillian Gilbreth, Henry Gantt e Hugo Münsterberg (CHIAVENATO, 2004).

As principais contribuições destes autores relacionavam-se com estudos de movimentos, que incluem registro, análise e prescrição de melhores métodos para a execução de um trabalho; e com achados psicológicos relacionados com a seleção de pessoas e a lei da fadiga,



mostrando a necessidade de ceder intervalos durante a jornada de trabalho (TAYLOR, 1911; BARNES, 1977).

Sinteticamente, o Taylorismo tem por princípios: substituir empirismo por métodos planejados, selecionar os trabalhadores conforme aptidões, treinar e controlar a execução do método estabelecido e distribuir atribuições e responsabilidades distintas entre direção e os operários (CHIAVENATO, 2004; TAYLOR, 1911).

O desdobramento mais conhecido destes princípios é o estudo de movimentos e de tempos (engenharia de métodos), que visa determinar a técnica mais racionalizada de execução de um trabalho. Sua aplicação gerou bons resultados em termos de produtividade, redução de mão-de-obra e de custos nas empresas em que foram adotados (KRICK, 1971; BARNES, 1977).

Entretanto, apesar dos ganhos, o Taylorismo foi muito criticado por aqueles que o consideravam o traidor dos operários ao disponibilizar para a empresa o conhecimento que antes era propriedade dos operários: método e tempos de produção. Considerando que a posse dos meios de produção já não era dos trabalhadores, o Taylorismo acabou por reduzir ainda mais o poder das pessoas do chão de fábrica.

Além disso, não é verificado na literatura preocupações do Taylorismo com aspectos mais amplos do sistema de produção. Dentre estes se podem citar o layout das instalações – que permaneceu especializado por departamentos – e a relação da empresa com os clientes – através do projeto dos produtos, da variedade produzida e da sua qualidade. Assim, conclui-se que o Taylorismo não consiste num rompimento com a lógica inicial da industrialização inglesa, mas num aperfeiçoamento de seus aspectos operacionais.

2.2. Fordismo (Produção em Massa)

Henry Ford (1863 - 1947) fundou a Ford Motor Company (1903), juntamente com outros investidores. Nesta empresa foram criados os aspectos que caracterizam o que se convencionou chamar de Fordismo. Tal sistema insere a indústria automobilística na era industrial, eliminando seus aspectos artesanais remanescentes e inserindo a produção em massa.

Embora certos autores (HARVEY, 1989, *e.g.*) afirmem que o Fordismo consiste na aplicação dos princípios do Taylorismo somados com produção e consumo em massa, quem participou diretamente do desenvolvimento do Fordismo afirma que este é apenas um mito e que ninguém na Ford estaria familiarizado com as teorias de Taylor (SORENSEN & WILLIAMSON, 1956).

Diferentemente da introdução do paradigma industrial, o Taylorismo e Fordismo baseavam seus ganhos produtivos no trabalho vivo. Entretanto, enquanto no Taylorismo o ganho advinha dos estudos de tempos e métodos, no Fordismo, a produtividade sucede da profunda especialização – na qual se esvazia o conteúdo do trabalho, eliminando a necessidade de qualificação e envolvimento do trabalhadores – e da introdução das esteiras – que levavam o trabalho ao operário.

A produção em massa é baseada em três princípios: sincronia entre equipamentos e matéria-prima, para diminuir o *lead-time*; redução do estoque de material em processo, de modo a ter entregas mais rápidas; e aumento da taxa de produção através da especialização e da linha de montagem.

Para que a aplicação dos princípios do Fordismo fosse possível algumas mudanças foram necessárias. Um dos aspectos mais importantes é a introdução da intercambiabilidade, que



prevê a padronização das peças dos produtos a fim de que a montagem seja feita sem ajustes (BOTELHO, 2000).

Outro aspecto importante é a redução do portfólio de produtos a poucos modelos de modo a facilitar a produção e a reduzir a necessidade de preparação de máquinas e equipamentos (*setup*). Tal redução aumenta o tempo disponível das máquinas e conseqüentemente, o volume de produção em um determinado intervalo de tempo. Além disso, tornou possível o desenvolvimento do arranjo físico linear, no qual equipamentos especializados são dispostos no espaço conforme a seqüência de fabricação e montagem de um ou de poucos produtos.

A produção em massa popularizou o automóvel a partir do seu barateamento, isso foi possível por mudanças na engenharia dos carros e do processo produtivo. Neste segundo aspecto, residem as mais inflamadas críticas ao Fordismo, pois os métodos de Ford simplificam excessivamente o trabalho de modo a esvaziá-lo de significado e a robotizar o homem. As conseqüências disso foram altos índices de rotatividade da mão-de-obra e uma verdadeira epidemia de doenças físicas e mentais relacionadas ao trabalho. (BEYNON, 1995).

2.3. Toyotismo (Produção enxuta)

Em meados da década de 50, o modelo de produção em massa, que promovera o sucesso de Ford, GM e Chrysler era seguido pela indústria automobilística europeia e empresas de quase todos os ramos industriais. Por esta razão, a Toyota buscou replicar tal sistemática em suas instalações. (WOMACK, *et al*, 2004).

No entanto, o contexto do Japão, destruído na II Guerra Mundial, inviabilizou a adoção da produção em massa, dando início àquilo que veio a ser chamado de Sistema Toyota de Produção (STP), produção enxuta ou Toyotismo.

Algumas das características marcantes do mercado japonês à época eram: o mercado limitado e demandando grande variedade; leis trabalhistas que restringiam as demissões; sindicatos fortes e uma economia ávida por capitais e impossibilitada de adquirir tecnologias ocidentais modernas. (WOMACK, *et al*, 2004).

No intuito de se adequar a tal contexto, Eiji Toyoda, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo iniciaram a constituição do Toyotismo. Após três décadas, a Toyota tinha um sistema de produção capaz de romper com a relação inversa de proporcionalidade entre volume e variedade em voga até então. Isso foi possível a partir de alguns aspectos da produção enxuta.

Segundo Ohno (1988), o segredo do STP é buscar eliminar qualquer desperdício que ocorra entre a solicitação do cliente e o pagamento. Assim, o Toyotismo conseguiu aliar vantagens da produção em massa (volume) e da artesanal (variedade), garantindo custos competitivos para os produtos.

Segundo Shingo (1996), no STP os estoques são a origem de todos os problemas e uma busca exaustiva por sua eliminação deve ser empreendida utilizando duas políticas: reduzir lead times e evitar a superprodução fabricando lotes mínimos. Para o alcance desses objetivos foram implantadas melhorias como sincronização de processos e troca rápida de ferramentas (TRF), que permitiram reduções nos tempos de *setup*, viabilizando a redução do tamanho dos lotes e do *lead time*.

O método de programação da produção visa sincronizá-la com a demanda, produzindo na quantidade e no momento certo apenas o que é requerido. Esse princípio foi denominado *just-in-time*, sendo operado com cartões (*kanbans*) que contêm as informações necessárias à produção, criando um sistema de produção puxado.



No Toyotismo a orientação ao fluxo domina o *layout*, sendo adotados tanto o arranjo linear quanto o celular, que dispõe os recursos em “U” e permite fluxo unitário e polivalência. O papel das pessoas é outro fator importante, pois, enquanto no Fordismo elas são intercambiáveis, na Toyota é comum o emprego vitalício, e, apesar de um ritmo de trabalho forte, comprometimento e autonomia são altos. (WOMACK & JONES, 2003; WOMACK, *et al.*, 2004).

3. EDUCAÇÃO POR MEIO DE MÉTODOS PARTICIPATIVOS

A exigência do mercado por profissionais competentes e qualificados deve ser suprida por aplicações de métodos de ensino mais aprimorados, pelos quais o aluno desenvolva não apenas a capacidade de repetir assuntos ou apresentar o conhecimento adquirido em provas e exames. No âmbito profissional, o engenheiro é exigido nas mais diversas características fundamentais para o ambiente de trabalho atual, tais como a resolução de problemas, o uso da criatividade, o trabalho em grupo e a conexão de diferentes temas na realização de determinada atividade (visão sistêmica).

Estudiosos da capacidade cognitiva humana, como Howard Gardner e Jean Piaget, sugerem em suas teorias, Inteligências Múltiplas e Epistemologia Genética, respectivamente, a importância da interação com o meio social e físico para a construção do conhecimento de um indivíduo. Neste contexto, a busca por melhorias nas práticas pedagógicas de ensino estão cada vez mais direcionadas a métodos que tornam o estudante um ente ativo no processo de ensino aprendizagem.

Os métodos participativos, por exemplo, diferem dos métodos tradicionais de ensino, nos quais os alunos se portam de maneira passiva, tão somente recebendo o conhecimento dos professores, sem qualquer cooperação e participação assídua no processo de ensino aprendizagem. Conforme Sanler (2000), esses métodos proporcionam ao estudante se tornar indivíduo ativo, criador, e a adquirir habilidades tanto para contribuir com o desenvolvimento do ambiente social no qual está inserido, quanto para o próprio desenvolvimento pessoal. Destaca ainda, que o uso de métodos participativos promove a relação mais próxima entre professores e alunos, a relação baseada na confiança em si mesmo e no outro, a compreensão, o respeito mútuo, a abertura ao diálogo, a flexibilidade, e diversos outros aspectos. Para isto, o professor deve ser, sobretudo, promotor, facilitador, dinâmico e líder do processo de ensino aprendizagem, coordenando-o de maneira coletiva.

Alguns dos métodos de ensino classificados como participativos são a aprendizagem pela solução de problemas, estudo de caso, ensino com pesquisa (desenvolvimento de projetos), visita técnica, aplicação de jogos e simulação. (MORAIS, 2009).

A Aprendizagem pela Solução de Problemas (*Problem based Learning* - PBL) consiste na exposição de novas situações ao aluno, exigindo sua capacidade de reflexão, criatividade e análise crítica. Deste modo, desenvolve aptidões para interpretar, planejar, elaborar hipóteses, realizar análise de alternativas e tomar decisões, além de estimular sua imaginação.

O estudo de caso é meramente a investigação de um fato ou fenômeno da realidade. Trata-se, portanto, de visitas ao local de estudo, observação do fato ou do fenômeno, coleta de dados e informações, concepção do plano de elaboração para registrar os resultados, dentre outras atividades que possibilitam o aprendizado de diversas formas.

O ensino com pesquisa permite o aprendizado de forma autônoma. A finalidade é tornar o aluno familiarizado com o ambiente da pesquisa e despertar sua capacidade de análise, bem como ampliar tanto sua linguagem técnica, quanto o acesso a bibliografias diversas. Por sua vez, a visita técnica além de possibilitar a associação do conhecimento teórico com a



realidade prática, propicia a visualização e a vivência da maneira como os processos são aplicados, executados e gerenciados.

A simulação é utilizada como ferramenta de aprimoramento do ensino. Apesar de representar uma simplificação da realidade, pode ser facilmente manipulada de modo a reproduzir diferentes resultados, demonstrando as características e peculiaridades do cenário desejado. Segundo Tubino e Shafranski *apud* Costa (2006), a simulação permite que ideias, teorias e conceitos sejam testados de maneira simples e rápida, possibilitando a avaliação de seus impactos nos resultados, além de subsidiar decisões estratégicas mais adequadas.

É importante destacar que existem diferentes tipos de simulações, dentre elas as simulações computacionais, por meio do uso de *softwares*, e as simulações por meio de dinâmicas ou jogos, sendo este último tipo o objeto de análise neste artigo.

Por fim, Costa (2006) afirma que simulações didáticas aplicadas através de jogos têm sido utilizadas nas práticas do ensino e têm incentivado a participação ativa do aluno, tornando o aprendizado mais eficiente.

Essa constatação de Costa (2006) é corroborada quando se percebem diversos relatos de experiências participativas de ensino, tais como: o uso de um jogo de dados para mostrar o efeito da variabilidade no fluxo de trabalho para atividades dependentes e sequenciais; colagem de peças de cartolina que simbolizam as várias etapas da obra, para o ensino da técnica de programação por linha de balanço; um jogo de montagem de casas tipo Lego® com o objetivo de avaliar o comportamento dos jogadores com relação aos princípios da construção enxuta; uma dinâmica de ensino através de bloquinhos de montagem Lego batizada e uma simulação do comportamento de sistemas de produção por meio de *softwares*, especificamente o Arena. (TOMMELEIN, 1999; SANTOS *et al.*, 2002; SAFFARO *et al.*, 2003; PINHO *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2006).

4. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO

A metodologia elaborada visava simular a produção de robôs compostos de blocos de montar plásticos conforme os paradigmas de produção artesanal e industrial. Para tanto, foram modeladas cinco cenários de simulação, na seguinte sequência: Artesanal, Fabril, Taylorista, Fordista e Toyotista.

Posteriormente, foram selecionadas as variáveis de interesse para internalização dos conceitos inerentes aos sistemas de produção simulados e as personagens a serem interpretadas pelos alunos. As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, as considerações para cada variável e cada personagem nos cinco cenários de simulação.

Tabela 1 - Definição do Comportamento das Variáveis em Cada Cenário

Variável	Artesanal	Fabril	Taylorista	Fordista	Toyotista
<i>Setup</i>	Artesão busca pelo material	Operador escreve “mudança de produto” em um papel.		N/A.	Não há (uso da TRF).
Variedade	4 modelos.	2 modelos .		1 modelo .	3 modelos .
<i>Layout</i>	Posicional.	Departamental.		Linear.	Celular.
Lote	N/A.	3 peças.		N/A.	1 peça.
Programação da produção	Definidos pelos artesãos.	Empurrada a partir de previsão e ajustada conforme pedidos.		Produção para estoque.	Sistema <i>kanban</i> (puxada).
Método de trabalho		Sem definição clara.	Instruções de Trabalho (ITs) para cada posto.		Colaboração (polivalência).



Tabela 2 - Definição das Atividades das Personagens de Cada Cenário

Personagem	Artesanal	Fabril	Taylorista	Fordista	Toyotista
Operador / artesão	Busca material e monta o robô	Monta uma das três etapas do robô (pernas, tronco, cabeça + montagem final).			
Movimentador de materiais	N/A.	Movimentar materiais entre almoxarifado, postos e expedição.	Movimentar materiais entre almoxarifado, postos e expedição.		
Programador de produção	N/A.	Emite ordens de produção p/ cada posto.	N/A.		
Apontador de produção	Preenche os controles para apuração de indicadores.				
Inspetor de qualidade	Verifica a conformidade dos produtos acabados e contabiliza retrabalhos e refugos.				
Cliente	Coloca os pedidos conforme orientação relativa ao comportamento da demanda.				

Afora isto, foi elaborada uma ordem de movimentação, introduzida no cenário Taylorista, para representar o estudo do método de trabalho, no intuito de racionalizar a forma de transporte de materiais e a alimentação dos postos de trabalho, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Orientação da Movimentação de Materiais

Posto de Trabalho	Quantidade de Peças de Cada Tipo		
	4 furos	6 furos	8 furos
Posto 1	2	2	-
Posto 2	1	2	1
Posto 3	1	1	-

Finalmente, foram elaboradas fichas para registro de dados das simulações, a partir das quais foi possível apurar informações acerca de: volume de produção (quantidade de produtos fabricados), nível de atendimento (quantidades de produtos entregues e tempo médio de entrega), qualidade (quantidade de peças refugadas e de retrabalhos), níveis de estoque (peças em processo e de produtos acabados) e produtividade (quantidade de produtos fabricados por minuto e quantidade de produtos entregues por minuto).

5. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DESENVOLVIDO

Para verificar a coerência entre os resultados das simulações e as características dos respectivos sistemas de produção, serão analisados os indicadores apurados em cada rodada da dinâmica aplicada em sala de aula (Tabela 4).

Através do conjunto de dados apresentados na Tabela 4 pôde-se construir o gráfico apresentado na Figura 1, que utiliza duas variáveis: volume e variedade. Ela mostra uma relação de inversa proporcionalidade entre volume e variedade, considerando as simulações da produção artesanal, industrial, Taylorista e as duas práticas Fordistas. Ainda é possível perceber que o Sistema Toyota apresenta um desempenho intermediário em relação às variáveis, mostrando que seus idealizadores encontraram um caminho diferenciado que quebra a relação esperada entre essas variáveis.

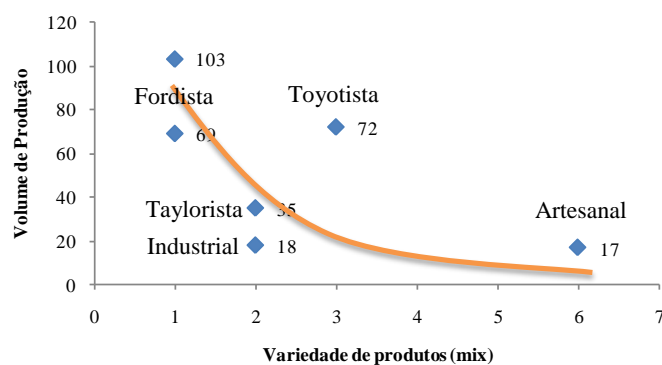


Tabela 4 - Resultado das Rodadas de Simulação dos Sistemas de Produção Industrial

Indicadores	Artesanal	Industrial	Taylorista	Fordista 1	Fordista 2	Toyotista
Mix de produtos	6	2	2	1	1	3
Robôs pedidos	16	24	37	68	104	72
Robôs entregues	13	15	32	68	99	72
Robôs produzidos	17	18	35	69	103	72
Produtividade bruta	1,1	1,2	2,3	4,6	6,9	4,8
Produtividade líquida	0,9	1,0	2,1	4,5	6,6	4,8
Peças em processo	40	86	15	158	11	85*
Estoque de PA	0	2	3	1	4	5*

Tanto é assim, que foi possível traçar uma curva que se ajusta relativamente bem aos pontos do gráfico quando se desconsidera a simulação do Sistema Toyota. O perfil da referida curva confirma a relação de proporção inversa. Assim sendo, relativamente a essas duas variáveis (volume e variedade), percebeu-se que a simulação representou com fidelidade o comportamento dos sistemas, estando adequadas à aplicação didática.

Figura 1 - Volume vs. Variedade de Robôs em Cada Sistema de Produção



Por outro lado, tal afirmação não deve desconsiderar alguns aspectos que não foram tão fidedignos com os sistemas simulados. Observe-se, primeiramente a diferença entre a produção (17 robôs) e os pedidos (16 robôs) no processo artesanal. Considerando que a produção é contra pedido, tal fenômeno não deveria ocorrer. Isso foi atribuído a um equívoco no entendimento da quantidade solicitada pelo cliente por parte de um estudante que fazia o papel de artesão.

Outro aspecto incongruente percebido foi o baixo crescimento do volume de produção ocorrido entre a mudança do paradigma de produção artesanal (17 robôs) para a industrial (18 robôs). As causas identificadas para o problema foram: (a) a aprendizagem dos estudantes na execução do trabalho dividido entre postos e numa sequência dependente de processos, (b) a dificuldade dos estudantes em interpretar uma previsão de demanda e programar a produção conforme ela, (c) a dificuldade dos estudantes em manter os postos de trabalhos alimentados com matéria-prima e (d) a limitação tecnológica da simulação, pois não ocorreu a introdução de máquinas na mudança de paradigmas, e os processos de montagem mantiveram-se todos manuais.

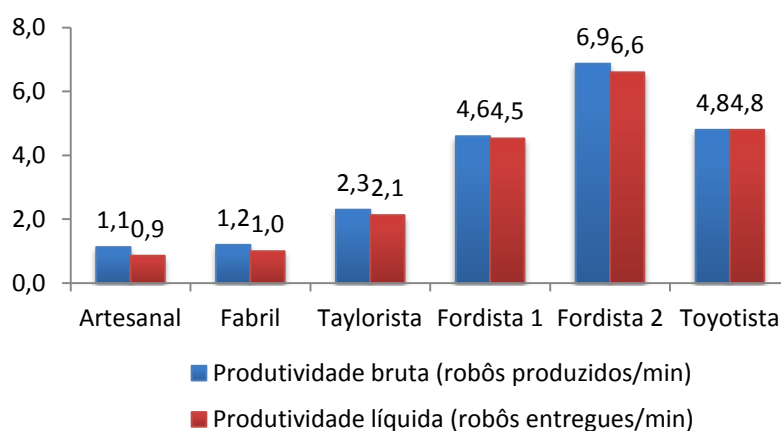
Voltando aos dados da simulação, foi possível construir a Figura 2, que apresenta o comportamento do aspecto produtividade, ou seja, a relação ou taxa de saídas sobre as



entradas de um sistema. Neste caso foram calculadas a Produtividade Bruta (robôs produzidos/min) e a Produtividade Líquida (robôs entregues/min) para cada sistema. As saídas foram entendidas como o número de robôs e como entrada analisada foi o recurso tempo de simulação.

Analisando a Figura 2, é possível perceber um crescimento da produtividade – bruta ou líquida – entre cada simulação. A exceção à regra é o Sistema Toyota, no qual há uma queda no indicador. Tal comportamento deve-se ao aumento da variedade de produtos montados. Mais uma vez, pode-se afirmar que a simulação reflete as características dos sistemas reais objeto da prática didática, havendo coerência entre o que apresentam as Figuras 1 e 2.

Figura 2 - Produtividade Bruta e Líquida em Cada Simulação



Ainda utilizando os dados presentes na Tabela 4, é possível realizar a análise do comportamento dos estoques – tanto de peças em processo quanto de produtos acabados. Para tal, foi elaborada a Figura 3, de onde é possível tirar algumas conclusões importantes.

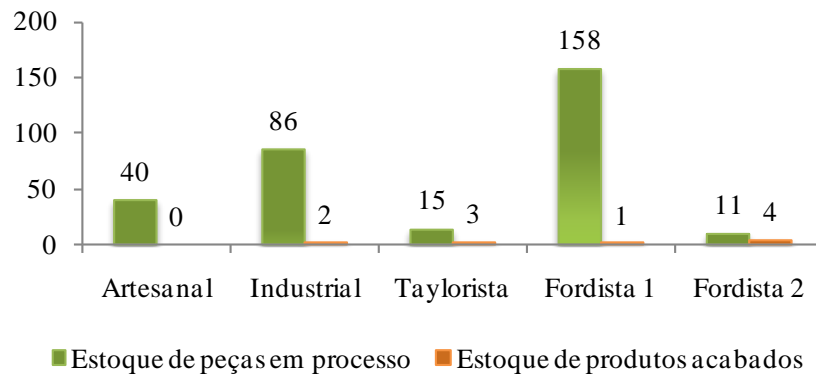
No sistema artesanal, apesar da produção (17) ter sido superior aos pedidos (16), não houve nenhum estoque de produto acabado. Considerando que foram entregues 13 robôs aos clientes, os 4 demais foram produzidos com defeitos. Consequentemente, o estoque final ficou zerado. O comportamento do estoque em processo (40 peças) é explicado pelo processo de tentativa e erro no qual o artesão escolhia as peças que achava coerentes para a produção do produto, mas, como há um projeto prévio, há necessidade de uma maior disponibilidade de matéria-prima.

A mudança para o paradigma industrial fez com que o volume de peças em processo aumentasse muito, principalmente ao final da simulação, quando os estudantes tentaram compensar atrasos ocorridos na falta de alimentação de matéria-prima nos postos de trabalho. Do ponto de vista dos produtos acabados, a não confirmação de previsões de vendas explica o ocorrido. Tudo isso caracteriza um sistema industrial, ainda que mal administrado.

Com a introdução do Taylorismo, foram estudados os métodos de trabalho, a forma de transporte de materiais e a alimentação dos postos de trabalho. Como resultado, houve um aumento do volume de produção e a redução das peças em estoque. A partir do momento que os movimentadores utilizaram a ordem de movimentação (Tabela 3), o problema da falta de alimentação ocorrido no cenário anterior foi resolvido. Isto porque o tempo de busca do material no almoxarifado reduziu consideravelmente. Por outro lado, o problema da previsão de vendas persistiu para os produtos acabados.



Figura 3 - Comportamento dos Estoques de Peças e Produtos Acabados nos Sistemas de Produção Simulados



No sistema Fordista, um dos aspectos mais importantes de uma linha de produção é o balanceamento da capacidade entre as operações, de modo a evitar a formação de gargalos e de estoque de material em processo. Esse aspecto foi visualizado na melhoria realizada no balanceamento da simulação Fordista 1 para a Fordista 2. A melhoria implantada fez o estoque em processo diminuir de 158 para 11 peças.

Para o sistema Toyota, antes do início da simulação as etapas do processo foram preenchidas com produtos em processamento e robôs acabados em estoque necessários para fazer a simulação da programação da produção puxada com o sistema *kanban*. Sendo assim, os estoques devem ser analisados não apenas por seu volume final, mas pela diferença entre o início e o fim da simulação. Em se tratando de peças, o sistema foi alimentado com 135 e finalizou com 85. Por sua vez, considerando os produtos acabados, a simulação foi iniciada com 9 e terminou com 5 robôs. Ambos os resultados mostram a tendência do sistema em eliminação de estoques e suas danosas consequências financeiras.

Isto posto, pode-se afirmar que a dinâmica pedagógica preparada é adequada para representar o comportamento dos fenômenos produtivos que buscava simular, não obstante às limitações identificadas. Mesmo quando os resultados da dinâmica não apresentaram total coerência com as características dos modos de produção simulados, houve ganhos didáticos, pois os estudantes foram estimulados a analisar as causas das incoerências. Ao conseguir realizar essa análise, os estudantes provaram que realmente internalizaram os principais conceitos e características dos diferentes sistemas de produção. Sendo assim, julgou-se adequado ao ensino dos conceitos relativos aos sistemas de produção de bens em questão.

A aplicação de tal atividade em sala de aula, realizada em complemento à aula expositiva, tem sido de grande importância para os estudantes. O alto grau de interesse e participação dos alunos nos dias da simulação são visíveis, bem como o comprometimento de cada um no desempenho das funções que lhes são atribuídas, seja de operador, movimentar, supervisor ou apontador de produção.

Ao final da simulação de cada sistema os estudantes tendem a naturalmente apresentar suas impressões sobre o sistema de produção em questão, buscando explicações para o volume de produção encontrado, sua relação com a variedade de produtos, com o projeto dos robôs, com dificuldades de previsão da demanda para o ajuste de estoques etc. É unânime entre os alunos das turmas que participaram desta atividade que o aprendizado foi facilitado pelo uso da dinâmica com os blocos de Lego®.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de métodos participativos de ensino tem por objetivo o desenvolvimento de uma aprendizagem mais ativa, onde o estudante se torna também responsável pelo desenvolvimento dos temas através da sua inserção com ele.

Quando se planeja executar uma atividade como a apresentada neste trabalho, diversos cuidados devem ser tomados, pois a diversidade de aspectos, atributos ou variáveis dota as simulações de complexidade tal, que devem ser verificadas se o resultado da aplicação do método condiz com a realidade que se deseja simular.

Todavia, como este trabalho não trata de simulações computacionais, onde é possível a realização de testes que precedem à apresentação da dinâmica aos estudantes, a saída mais conveniente foi verificar tal adequação após a aplicação da prática proposta.

Como os resultados analisados mostraram, existe coerência entre as características dos sistemas de produção simulados e aquilo que os resultados das simulações mostraram. Os resultados que tiveram qualquer tipo de incoerência se deveram a problemas na aplicação da metodologia e não na metodologia em si. Deste modo, pode-se concluir que a prática pedagógica preparada está adequada para apresentar os referidos temas. Além disso, a verificação de aprendizagem por meio da participação dos estudantes em sala de aula, bem como a confecção de relatórios da simulação, mostra um ganho em internalização e conexão de conceitos, além de um amadurecimento mais rápido no entendimento de características que só seriam percebidas durante semestres posteriores do curso ou até mesmo na atividade de estágio curricular obrigatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARNES, R.M., “Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho”, Edgard Blücher, 1977.

BELHOT, R.V. “A Didática no Ensino de Engenharia”, XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE, 2005.

BEYNON, H., “Trabalhando para Ford – Trabalhadores e sindicalistas na indústria automotiva” Ed. Paz e Terra, 1995.

BOTELHO, A., “Do fordismo à produção flexível: a produção do espaço num contexto de mudança das estratégias de acumulação do capital”, Dissertação, USP, 2000.

CHIAVENATO, I., "Introdução à Teoria Geral da Administração", McGraw-Hill, 2004.

COSTA, A. C. F. et al., “O mapeamento do fluxo de valor aplicado a uma fábrica de montagem de canetas simulada”, In: XXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO XXVI ENEGEP, 2006, Fortaleza. Anais do XXVI ENEGEP, 2006.

DAL PIVA, C. Competências pedagógicas da docência e contribuição com o processo de ensino-aprendizagem para alunos universitários. Revista de Educação, Vol. 13, Nº 16, 2010.



DEL FIACO, J. L. M., “Métodos participativos: fundamentação teórica e um plano de aula para a disciplina teoria geral da administração, segundo o enfoque cultural e a teoria da atividade”. Disponível em <<http://unievangelica.edu.br/gc/imagens/file/revistaadministracao/pdf2/MetodosParticipativos2.pdf>>. Acesso em <21.mai.2012>

FELDER, R.M., BRENT, R., “Designing and Teaching Courses to Satisfy the ABET Engineering Criteria”, Journal of Engineering Education, Vol 92, No 1, 2003, p.7-25.
HARVEY, D., “A Condição Pós-moderna”, Loyola, 1989.

KRICK, E. V. “Métodos e sistemas: desenvolvimento e avaliação dos métodos de trabalho”, Livros Técnicos e Científicos, Vol. 2, 1971.

MORAIS, M. F., “A utilização de métodos participativos no ensino de Engenharia de Produção: o caso do curso de Engenharia de Produção Agroindustrial da Fecilcam”, In: Encontro de Produção Científica e Tecnológica, 2009, Campo Mourão. Anais do IV EPCT 2009.

OHNO, T. “Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production”, Productivity Press, 1988.

PRINCE, M. “Does Active Learning Work? A Review of the Research”, Journal of Engineering Education, Vol 93, No. 3, 2004, p.223-231.

SHINGO, S. “Sistemas de Produção com Estoque Zero: O Sistema Shingo para Melhorias Contínuas”, Bookman, 1996.

SMITH, A., “A Riqueza das Nações”, Nova Cultural, 1996.

SORENSEN, C.E., WILLIAMSON, S.T. “My Forty Years with Ford, New York”, Norton, 1956.

TAYLOR, F.W., “The Principles of Scientific Management”, Project Gutenberg, 1911.

TIGRE, P.B., “Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil”, Elsevier, 2006.

WOMACK, J.P. et al. “A Máquina que Mudou o Mundo”, Elsevier, 2004.

WOMACK, J.P., JONES, D.T., “Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation”, Simon & Schuster, 2003.