

Adaptações ao sistema *kanban*: revisão, classificação, análise e avaliação

Muris Lage Junior
Moacir Godinho Filho



Resumo

Este trabalho realiza uma revisão bibliográfica com o intuito de identificar, classificar e analisar as adaptações do sistema kanban propostas na literatura. Foram estudados 33 sistemas diferentes que foram classificados com base em seis categorias: o ano de publicação, o número de características originais mantidas na adaptação, as diferenças de operacionalização em relação ao sistema kanban original, as vantagens e desvantagens das adaptações em relação ao sistema original e a forma como foi desenvolvida a adaptação. É apresentado um breve resumo de cada uma das adaptações, integrando os esforços dispersos empreendidos por vários pesquisadores com relação ao aperfeiçoamento do sistema kanban e sua adequação às novas ou diferentes necessidades dos sistemas produtivos. Constatou-se, dentre outros pontos, que o desenvolvimento dos sistemas adaptados encontra-se numa fase inicial, uma vez que a maioria das propostas são apenas proposições teóricas que devem ser levadas em consideração para a geração de formas mais apropriadas à prática.

Palavras-chave: Sistema kanban. Adaptações. Revisão.

1 Introdução e objetivos do trabalho

O *kanban* é um subsistema do sistema Toyota de produção (STP) usado para controlar os estoques em processo, a produção e o suprimento de componentes e, em determinados casos, de matérias-primas. Definido como um sistema de coordenação de ordens de produção e compra (SCO) por Fernandes e Godinho Filho (2007), o sistema *kanban* controla a produção dos produtos necessários, na quantidade e no momento necessários.

A tradução literal da palavra *kanban* é anotação visível, ou sinal. De modo geral, vem-se empregando na literatura esta palavra com o significado de cartão, pois o sistema *kanban* é conhecido por empregar determinados cartões para informar a necessidade de entregar e/ou produzir certa quantidade de peças ou matérias-primas. Em muitos trabalhos, nota-se a utilização indiscriminada da palavra *kanban* - significando tanto “cartão”, como se referindo ao “sistema” propriamente dito. Neste artigo utiliza-se a seguinte distinção de termos: os cartões ou sinais empregados são tratados por “sinalizadores”, reservando-se, conseqüentemente, a palavra *kanban* ao sistema como um todo.

Na utilização do sistema *kanban* pressupõe-se que exista determinada quantidade de peças nos armazéns (estoques) entre as estações de trabalho. Em outras palavras, é assegura-

da a disponibilidade de peças suficientes para a formação dos produtos num dado período de trabalho. O processo subsequente, visto como um “cliente” deve ir ao processo precedente, o “fornecedor”, para adquirir as peças necessárias já prontas. O processo precedente, por sua vez, produz a exata quantidade retirada, reabastecendo o armazém, entendido como um “supermercado”. Existe um considerável número de possibilidades no uso deste esquema, visto que se podem combinar diferentes tipos e quantidades de sinalizadores, formas de retirada, pontos de programação, tipos de armazéns ou estoques, etc. Com isso, a partir deste ponto tratar-se-á como “sistema *kanban* original” apenas o sistema que possuir as seguintes características:

- a) utilização de dois sinalizadores: um sinalizador de ordem de produção e um sinalizador de requisição. O sinalizador de ordem de produção autoriza a produção de peças para repor as requisitadas para uso em estações subsequentes, sendo usado apenas no centro de processamento que produz a peça, ou seja, é um mecanismo de controle dentro do processo. Já o sinalizador de requisição é um mecanismo de controle entre os processos, ou seja, autoriza o movimento de peças das estações de alimentação às estações de uso, funcionando como

uma espécie de passaporte, informando o que deve ser reposto;

- b) a produção é puxada por meio do controle do nível dos estoques finais ou pela programação do último estágio produtivo. Essas duas possibilidades são denominadas por Fernandes e Godinho Filho (2007) de sistema *kanban* CNE de duplo cartão e sistema *kanban* H de duplo cartão, respectivamente;
- c) a rotina de funcionamento é assegurada de forma descentralizada, por meio do controle visual realizado pelos próprios operários do processo em cada etapa produtiva; e
- d) os estoques são limitados em cada estação de trabalho, ou seja, possuem capacidade finita, determinada pelo número de sinalizadores.

Este sistema, assim como muitos outros, foi gerado em um dado momento e para atender às necessidades específicas de uma empresa em particular (no caso a Toyota), ou seja, para funcionar efetivamente dentro de determinadas condições produtivas e competitivas. Uma vez que essas condições naturalmente não são as mesmas para todas as organizações, a utilização do sistema *kanban* possui uma série de restrições bastante tratadas na literatura (OHNO, 1982; MONDEN, 1984; AGGARWAL, 1985; GRUNWALD et al., 1989; SIPPER; BULFIN, 1997; VOLLMANN et al., 1997; FUJIMOTO, 1999; WHITE; PRYBUTOK, 2001; dentre muitos outros). O Quadro 1 a seguir resume essas condições desfavoráveis e os respectivos motivos.

Essas mesmas condições cada vez mais são impostas às indústrias, como resultado das transformações recentes do ambiente competitivo. De acordo com Sipper e Bulfin (1997) dentre as várias mudanças, o crescimento da sofisticação do consumo tem sido a mais importante.

Os consumidores estão buscando pontualidade, variedade, baixo custo e alta qualidade. A flexibilidade é uma exigência que as companhias devem atender a fim de sobreviver e prosperar neste ambiente (STARR, 1988). Vollmann et al. (1997) ainda destacam que a diminuição do ciclo de vida do produto é uma característica presente nestas mudanças, e que isto tem gerado um movimento para uma competição baseada no tempo.

Diante da dificuldade de utilizar o sistema *kanban* na forma como foi concebido nessas situações adversas que se apresentam atualmente, foram criados sistemas adaptados (diferentes do “original”), os quais podem ser mais apropriados em relação à realidade em que atuam as empresas. Uma vez que o SCO é o principal determinante do desempenho de um sistema produtivo, é fundamental conhecer suas propriedades, aplicações, indicações, vantagens e desvantagens.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é, por meio de uma revisão da literatura, ou seja, de uma pesquisa do tipo bibliográfica (VERGARA, 2004), identificar, classificar e analisar as adaptações do sistema *kanban* propostas para superar suas ineficiências diante das condições ditas desfavoráveis ao seu emprego na manufatura. A classificação, ferramenta essencial para o conhecimento (GOOD, 1965), é proposta neste trabalho como forma de integração dos esforços dispersos empreendidos por vários pesquisadores com relação ao aperfeiçoamento do sistema *kanban*, amplamente conhecido e estudado, e sua adequação às novas ou diferentes necessidades dos sistemas produtivos. A revisão, além de condensar as pesquisas e resultados alcançados, proporciona um melhor entendimento do funcionamento desses sistemas e, além disso, na prática, serve de base para se projetar e/ou selecionar essas adaptações de forma adequada às condições

Quadro 1. Condições desfavoráveis à utilização do sistema *kanban* e seus motivos.

Condição desfavorável	Motivo
Produção desnivelada	Cria intervalos irregulares entre as ordens controladas pelo sistema <i>kanban</i> e a necessidade de manter níveis de estoque maiores.
Instabilidade dos tempos de processamento	Ocasiona a escassez de certos itens e excesso de outros, a menos que se mantenham níveis altos de estoque; e O sistema produtivo é constantemente interrompido, a menos que se mantenham níveis altos de estoque.
Não padronização das operações	Gera um alto grau de variação nos tempos de processamento, tempos de espera, tempos de <i>setup</i> e de operação dos trabalhos realizados em cada estágio produtivo, gerando, portanto, instabilidade e necessidade de manter altos níveis de estoque.
Tempos de <i>setup</i> grandes e/ou lote mínimo de produção com muitas peças	Geram aumento dos estoques em função do aumento do lote de produção e consequentemente desregula o nivelamento.
Grande variedade de itens	Aumenta a complexidade do fluxo de materiais, dificulta a adaptação dos painéis de cartões, cria irregularidades nos tempos e diminui a repetibilidade do sistema produtivo.
Demanda instável	Cria a necessidade de manter altos níveis de estoque, gera instabilidade interna nas operações e dificulta o nivelamento da produção.
Incertezas no abastecimento de matérias-primas	Impõem a necessidade de manter altos níveis de estoque de matérias-primas.

em que se encontra um dado sistema produtivo. Outra contribuição deste trabalho é a demonstração da evolução da utilização do sistema *kanban*, constatando o que há de novo com relação aos conceitos associados a este sistema, e demonstrando suas vantagens e desvantagens.

Para alcançar tais objetivos, o presente trabalho foi estruturado da seguinte maneira: na seção 2 é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa e a estrutura do sistema de classificação proposto; na seção 3, é realizada a revisão bibliográfica de todas as adaptações identificadas na literatura; em seguida esta revisão é devidamente classificada utilizando-se o sistema de classificação; na seção 4, são realizadas as análises dos sistemas adaptados; e finalmente, na seção 5, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2 Metodologia

A revisão bibliográfica é um método bastante utilizado para examinar, de forma abrangente, diferentes abordagens sobre o tema a ser estudado. No caso deste trabalho, a literatura a respeito das adaptações do sistema *kanban* é revisada tendo-se como base a estrutura metodológica proposta por Godinho Filho e Fernandes (2003), mostrada na Figura 1.

A pesquisa foi realizada em várias bases de dados como, por exemplo, o COMPENDEX, onde foram identificadas 33 adaptações do sistema *kanban*. Além das bases de dados internacionais, foram pesquisados dois periódicos nacionais, a revista *Gestão e Produção* e a revista *Produção*, e os anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) e do Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP). Após a identificação e análise dos artigos, foi desenvolvido o sistema de classificação, detalhado na subseção 2.1. Em seguida, as adaptações foram segregadas para permitir uma análise mais objetiva desses sistemas. Isto é apresentado nas seções 3 e 4.

Por fim, pode-se obter um melhor conhecimento do tema e sugerir pesquisas futuras, na seção 5.

2.1 Estrutura da classificação proposta

O sistema de classificação proposto, após a revisão prévia dos trabalhos publicados na literatura, é composto pelas seguintes categorias, identificadas por letras maiúsculas:

- (A) as características do sistema *kanban* original mantidas na adaptação;
- (B) as diferenças de operacionalização em relação ao sistema *kanban* original;
- (C) as vantagens em relação ao sistema *kanban* original;
- (D) as desvantagens em relação ao sistema *kanban* original; e
- (E) a forma como foi desenvolvida, aplicada ou testada a adaptação.

A seguir são detalhadas estas cinco categorias e, a fim de facilitar a análise e a junção dos sistemas em um único quadro comparativo, é proposta uma codificação dos atributos relacionados a esses parâmetros e elementos.

Com relação à categoria (A), tem-se que as características originais do sistema *kanban* (já identificadas na seção 1 deste trabalho) são: uso de dois sinalizadores, um como ordem de produção e outro como autorização para a transferência de materiais; puxar a produção; controle descentralizado; e limitação do nível máximo de estoque. Dessa forma, a classificação quanto ao número de características originais mantidas na adaptação pode assumir os seguintes valores: (0) caso nenhuma das características anteriores seja preservada na adaptação; (1) se apenas uma destas características estiver presente no sistema adaptado; (2) se forem duas; e (3) se forem três.

Para identificar não apenas quantas, mas quais são estas características, os seguintes códigos são utilizados:

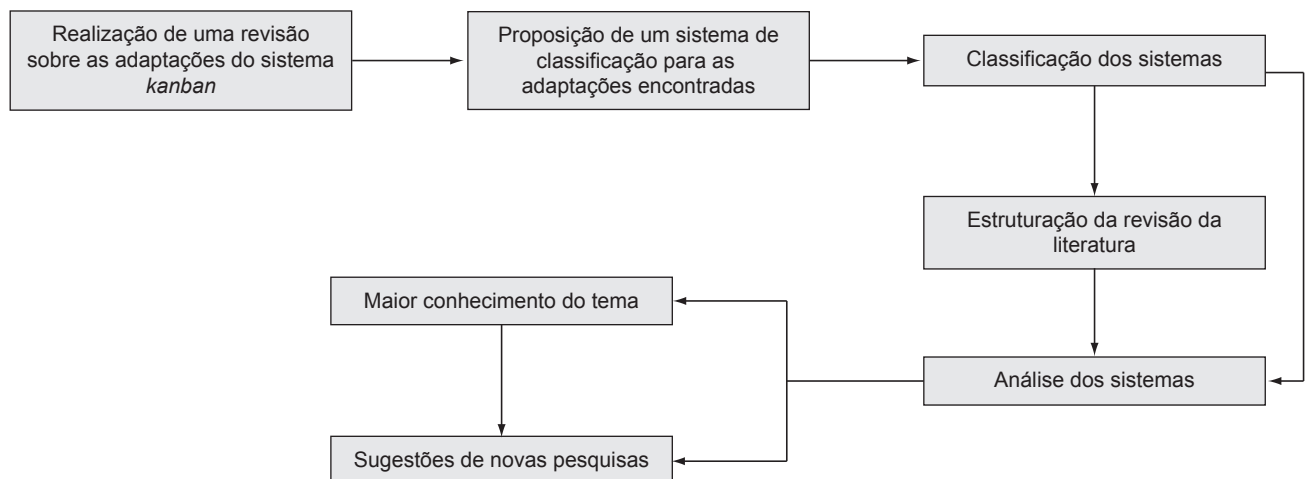


Figura 1. Estrutura metodológica do trabalho. Fonte: Adaptado de Godinho Filho e Fernandes (2003).

PP - puxar a produção; CD - controle descentralizado; LE - limitação do nível máximo de estoque; e US - uso dos sinalizadores como ordem de produção e como autorização para a transferência de materiais.

Portanto, para o primeiro parâmetro de classificação tem-se uma codificação dupla, representada por um número inteiro de 0 a 3 e por letras como, por exemplo, 2 (PP,CD) – que representa uma adaptação que mantém duas das características originais (2), sendo essas características puxar a produção (PP) e controlar a produção de forma descentralizada (CD).

A categoria (B), as diferenças de operacionalização em relação ao sistema *kanban* original, diz respeito justamente às modificações realizadas nestes sistemas, ou seja, de que forma a adaptação modificou a operação em relação ao sistema *kanban* original. Foram identificadas durante a revisão dos sistemas adaptados em geral as seguintes classes, representadas por números:

- (1) níveis máximos de estoque variáveis: os estoques, durante o período produtivo, podem variar de tamanho, ou seja, os valores máximos de estoque permitidos variam. No sistema *kanban* original, a variação dos níveis de estoque não é sistematizada, embora possa haver mudanças nas quantidades máximas entre períodos;
- (2) alterações no uso dos sinalizadores: neste caso, como existe mais de uma possibilidade de mudança na utilização dos sinalizadores, uma subdivisão é utilizada:
 - (2.1) alteração na regra de transferência dos sinalizadores: estes casos são caracterizados por utilizarem normas para a retirada e circulação

dos sinalizadores diferentes da norma do sistema *kanban* original;

- (2.2) atributos físicos dos sinalizadores: neste caso estão os sistemas que não utilizam sinalizadores na forma material como: cartões, anéis, alfinetes, etc;
- (2.3) tipo de sinalizador: diz respeito aos sistemas que modificam o conceito original de utilizar dois sinalizadores, um para ordenar a produção dentro de um processo e outro para autorizar a transferência de materiais entre os processos;
- (3) coleta e/ou utilização das informações: se refere às adaptações que coletam e aplicam informações relativas, por exemplo, à demanda ou aos níveis de estoque de forma diferente do sistema original (o qual utiliza basicamente controle visual);
- (4) funcionamento: dentro deste tipo estão todos os sistemas que propõem alterações significativas no conceito original de funcionamento, tornando a adaptação consideravelmente diferente do sistema *kanban* proposto pela Toyota; e
- (5) liberação dos materiais: se refere às adaptações que modificam a forma e/ou regra para liberar as peças, tanto dentro de cada operação como entre as operações.

As vantagens das adaptações em relação ao sistema original, a categoria (C), estão expostas na Tabela 1 a seguir, assim como os códigos da classificação.

Com relação às desvantagens, na categoria (D), foram extraídas da revisão as classes: AC – aumento da complexidade de utilização; AM – aumento da movimentação de operários e de contenedores; AT – possibilidade de

Tabela 1. Códigos e vantagens das adaptações.

Código	Vantagem
A	Pode ser utilizado mesmo que as estações de trabalho estejam muito distantes entre si
B	Reduz a probabilidade de erros associados ao manuseio de sinalizadores (extravios e trocas)
C	Reduz o tempo de transferência e movimentação dos sinalizadores
D	Pode ser utilizado eficazmente em ambientes competitivos com demanda instável
E	Pode ser utilizado eficazmente em ambientes produtivos com tempos de processamento variáveis
F	Pode ser utilizado eficazmente em ambientes produtivos com fluxo de materiais complexo
G	Pode ser utilizado eficazmente em ambientes produtivos com alta variedade de itens/produtos
H	Pode ser utilizado eficazmente em ambientes produtivos com operações automatizadas
I	Pode ser utilizado eficazmente em ambientes produtivos com máquinas de baixa confiabilidade (grande probabilidade de quebras)
J	Pode ser utilizado eficazmente em ambientes produtivos com gargalos
K	Pode ser utilizado eficazmente em ambientes competitivos com grande número de fornecedores
L	Facilita a introdução de novos produtos
M	Permite uma melhor coordenação em sistemas produtivos com operações de montagem
N	Simplifica a utilização dos sinalizadores
O	Confere flexibilidade para mudanças nos períodos de controle (diário, semanal, etc.)
Q	Permite um melhor balanceamento das cargas de trabalho
R	Evita interrupções na transferência das ordens de produção e/ou transferência de materiais
S	Reduz os níveis médios de estoque
U	Aumenta a flexibilidade no suprimento das matérias-primas

atrasos na transmissão das demandas; e ME – aumento dos níveis médios de estoque.

Todas essas vantagens e desvantagens foram evidenciadas pelos próprios autores dos artigos, tratando-se de comparações em relação ao uso do sistema *kanban* original.

Finalmente, a categoria (E), ou seja, a forma como foi desenvolvida, aplicada ou testada a adaptação, está dividida em duas classes: P – se refere às adaptações que foram desenvolvidas e/ou aplicadas na prática, ou seja, em algum sistema produtivo real; e T – diz respeito às adaptações criadas e/ou aplicadas de forma teórica, por meio de modelos matemáticos ou simulação.

Deve-se destacar neste ponto, que a classificação T não permite deduzir que nenhuma empresa tenha tentado aplicar a adaptação ou não em seu sistema produtivo.

Na seção seguinte é apresentado um breve resumo de cada adaptação. Os sistemas estão separados de acordo com a categoria (A), por meio da criação de dois eixos: as adaptações que seguem a lógica de funcionamento do sistema *kanban* original e as adaptações que não seguem. Os sistemas que seguem a lógica de funcionamento original são aqueles em que pelo menos três das quatro principais características originais são preservadas. As adaptações que possuem duas ou menos características originais são tratadas como sistemas que não seguem a lógica de funcionamento original. Este parâmetro foi elaborado tendo-se em vista que o grau das mudanças realizadas constitui-se um critério fundamental de distinção.

3 Adaptações do sistema *kanban* encontradas na literatura

3.1 Os sistemas que seguem a lógica de funcionamento original

No chamado sistema *kanban* CNE (controlado pelo nível de estoque), com somente sinalizador de ordem de produção, apenas este é empregado. A vantagem deste sinalizador com relação aos sistemas de duplo cartão é a simplicidade, pois são suprimidos os sinalizadores de requisição e há apenas uma área de estocagem entre dois centros de trabalho consecutivos. Geralmente emprega-se este tipo de sistema quando as estações de trabalho situam-se próximas e/ou o transporte das peças é fácil e pode ser realizado manualmente pelos próprios operadores. Em resumo, nenhuma estação de trabalho é programada e a produção é puxada e iniciada pelo consumo de produtos finais. Na literatura este sistema não é nitidamente considerado como uma adaptação, sendo tratado como um tipo especial chamado por Monden (1984) de “*kanban* comum”.

O sistema *kanban* H com somente sinalizador de ordem de produção é idêntico ao sistema *kanban* CNE com somente sinalizador de ordem de produção, com exceção do fato de possuir o último estágio produtivo programado, ao invés de reagir no estoque de produtos finais, sendo muito utilizado para as mesmas condições.

Vários pesquisadores como, por exemplo, Ansari e Modarress (1995), Vernyi e Vinas (2005), Argenta e Oliveira (2001) fazem menção e expõem a utilização do sistema *kanban* original com apenas uma modificação: substituição dos sinalizadores físicos por sinalizadores eletrônicos, ou seja, trocar o uso manual proposto no sistema original pelo uso virtual de sinais que representam, ora ordens de produção, ora autorização para a transferência de materiais: o sistema *e-kanban*. Esse tipo de operação, muito comum entre compradores e fornecedores, embora muito semelhante ao sistema original, trata-se de uma adaptação que possui tanto vantagens como desvantagens. As principais vantagens são: permitir melhorias nos relacionamentos com fornecedores, para o caso de os sistemas serem utilizados externamente à empresa; avaliar o desempenho dos fornecedores de forma instantânea; garantir precisão nas quantidades requeridas e transmitidas; poder ser usado em quaisquer que sejam as distâncias físicas entre as operações produtivas; e diminuir a quantidade de papéis manejados na fábrica. A utilização deste tipo de tecnologia para auxiliar o funcionamento do sistema é proposta mesmo nos primeiros artigos sobre o assunto, como o de Monden (1981), no qual são mostradas formas de utilizar a lógica de seu funcionamento entre máquinas automatizadas.

O *simultaneous kanban control system* (SKCS) e o *independent kanban control system* (IKCS) são variações do uso do sistema *kanban* original para sistemas produtivos com operações de montagem. Não se trata, portanto, de uma criação ou adaptação específica que possa ser atribuída a um determinado pesquisador ou a uma determinada organização, mas sim uma ampliação de sua aplicabilidade para casos muito comuns em manufaturas. A forma com que os sinalizadores são liberados para os estágios precedentes depende apenas da regra estabelecida. No caso do SKCS, é permitida a liberação desses sinalizadores somente quando a operação de montagem possa realmente ser iniciada. Ou seja, a informação da demanda é transmitida ao mesmo tempo para todas as estações imediatamente precedentes à estação de montagem, o que quer dizer que a necessidade é sinalizada simultaneamente. O fato de os sinalizadores serem liberados simultaneamente pode ocasionar atrasos nas transmissões das demandas. A segunda regra de gerenciamento das liberações dos sinalizadores em forma de demanda é conhecida por IKCS. Neste caso, nenhum atraso na transmissão das demandas ocorre, pois os sinalizadores são transferidos para os processos precedentes de

forma independente, ou seja, imediatamente após o transporte das peças para o processo de montagem, mesmo quando os demais componentes necessários à montagem não estejam disponíveis. Simulações realizadas por Matta et al. (2005) demonstraram, dentre outros fatos, que o IKCS é relativamente mais reativo à demanda do que o SKCS, pois a transferência das informações é mais rápida no primeiro tipo. Por outro lado, o IKCS tende a manter níveis maiores de estoque em processo, pois muitas vezes, os componentes produzidos não podem ser utilizados na montagem.

O *periodic pull system* (PPS) foi criado e demonstrado na forma de um modelo teórico por Kim (1985) como uma alternativa ao sistema *kanban* original. A ligeira diferença entre estes sistemas está relacionada à transferência de informações, sendo a proposta do PPS a de utilizar um sistema computadorizado, empregando equações matemáticas para reduzir o tempo de processamento das informações. Isso é feito por meio do gerenciamento do *status* do fluxo dos materiais em todos os processos, periodicamente. Como resultado, somente a exata quantidade de material que tenha sido consumido por uma dada estação de trabalho é produzido pelo processo correspondente. Somando-se a isso, no início de cada período são conhecidas todas as requisições de produção acumuladas e, dessa forma, o seqüenciamento das famílias de produtos e a alocação da mão-de-obra podem ser feitos antecipadamente para o período posterior. De acordo com o autor, em face a estas propriedades, os potenciais picos e vales das atividades produtivas durante o período podem ser nivelados. Os estoques são limitados como no sistema original, porém com a diferença de que a cada período pode haver mudanças nos valores máximos, de acordo com a demanda, para que não ocorram faltas. A decisão, portanto, deve determinar a quantidade a ser produzida e transportada para não exceder os níveis máximos. Algumas das vantagens do PPS, de acordo com Kim (1985) são: a flexibilidade da escolha do tamanho dos períodos (semanal, diário, etc.), menor *lead time* de transferência de informações, independência da distância geográfica entre os processos, flutuações da demanda são transferidas, porém não são propagadas para os processos à montante e possibilidade de aumento dos níveis de estoque para evitar faltas. Mais informações podem ser obtidas em Kim (1985).

O *dynamically adjusting kanban*, cujo diferencial básico em relação ao sistema *kanban* original consiste no ajuste dinâmico do número de sinalizadores (e consequentemente dos níveis de estoque), foi proposto teoricamente pelos pesquisadores Rees, Philipoom, Taylor e Huang em 1987 (REES et al., 1987). Trata-se de uma adequação às necessidades das empresas que enfrentam condições instáveis de demanda. Em Rees et al. (1987) são encontradas as equações necessárias para o cumprimento

dos cálculos relativos à alteração no número de sinalizadores. No Brasil, Danni e Tubino (1997) e Tubino e Lemos (1999) utilizam modelos de simulação baseados na proposta de Rees et al. (1987) para ajustar os parâmetros principais do sistema *kanban*.

Proposto por Seidmann (1988), o *regenerative pull control system* (RPCS) é uma adaptação da lógica de funcionamento original do sistema *kanban* para um sistema produtivo automatizado com máquinas executando processos em paralelo. O principal motivo para o desenvolvimento do RPCS foi a necessidade de atenuar os efeitos da variabilidade dos tempos de processamento nas células produtivas. Em resumo, tem-se um sistema automatizado com estoques controlados cuja principal variável de decisão é a alocação de diferentes tipos de produtos às células robotizadas em paralelo, que por sua vez servem um conjunto de estações de trabalho subsequentes que puxam essa produção. Seidmann (1988) entra em detalhes com relação às equações matemáticas envolvidas nos algoritmos computacionais utilizados no RPCS e, mais do que isso, demonstra por meio de exemplos numéricos seu funcionamento. Este sistema puxa a produção, limita o nível máximo de estoque e utiliza sinalizações eletrônicas para tomar decisões relativas à produção e transferência de materiais. O RPCS é indicado para sistemas produtivos com alta variabilidade de itens e tempos de processamento.

O *job-shop kanban* é uma proposta para sistemas produtivos do tipo *job-shop* (pequeno volume de produção e alta variedade de itens) implementada em um projeto piloto por Gravel e Price em 1988 (GRAVEL; PRICE, 1988). As principais alterações realizadas no sistema original foram no quadro de sinalizadores e nos próprios sinalizadores, que no *job-shop kanban* são associados não a produtos e sim a uma determinada operação, que pode ser realizada por mais de uma máquina e utilizando mais de uma peça. As características de produção puxada, controle descentralizado, e limitação do nível máximo de estoque são mantidas, resultando em um sistema que segue a lógica de funcionamento original, ao mesmo tempo em que oferece maior efetividade frente a uma grande variedade de itens, fluxo de materiais complexo e alta variação entre os tempos de processamento.

O *minimal blocking* é uma proposta feita por So e Pinault (1988) como uma alternativa ao sistema *kanban*, na qual o objetivo básico é determinar uma estimativa da quantidade máxima de estoques de segurança no processo de forma a compensar as variações dos tempos de processamento, as quebras de equipamentos e as flutuações da demanda. Nesta adaptação, é aplicada uma série de equações matemáticas, que têm como objetivo determinar os níveis de estoque, a fim de prover ao sistema produtivo como um todo um determinado nível de serviço ao consumidor. Esta adaptação controla de forma

descentralizada a produção, limita o nível máximo de estoque e utiliza sinalizadores como ordem de produção e como autorização para transferência de materiais. Outras informações relativas ao *minimal blocking* podem ser vistas em Bonvik et al. (1997).

O *generalized kanban control system* (GKCS) foi proposto teoricamente por Buzacott (1989) e Zipkin (1989). Trata-se da combinação com algumas alterações de dois SCO's muito conhecidos, o sistema de estoque base e o sistema *kanban*. Isso é feito por meio da manutenção de estoques de segurança, para atender instantaneamente à demanda, e da utilização de sinalizadores para a autorização da produção e para limitar os níveis de estoque. Uma desvantagem deste sistema, realçada por alguns autores, é a necessidade da definição e gerenciamento de dois parâmetros de controle por estágio, o estoque de segurança e o número de sinalizadores de ordem de produção. As principais diferenças com relação ao sistema *kanban* original é que no GKCS as demandas se movem separadamente dos sinalizadores e mesmo se não houver peças prontas nos estoques de saída das estações de trabalho, a ordem representada pelos sinalizadores é transferida para o estágio precedente, desde que haja sinalizadores disponíveis. Para diversos estudos simulados realizados nos artigos que investigam o desempenho deste sistema, a vantagem do GKCS mais evidente é sua flexibilidade e aderência às flutuações da demanda. Um maior detalhamento do GKCS é encontrado em Frein et al. (1995), Karaesmen e Dallery (2000), Dallery e Liberopoulos (2000), Baynat et al. (2002).

Criado e implementado na prática por uma equipe liderada por Steve Otenti, por volta de 1989 e descrito em 1991, o *modified kanban system* (MKS) trata-se de uma modificação do sistema *kanban* para ser utilizado em uma fábrica de semicondutores, cujas características impediam a implantação do sistema original puro (OTENTI, 1991). A principal motivação para o desenvolvimento deste sistema foi a irregularidade dos carregamentos nas linhas de produção, causada por problemas operacionais que mesmo depois de resolvidos deixavam dificuldades residuais que impactavam no processo produtivo durante algum tempo. O princípio básico de funcionamento do MKS é dividir as operações em grupos ou centros de controle de estoque e, dentro de cada grupo, criar uma limitação dos estoques, por meio de sinalizadores. A desvantagem dos procedimentos operacionais do MKS é a grande movimentação de funcionários dentro e entre as operações. Por outro lado, este sistema é autogerenciável e elimina a necessidade do monitoramento dos níveis de estoque durante cada período. Além disso, segundo Otenti (1991) este sistema é simples, facilmente implementável e de baixo custo. O MKS, apesar de não puxar a produção, possui as características de controle descentralizado, limitação do nível máximo de estoque e uso

de sinalizadores. Sua utilização permite melhores resultados em condições de tempo de processamento muito diferentes e variáveis.

Proposto por Chaudhury e Whinston (1990), o *auto-adaptive kanban* possui uma estrutura de controle similar ao sistema *kanban*, com a característica de ser auto-adaptável às condições produtivas e de demanda. Trata-se de um controle descentralizado de processos automatizados de forma *on-line*. Segundo os criadores, esta proposta é muito mais flexível e versátil que o sistema *kanban* original, principalmente em relação à variedade de produtos e da demanda no curto prazo. Esta proposta é baseada na simplicidade e necessidade de poucos dados do sistema *kanban*, e também nas tecnologias computacionais existentes na manufatura como, por exemplo, CAM (*computer aided manufacturing*) e CIM (*computer integrated manufacturing*). Os criadores do *auto-adaptive kanban* utilizaram simulações para testar seu comportamento e obtiveram resultados que comprovam principalmente que este sistema apresenta, em relação ao original, um melhor balanceamento da distribuição das cargas de trabalho. As características de puxar a produção, controle descentralizado e limitação do nível máximo de estoque são observadas neste sistema que, portanto, segue a lógica de funcionamento original.

O *concurrent ordering system* foi teoricamente criado e desenvolvido por Izumi e Takahashi (1993). A principal característica que o torna dessemelhante ao sistema *kanban* da Toyota é a emissão simultânea das ordens de produção e de transporte de materiais para todos os processos produtivos com base na demanda real no último estágio. Para liberar essas ordens, os sinalizadores de transporte e produção de todos os estágios ficam afixados nos produtos finais. Os pedidos que chegam são satisfeitos pelo estoque de produtos finais, e os sinalizadores que estavam junto a esses produtos acabados são removidos, separados e transferidos a todos os processos correspondentes. Dessa forma, o intuito básico, segundo os autores, é evitar que ocorra a interrupção da transmissão das ordens em casos de falta de estoque em algum ponto, o que não ocorre no sistema *kanban* original. Outra vantagem destacada pelos autores é a redução do atraso na transmissão das ordens, uma vez que é imediata, simultânea e em todos os processos. Para as condições instáveis de demanda e tempo de processamento o sistema se mostra melhorado. Mais detalhes podem ser obtidos em Takahashi et al. (1997), Takahashi e Nakamura (1998a), Takahashi e Nakamura (1998b).

O *modified concurrent ordering system* é também uma adaptação do *kanban*, no qual em 1996 os pesquisadores Takahashi et al. modificaram uma das características do *concurrent ordering system*, anteriormente proposto, para melhorar seu funcionamento (TAKAHASHI et al., 1996). No *concurrent ordering system* a transmissão das

ordens depende da existência de estoque dos produtos finais, ou seja, se não houver produtos acabados no último estágio a transmissão das ordens é atrasada até que novos produtos estejam prontos. Para os autores, isso pode ser evitado simplesmente enviando imediatamente sinalizadores no momento da chegada de uma nova demanda, e não quando produtos forem consumidos do estoque. Simulações realizadas pelos pesquisadores apresentaram resultados que mostram que nesta adaptação os tempos de espera são menores que no *concurrent ordering system* e no sistema *kanban* original, porém os níveis médios de estoque são maiores. Pelos mesmos motivos que o *concurrent ordering system*, este sistema é seguidor da lógica de funcionamento original e, além disso, possui condições de desempenho mais favoráveis a demandas e tempos de processamento instáveis.

A primeira descrição do *generic kanban system* (GKS) foi feita em 1994 (CHANG; YIH, 1994a). A principal justificativa para a criação do GKS foi a necessidade de um sistema do tipo *just in time* para ambientes produtivos não repetitivos. A diferença do GKS, o que confere a ele este nome, é com relação à utilização dos sinalizadores, que neste caso são “genéricos”, ou seja, não pertencem a uma determinada peça podendo, portanto, serem atribuídos a qualquer item dentro de cada estação de trabalho. Neste sistema é necessário um tempo de espera, pois não são mantidos estoques de produtos intermediários, apenas são mantidos sinalizadores que, quando retirados não disparam automaticamente a produção de novas peças, mas sim aguardam por uma nova requisição. Os autores realizaram simulações comparativas entre o sistema *kanban* original e o GKS, e constataram que o GKS apresenta um melhor desempenho frente às condições instáveis de demanda. Mais detalhes sobre este sistema se encontram em Chang e Yih (1994a), Chang e Yih (1994b) e Chang e Yih (1998).

O *flexible kanban system* (FKS) é um sistema bastante tratado na literatura e criado por Gupta e Al-Turk (1997). Fundamentalmente, este sistema adaptado utiliza um algoritmo para manipular dinamicamente e sistematicamente o número de sinalizadores com a finalidade de evitar os bloqueios e os desabastecimentos causados pelas incertezas (principalmente com relação aos tempos de processamento e à demanda) durante o ciclo produtivo. O funcionamento do FKS é idêntico ao do sistema *kanban* original, com exceção apenas para o número de sinalizadores, que não é fixo durante o período produtivo, sendo calculado por meio de um algoritmo desenvolvido pelos criadores deste sistema. A efetividade do FKS foi testada por meio de simulações, cujos resultados apontaram que este sistema apresenta um melhor desempenho (em termos de estoque em processo, tempos para completar ordens e número de pedidos atrasados) que o sistema *kanban* original para condições de demanda instável

e alta variabilidade dos tempos de processamento nas estações de trabalho. Mais detalhes com relação a este sistema são encontrados em Gupta e Al-Turki (1997), Gupta e Al-turki (1998), Perry e Gupta (1999) e Moore e Gupta (1999).

O *push-pull approach* (PPA) é resultado de um esforço na tentativa de criar uma abordagem geral para adaptar a utilização do sistema *kanban* para os mais diversos tipos de sistemas produtivos. Esta proposição foi feita pelos pesquisadores Huang e Kusiak (1998), com a intenção de aprimorar a utilização do sistema *kanban* levando em conta as diferenças internas existentes entre os processos produtivos de uma mesma produção e duas abordagens diferentes de produção: empurrada e puxada. Após a apresentação desta adaptação, os autores demonstram sua efetividade por meio de uma simulação. O PPA implementado pode assumir diversas configurações, dependendo das características do sistema produtivo em questão. Ele pode desde tomar a forma de um sistema *kanban* puro como de um sistema totalmente empurrado. Porém, desde que se esteja considerando uma situação, na qual teoricamente possa ser instalado um sistema *kanban* pelo menos em alguma parte do processo, esta adaptação controla de forma descentralizada a produção, limita o nível máximo de estoque e utiliza sinalizadores como ordem de produção e como autorização de transferência de materiais. Além disso, o PPA se mostra efetivo para sistemas produtivos complexos e com variabilidade entre os tempos de processamento.

O *decentralized reactive kanban* (DRK) foi criado por Takahashi e Nakamura (1999). Seguindo a mesma direção de vários outros sistemas, o DRK foi proposto como uma alternativa de SCO que tem como objetivo central garantir um bom desempenho de sistemas produtivos de múltiplos estágios e mudanças instáveis na demanda por produtos. A proposta do DRK é controlar independentemente os estoques de cada etapa do processo produtivo e, com isso, além de responder efetivamente à demanda, manter baixos os níveis médios de estoque em processo e reduzir a média do tempo de espera no atendimento aos pedidos. Simulações foram realizadas para comparar o desempenho deste sistema com relação ao original, e os resultados encontrados apontam que o DRK reage com maior eficiência às mudanças da demanda ao mesmo tempo em que diminui os tempos de espera e mantém os estoques em níveis apropriados. Para mais informações, consultar Takahashi e Nakamura (1999), Takahashi e Nakamura (2002a) e Takahashi e Nakamura (2002b).

O *extended kanban control system* (EKCS) foi proposto teoricamente por Dallery e Liberopoulos (2000), como uma alternativa aos sistemas *kanban* e estoque base, pois segundo esses autores, nenhum destes SCO's alcança constantemente um bom balanceamento entre os custos dos estoques e o nível de serviço ao consumidor. No EKCS

a demanda por produtos acabados é decomposta para cada etapa produtiva e transferida imediatamente para os respectivos processos. Nota-se que a produção em cada etapa é comandada pela demanda, porém limitada pelos sinalizadores, que funcionam também como autorização para transferência de peças para os estágios seguintes. Este sistema mantém as características originais de puxar a produção globalmente, mesmo empurrando-a entre as estações intermediárias, controle descentralizado e limitação do nível máximo de estoque. Assim, trata-se de um sistema que segue a lógica de funcionamento original e é flexível às flutuações da demanda e à variabilidade dos tempos de processamento. Mais informações sobre o EKCS são encontradas em Karaesmen e Dallery (2000), Dallery e Liberopoulos (2000) e Baynat et al. (2002).

Os sistemas *simultaneous extended kanban control system* (SEKCS) e *independent extended kanban control system* (IEKCS), propostos por Chaouiya et al. (2000), consistem em generalizações do EKCS para sistemas produtivos com operações de montagem, assim como no caso do SKCS e do IKCS em relação ao sistema *kanban*. A diferença essencial entre o IEKCS e o SEKCS é o momento da transferência das peças para a montagem; no IEKCS isto é feito de forma independente, ou seja, assim que cada sinalizador estiver disponível, e no SEKCS de forma dependente, ou seja, somente quando a operação de montagem possa realmente ser iniciada.

O *adaptive kanban* foi proposto teoricamente por Tardif e Maaseidvaag (2001) como uma alternativa de mecanismo de controle do fluxo de materiais em ambientes com demanda instável. Essencialmente, este sistema consiste na determinação de quando e quantos sinalizadores devem ser liberados para os processos em função dos níveis de estoque, dos pedidos e da demanda por produtos. Os pesquisadores apresentam, em seu artigo, ilustrações numéricas como exemplos e também fazem uma tentativa de otimizar os parâmetros de controle, e por fim, realizam simulações sob condições instáveis de demanda para testar o desempenho da adaptação proposta. Os resultados encontrados apontaram redução de atrasos nas entregas em relação ao sistema *kanban* original. Esta adaptação é tão simples quanto o sistema original, e as características de produção puxada, controle descentralizado e limitação do nível máximo de estoque são mantidas, resultando em um sistema que segue a lógica de funcionamento original.

Mohanty et al. (2003) propuseram teoricamente o *reconfigurable kanban system* (RKS). O objetivo deste sistema é ser mais responsivo, por um lado, e com maior efetividade em termos de custos com estoques, por outro. A mudança fundamental do RKS em relação ao sistema *kanban* é sua “reconfigurabilidade” em termos de número total de sinalizadores. O RKS é demonstrado pelos autores em forma de um modelo de simulação cuja

característica enfatizada é o controle do número de sinalizadores adicionais por meio do exame da diferença entre a demanda e a produção do produto correspondente. Não são apresentados muitos detalhes operacionais do seu funcionamento. De acordo com Mohanty et al. (2003), após várias simulações em diversos cenários com condições diferentes, em relação ao sistema *kanban* original, o RKS apresenta melhores valores nos tempos para completar as ordens, no nível médio de estoques em processo e também com relação ao número médio de ordens acumuladas (em espera) no período.

O *inventory based system*, proposto teoricamente por Takahashi (2003), é uma opção ao sistema *kanban* para ambientes competitivos com altas variações na demanda. Os níveis de estoque dos produtos são monitorados para detectar variações de consumo inconstantes. A cada detecção de instabilidade é aumentado ou diminuído o número de sinalizadores em uma unidade, diferentemente de outros sistemas nos quais o número adicional de sinalizadores é também definido a priori. O autor utiliza simulações para testar o desempenho desta adaptação e conclui, dentre outras coisas, que o *inventory based system* possui um bom desempenho frente às mudanças na demanda, mantendo baixos os níveis de estoque ao mesmo tempo em que garante um tempo médio de espera pelo cumprimento das ordens relativamente baixo.

3.2 Os sistemas que não seguem a lógica de funcionamento original

No sistema *kanban* H com somente o sinalizador de requisição a programação ocorre em todos os estágios produtivos e, dessa forma, os sinalizadores de requisição desempenham apenas o papel de identificador e sinal para a remessa de mais contenedores cheios de peças. Este sistema é uma adaptação que não segue a lógica original, pois empurra a produção, possui controle centralizado, não limita o nível máximo dos estoques e utiliza apenas um tipo de sinalizador. Na literatura, este mesmo sistema não é claramente separado do sistema *kanban* original, pois teve seu desenvolvimento na mesma época.

O *fake pull control system* (FPCS) é uma adaptação prática do sistema *kanban* para uma determinada fábrica de pequeno volume e alto valor de produção retratada por Hendrick (1988). O FPCS trata-se de uma maneira de operacionalizar o sistema *kanban* de forma a permitir que o sistema produtivo empurre os materiais quando houver condições impróprias para o funcionamento do sistema *kanban* original (Quadro 1). Isto porque, nessas condições, os estoques não são limitados, a produção é empurrada, o controle é centralizado e, em parte, os papéis originais dos sinalizadores ficam comprometidos. Se determinadas condições, como por exemplo, produção parada por outro motivo que não seja problema de qualidade e/ou estoque de entrada cheio, estiverem

presentes ou forem freqüentes no sistema produtivo, o FPCS trata-se, de fato, de um subterfúgio válido para não comprometer o desempenho produtivo.

O *bar-coding kanban*, apresentado por meio de um estudo de caso em uma empresa canadense, foi proposto por Landry et al. (1997). O principal impulsionador para a criação do *bar-coding kanban* foi a necessidade de melhorar a coordenação do fluxo de materiais comprados pela empresa. O sistema produtivo desta empresa é semi-repetitivo e sofre grande influência das flutuações da demanda. A solução representada por essa adaptação do sistema *kanban* utiliza basicamente um sistema de planejamento de necessidade de materiais (MRP) e sinalizadores com código de barras. Os principais benefícios associados ao uso deste sistema e evidenciados pelos autores são: a redução do nível total de estoque, o aumento da flexibilidade no suprimento e o aumento da velocidade de resposta às flutuações da demanda. Nesta adaptação, apenas as características de limitação do nível máximo de estoque (durante cada período) são preservadas em relação ao sistema *kanban*. As condições superadas pelo uso do *bar-coding kanban* são: a variabilidade da demanda e a variabilidade dos itens. Detalhes adicionais sobre o *bar-coding kanban* são encontrados em Landry et al. (1997) e Chaussé et al. (2000).

O CPM *kanban system* foi aplicado na prática e apresentado em um artigo científico por Abdul-Nour et al. (1998). Trata-se de uma abordagem de gerenciamento de projetos aplicada para implantar a produção *just in time* (JIT) em uma organização produtiva de pequeno porte. A sigla CPM vem do conhecido método do caminho crítico (*critical path method*). O sistema *kanban* é utilizado entre os departamentos produtivos e a montagem do produto final. Dentro desses departamentos a produção é empurrada. O sistema como um todo foi implantado utilizando-se um sistema CAD (*computer aided design*) para projetar os produtos finais e utilizando-se a abordagem CPM para representar as tarefas a serem executadas pelos departamentos produtivos e identificação das atividades críticas. O CPM-KS é uma forma de adequar algumas das características do sistema *kanban* original de forma a garantir um melhor desempenho frente a condições de demanda altamente variável como nos sistemas de programação por contrato.

O MRP/sfx - *shop floor extension* é uma proposta de Nagendra e Das (1999). Trata-se de uma forma genérica da aplicação conjunta de dois SCO muito conhecidos, o MRP e o sistema *kanban*. O ponto central desta adaptação é a criação de dispositivos de aderência entre as atividades de planejamento do MRP e as atividades de execução no chão de fábrica do sistema *kanban*. Esta adaptação preserva apenas a característica original do sistema *kanban* de limitação do nível máximo de estoque

(em cada período). O MRP/sfx possui a vantagem de poder ser utilizado em sistemas produtivos complexos com demanda e tempos de processamento variáveis.

O *virtual kanban* (VK) é uma adaptação proposta teoricamente por Takeda et al. (2000) com aplicação em sistemas produtivos de múltiplos estágios e produtos altamente customizados. Uma característica determinante desta adaptação é a transferência dos sinalizadores aos processos anteriores, que corresponde ao desempenho do processo gargalo, ou seja, quando uma máquina quebra ou falta alguma matéria-prima nenhum sinalizador é transferido às estações precedentes. O desempenho do VK foi avaliado por meio de simulação, que apontou diminuição dos níveis de estoque, redução do *lead time* e aumento da confiabilidade nas datas de entrega. O VK é apropriado para situações de altíssima variedade de itens, demanda também altamente variável e fluxos produtivos complexos.

Os sistemas *customized type 5* e *customized type 10* são resultados de uma importante contribuição, com respeito a um método de customizar sistemas puxados, de Gaury et al. (2001). O método de customização consiste basicamente em três passos: utilizar um modelo genérico que possui integradamente todos os tipos possíveis de controle puxado; simular a utilização deste modelo usando as características do sistema produtivo no qual se pretende implementar um SCO puxado customizado; e com base nos resultados da simulação, obter os valores desejados para os parâmetros. Embora a solução apresentada pelo sistema *customized type 5* seja muito particular, ainda sim se trata de uma adaptação da lógica de funcionamento do sistema *kanban*. Este sistema possui controle descentralizado e limitação do nível máximo de estoque em determinadas etapas, o que o remete a categoria de não seguidor da lógica original. Além disso, o *customized type 5* apresenta um desempenho efetivo frente a certo grau de variabilidade dos tempos de processamento e confiabilidade das máquinas. O *customized type 10* é o segundo tipo ótimo de sistema adaptado para uma configuração específica de sistema produtivo. Este sistema é outro exemplo de alta particularidade, porém ainda sim se trata de uma adaptação da lógica de funcionamento do sistema *kanban*. O controle é descentralizado e há, em determinadas partes, limitação do nível máximo de estoque. Além disso, este sistema apresenta um desempenho efetivo frente à variabilidade dos tempos de processamento e da confiabilidade das máquinas e a presença de um gargalo produtivo.

3.3 Classificação

O Quadro 2 apresenta a classificação e condensa as principais informações relacionadas a cada adaptação estudada (um total de 33). O campo “adaptação” é o nome do sistema e o campo “ano” se refere à data

Quadro 2. Todas as adaptações e suas principais características.

Ano	Adaptação	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
-	Sistema <i>kanban</i> CNE com somente sinalizador de ordem de produção	3 (PP, CD, LE)	2.3	B,C,N	-	P
-	Sistema <i>kanban</i> H com somente sinalizador de ordem de produção	3 (PP, CD, LE)	2.3	B,C,N	-	P
-	<i>E-kanban</i>	3 (PP, CD, LE)	2.2, 2.3, 3	A,B,C,H,K,L	-	P
-	<i>Simultaneous kanban control system</i> (SKCS)	3 (PP, CD, LE)	2.1, 2.3	M	AT	P
-	<i>Independent kanban control system</i> (IKCS)	3 (PP, CD, LE)	2.1, 2.3	M	-	P
1985	<i>Periodic pull system</i> (PPS)	3 (CD,LE,US)	1, 2.2, 3	A,D,E,F,G,O	AC	T
1987	<i>Dynamically adjusting kanban</i>	3 (PP, CD, LE)	1, 2.3	D	AC	T
1988	<i>Regenerative pull control system</i> (RPCS)	3 (PP, LE, US)	1, 2.2, 3	E,F,G	AC	P
1988	<i>Job-shop kanban</i>	3 (PP, CD, LE)	2.3	D,E,F,G	-	P
1988	<i>Minimal blocking</i>	3 (CD,LE,US)	1	D,E,I	AC	T
1989	<i>Generalized kanban control system</i> (GKCS)	3 (PP, CD, LE)	2.1, 2.3	D,E	AC	T
1989	<i>Modified kanban system</i> (MKS)	3 (CD,LE,US)	2.1, 2.3	E,F,G,I,N	AM	P
1990	<i>Auto-adaptive kanban</i>	3 (PP, CD, LE)	2.1, 2.2, 2.3	D,E,F,G,H,Q	AC	T
1993	<i>Concurrent ordering system</i>	3 (CD,LE,US)	2.1, 3	C,D,E,R	-	T
1996	<i>Modified concurrent ordering system</i>	3 (CD,LE,US)	2.1, 3	C,D,E,R	ME	T
1994	<i>Generic kanban system</i> (GKS)	3 (PP, CD, LE)	2.1, 2.3	D, E	AT	T
1997	<i>Flexible kanban system</i> (FKS)	3 (PP, CD,US)	1, 2.1, 3	D,E	AC	T
1998	<i>Push-pull approach</i> (PPA)	3 (CD, LE, US)	2.1, 4	E,F	AC	T
1998	<i>Decentralized reactive kanban</i> (DRK)	3 (PP,CD, US)	1, 3	C,D,S	AC	T
2000	<i>Extended kanban control system</i> (EKCS)	3 (PP, CD, LE)	2.1, 2.3	D,E	AC	T
2000	<i>Simultaneous extended kanban control system</i> (SEKCS)	3 (PP, CD, LE)	2.1, 2.3	D,E,M	AC, AT	T
2000	<i>Independent extended kanban control system</i> (IEKCS)	3 (PP, CD, LE)	2.1, 2.3	D,E,M	AC	T
2001	<i>Adaptive kanban</i>	3 (PP, CD, LE)	1, 2.1, 2.3, 3, 5	C,D,S	-	T
2003	<i>Reconfigurable kanban system</i> (RKS)	3 (PP,CD,US)	1	D,S,R	-	T
2003	<i>Inventory based system</i>	3 (CD,LE,US)	1	D,S,R	-	T
-	Sistema <i>kanban</i> H com somente sinalizador de requisição	0	2.1, 2.3, 4	B,C,N	ME	P
1988	<i>Fake pull control system</i> (FPCS)	0	4	I,J	ME	P
1997	<i>Bar-coding kanban</i>	1 (LE)	1, 2.2, 2.3, 3	D,K,S,U	AC	P
1998	<i>CPM kanban system</i>	1 (PP)	1, 2.3, 4	D,M	-	P
1999	<i>MRP/sfx - shop floor extension</i>	1 (LE)	1, 2.3, 3	D,E,F	AC	T
2000	<i>Virtual kanban</i> (VK)	2 (LE, US)	2.1, 2.3	D,E,G,S	-	T
2001	<i>Customized type 5</i>	2 (CD,LE)	2.1, 2.3, 3, 4, 5	E,F,I	AC	T
2001	<i>Customized type 10</i>	2 (CD,LE)	2.1, 2.3, 3, 4, 5	E,F,I,J	AC	T

(ano) de publicação dos artigos que apresentam as adaptações. Os traços (-) representam que a adaptação não possui data específica de criação (no campo ano) e que as desvantagens não estão explícitas nos artigos (no campo D). Algumas denominações destes sistemas foram atribuídas por este estudo, não sendo, portanto, concedidas pelos autores que os desenvolveram, mas que intuitivamente os vinculam às suas propriedades mais evidentes. Os campos A, B, C, D e E representam as categorias da classificação vistas na seção 2.1.

Na próxima seção são apresentadas as análises e avaliações da classificação acima.

4 Análise e avaliação do tema

A maioria dos sistemas adaptados, 25 (75,8%), segue a lógica de funcionamento original, por outro lado, apenas oito (32%) destes sistemas que seguem a lógica de funcionamento original foram desenvolvidos na prática. Já no caso das adaptações que não seguem a lógica de funcionamento original, dos oito sistemas (24,2%) do total, quatro (50%) destes tiveram seu desenvolvimento na forma prática. Isto indica que existe uma notável dificuldade de se manter a maior parte das características originais do sistema *kanban* ao implementá-lo em sistemas produtivos reais, ou seja, com maior complexi-

dade. A grande diferença entre a quantidade de propostas teóricas e a quantidade de propostas práticas indica ainda, que o desenvolvimento dos sistemas adaptados no geral encontra-se numa fase inicial, ou seja, na qual as primeiras considerações são apenas proposições teóricas que devem ser levadas em consideração para a geração das formas mais adequadas de uso. Em outras palavras, a evolução do uso do sistema *kanban* de forma adaptada às novas necessidades produtivas e competitivas e/ou às condições desfavoráveis ao seu uso está em presente desenvolvimento.

Além disso, ressalta-se aqui um outro ponto: a falta de clareza com relação aos conceitos do sistema *kanban*. Uma vez que, mesmo para os pesquisadores, definir exatamente o que é este sistema não é uma tarefa trivial (BERKLEY, 1992; WHITE; PRYBUTOK, 2001; dentre outros), é provável que se encontrem em qualquer empresa sistemas “chamados de *kanban*” que na verdade não o são. Ou seja, um sistema que, mesmo com a denominação de *kanban*, não possui nenhuma referência de suas características originais, não se trata de uma adaptação que não segue a lógica original, mas sim de um erro conceitual. Este não é o caso das adaptações estudadas neste trabalho. A Figura 2 estrutura as informações anteriores.

Considerando-se apenas as adaptações que foram desenvolvidas teoricamente, tem-se que 16 delas, ou seja, 76,2% propuseram alterações na utilização dos sinalizadores como principal meio de superar as ineficiências do sistema *kanban* original frente às condições desfavoráveis ao seu uso. Já para as adaptações que foram desenvolvidas na prática, 11 ou 91,7% delas utilizam mudanças na utilização dos sinalizadores como principal forma de compensar suas limitações. Isto pressupõe que, embora haja uma considerável diferença entre a quantidade de

sistemas desenvolvidos teoricamente e desenvolvidos na prática, há um alinhamento entre as propostas teóricas de mudança e as adaptações ocorridas efetivamente na prática. Mais precisamente, o caminho que as empresas estão seguindo em direção à adaptação do sistema *kanban* às suas necessidades produtivas e competitivas está indo ao encontro do que os pesquisadores assimilam que seja necessário para que estas mudanças efetivamente funcionem. Essas mudanças se referem, fundamentalmente, à utilização dos sinalizadores, representando 81,8% do total, onde as principais transformações estabelecem meios de manipular sistematicamente o número ou quantidade de sinalizadores. A Figura 3 a seguir delinea estas informações.

Como visto na seção 1, as alterações que vêm ocorrendo no ambiente competitivo industrial refletem de forma desfavorável a utilização do sistema *kanban* original, por criar, dentre outras coisas, a necessidade de grande variedade de itens, dificuldades para padronização das operações, instabilidade nos tempos de processamento e nas demandas. Dessa forma, diante dos critérios propostos por este trabalho e dentre as vantagens oferecidas pelas adaptações, as que mais auxiliam as empresas a tratarem o presente ambiente competitivo são: a utilização eficaz em ambientes competitivos com demanda instável, em ambientes produtivos com tempos de processamento variáveis, em ambientes produtivos com fluxo de materiais complexo, em ambientes produtivos com alta variedade de itens/produtos e facilitação da introdução de novos produtos (códigos D, E, F, G e L da Tabela 1). Portanto, por apresentarem a maioria dessas vantagens (Quadro 2) e, dessa forma, serem sistemas que exibem um maior potencial de aplicação no ambiente competitivo atual, destaca-se a importância das seguintes adaptações: PPS, RPCS, *job-shop kanban*, MKS, *auto-adaptive kanban*, MRP/sfx e VK. Nestes sistemas,

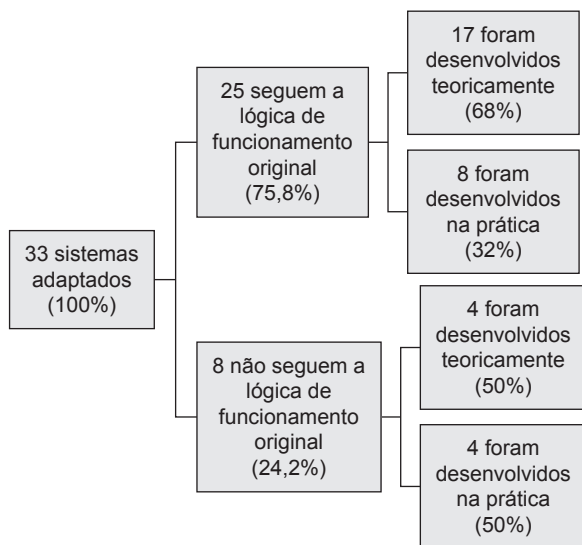


Figura 2. Estrutura básica das características dos sistemas adaptados.

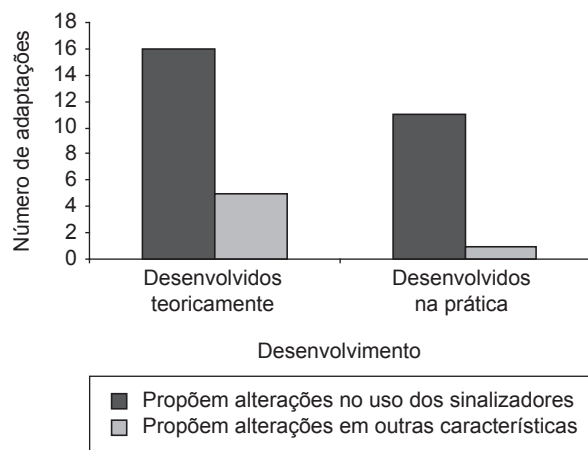


Figura 3. Estrutura das propostas de mudanças das adaptações.

têm-se como desvantagens o aumento da complexidade para o PPS, RPCS, *auto-adaptive kanban* e MRP/sfx, e o aumento da movimentação de materiais e operadores para o MKS. O *job-shop kanban* e o VK não apresentam nenhuma desvantagem evidenciada pelos criadores em relação ao sistema *kanban* original.

A única adaptação que apresenta explicitamente a vantagem de facilitar a introdução de novos produtos (L) é o *e-kanban*, porém é teoricamente possível aplicar o *e-kanban* de forma combinada com qualquer outra adaptação, usufruindo-se assim das vantagens de ambas as propostas.

Dentre os sistemas que foram desenvolvidos teoricamente, ou seja, 21 adaptações, todos foram desenvolvidos com o intuito de oferecer, dentre outras vantagens, um melhor desempenho relativamente ao sistema original frente a condições ambientais caracterizadas por demandas e tempos de processamento instáveis. Por outro lado, para os sistemas desenvolvidos na prática, ambientes com demandas e tempos de processamento instáveis correspondem a menos da metade do total. Dessa forma, conclui-se que as empresas não somente lidam com a dificuldade de adequar o sistema *kanban* original para sistemas produtivos com flutuações na demanda e nos tempos de processamento dos equipamentos, mas também com outras complicações como grandes distâncias entre as estações de trabalho, sistemas automatizados, fluxo complexo de materiais, baixa confiabilidade das máquinas, grande número de fornecedores, dentre outras.

4.1 Artigos nacionais

No Brasil, o tema sistema *kanban* tem sido alvo da preocupação de diversos pesquisadores. Muitos artigos sobre este tema podem ser encontrados na literatura brasileira, porém o presente estudo focou apenas os trabalhos relacionados a mudanças na lógica de seu funcionamento, ou seja, adaptações. Além dos artigos já mencionados na seção 3, a seguir são tratados outros trabalhos relacionados a adaptações do sistema *kanban*.

No estado de São Paulo, a implantação do sistema *kanban* interno nas indústrias foi pesquisado por Lage Junior (2007). Nessas empresas, é predominante o uso de adaptações, onde o sistema *kanban* H com somente sinalizador de ordem de produção é o mais frequente.

Tubino e Andrade (2003) propõem em seu trabalho a utilização da análise de Pareto e redimensionamento periódico dos supermercados como forma de utilizar o sistema *kanban* em ambientes produtivos com flutuações na demanda e alta variedade de itens. Este caso não se trata de uma adaptação, pois não se alteram as características originais do sistema *kanban*.

Heckert e Francischini (1998) descrevem em seu artigo três formas diferentes do JIT, sendo utilizadas

na indústria automobilística brasileira: JIT tradicional; JIT sequenciado, onde o fornecedor entrega as peças diretamente na linha de montagem da montadora, já na sequência de uso; e JIT por *kits*, onde conjuntos (*kits*) de peças são pré-preparados no armazém antes de serem entregues nos pontos de uso na linha de montagem. Esses casos não representam adaptações do sistema *kanban*, mas mostram novamente a aplicabilidade adaptada dos conceitos ligados ao STP.

Villas-Bôas (2002), Leite et al. (2004) e Almeida e Rocha (1999) descrevem a aplicação da lógica do sistema *kanban* H com somente o sinalizador de requisição em três situações bem distintas: em um ambulatório de saúde ocupacional; na construção civil; e em um setor de manutenção, respectivamente. Nos três casos, ganhos advindos da utilização dos cartões são descritos de forma bastante positiva.

Fernandes et al. (2001) e Guimarães e Borges (1997) descrevem a utilização de cartões modificados, entretanto são ferramentas bastante diferentes do sistema *kanban* para serem consideradas adaptações. No primeiro caso, os cartões não representam uma quantidade fixa de peças, sendo preenchida pela quantidade necessária no momento específico. Ou seja, dessa forma, o cartão nada mais é do que uma ordem de produção “reciclável”, em que o mesmo formulário onde são indicadas as necessidades de peças pode ser utilizado mais de uma vez. Já no segundo caso, uma espécie de gráfico de Gantt é utilizado para se afixar os cartões que representam o que se deve fazer no período produtivo.

5 Considerações finais

As análises realizadas nas seções anteriores expõem tanto as vocações como as ineficiências do sistema *kanban* original, de forma que, por um lado, este sistema esboça um considerável conjunto de propriedades atrativas e, por outro, se apresenta impróprio às novas necessidades das organizações produtivas. Portanto, sua adequação à atualidade faz-se necessária à manutenção de seu emprego na manufatura. Além disso, e de outros comentários vistos na seção 4, vale a pena destacar também algumas considerações finais importantes sobre o presente trabalho.

Este trabalho teve como principal objetivo realizar uma revisão da literatura a fim de identificar, classificar e analisar as adaptações do sistema *kanban* propostas por vários pesquisadores. A maioria das mudanças propostas no sistema *kanban* original ocorrem, fundamentalmente, na utilização dos sinalizadores, onde as principais transformações estabelecem meios de manipular sistematicamente o número ou quantidade de sinalizadores.

Em todos os casos estudados neste trabalho, nenhum tratou especificamente da adaptação do sistema *kanban* para sistemas produtivos com altos tempos de troca,

característica que também se apresenta como empecilho ao uso do sistema original. Por um lado, como as ferramentas criadas para reduzir estes tempos estão bastante desenvolvidas, tendo-se como importante referência Shingeo Shingo (SHINGO, 1990), esses tempos de troca podem ser reduzidos, por outro lado, essa dificuldade permanece como um campo aberto a novas pesquisas de adequação do sistema *kanban*.

A simulação utilizando o sistema *kanban* ainda possui grandes desafios, em função da complexidade dos sistemas puxados, o que torna os modelos empregados pelos pesquisadores bastante limitados, desconsiderando, por exemplo, incertezas no abastecimento de matérias-primas.

Foram identificados ainda outros temas possíveis para trabalhos futuros. Em primeiro lugar, estudos comparativos pormenorizados entre as adaptações do sistema *kanban* podem ser realizados. Estudos das desvantagens

ainda não avaliadas de algumas adaptações (indicadas pelos traços (-) na coluna (D) do Quadro 2) podem tornar mais claras as dificuldades de adaptação do sistema *kanban* às novas necessidades produtivas, além de evidenciar as limitações das próprias adaptações em questão. A aplicação na prática de adaptações somente desenvolvidas de forma teórica é um tema ainda com muitas oportunidades de exploração. Destacam-se aqui os sistemas PPS, *auto-adaptive kanban*, MRP/sfx e VK, desenvolvidos apenas teoricamente, mas que apresentam um elevado potencial de aplicabilidade no atual ambiente competitivo, pelas suas vantagens e pela proposição do uso de tecnologias computacionais bastante recentes. Já os sistemas desenvolvidos e aplicados na prática e, que também merecem destaque, são: o RPCS, o *job-shop kanban* e o MKS, que apresentam vantagens notáveis para substituir o sistema *kanban* original frente às novas condições competitivas.

Adaptations of the kanban system: review, classification, analysis and evaluation

Abstract

This paper reviews the literature regarding adaptations of the kanban system with the purpose of identifying, classifying and analyzing this literature. Thirty three different systems were studied and classified according to six categories: the publication year, the number of original characteristics preserved in the adaptation, the operational differences between the adaptation and the original kanban, the advantages and disadvantages related to the original kanban, and the way that these systems were developed. A brief summary of each adaptation is shown integrating the scattered efforts undertaken by the authors with the aim of improving the kanban system and adjusting it to the new and/or distinct necessities of the production systems. It was found that, among other topics, the development of the adapted systems, in general, is at an initial stage, once the majority of the proposals are theoretical and might be considered to generate more appropriated practical forms.

Keywords: Kanban system. Adaptations. Review.

Referências bibliográficas

- ABDUL-NOUR, G.; LAMBERT, S.; DROLET, J. Adaptation of JIT Philosophy and Kanban Technique to a Small-Sized Manufacturing Firm; A Project Management Approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 35, n. 3-4, p. 419-422, 1998.
- AGGARWAL, S. C. MRP, JIT, OPT, FMS? **Harvard Business Review**, v. 63, n.5, p.8-16, 1985.
- ALMEIDA, M. G. D.; ROCHA, M. A. F. Otimização de Tarefas de Manutenção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19 ENEGEP, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999.
- ANDRADE, G. J. P. O.; TUBINO, D. F. A implantação de sistemas puxados de programação da produção em ambientes de demandas instáveis. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ENEGEP, 2003, Ouro Preto. **Anais...**Ouro Preto, 2003.
- ANSARI, A.; MODARRESS, B. Wireless Kanban. **Production and Inventory Management Journal**, v 36, n 1, p 60-64, 1995.
- ARGENTA, C. B.; OLIVEIRA, L. R. **Análise do Sistema Kanban para Gerencia da Produção com Auxílio de Elementos de Tecnologia de Informação**. In: XXI ENEGEP, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador: 2001.
- BAYNAT, B.; BUZACOTT, J. A.; DALLERY, Y. Multiproduct Kanban-Like Control Systems. **International Journal of Production Research**, v. 40, n. 16, p. 4225-4255, 2002.
- BERKLEY, B. J. A Review of the *Kanban* Production Control Research Literature. **Production and Operations Management**, v. 1, n. 4, p. 393-411, 1992.

- BONVIK, A. M.; COUCH, C. E.; GERSHWIN, S. B. A comparison of Production-Line Control Mechanisms. **International Journal of Production Research**, v.35, n. 3, p. 789-804, 1997.
- BUZACOTT, J. A. Queuing Models of *Kanban* and MRP Controlled Production Systems. **Engineering Cost and Production Economics**, v.17, p. 3-20, 1989.
- CHANG, T. M.; YIH, Y. Generic *Kanban* Systems for Dynamic Environments. **International Journal of Production Research**, v. 32, n. 4, p. 889-902, 1994a.
- CHANG, T. M.; YIH, Y. Determining the Number of *Kanbans* and Lot Sizes in a Generic *Kanban* System: A Simulated Annealing Approach. **International Journal of Production Research**, v. 32, n. 8, p. 1991-2004, 1994b.
- CHANG, T. M.; YIH, Y. Fuzzy Rule-Based Approach for Dynamic Control of *Kanbans* in a Generic *Kanban* System. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 8, p. 2247-2257, 1998.
- CHAOUIYA, C.; LIBEROPOULOS, G.; DALLERY, Y. Extended *Kanban* Control System for Production Coordination of Assembly Manufacturing Systems. **IIE Transactions**, v. 32, n. 10, p. 999-1012, 2000.
- CHAUDHURY, A.; WHINSTON, A. B. Towards An Adaptive *Kanban* System. **International Journal of Production Research**, v. 28, n. 3, p. 437- 458, 1990.
- CHAUSSÉ, S.; LANDRY, S.; PASIN, F.; FORTIER, S. Anatomy of a *Kanban*: A Case Study. **Production and Inventory Management Journal**, v. 41, n.4, p. 11-16, 2000.
- DALLERY, Y.; LIBEROPOULOS, G. Extended *Kanban* Control System: Combining *Kanban* and Base Stock. **IIE Transactions**, v. 32, n. 4, p. 369-386, 2000.
- FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. Sistemas de coordenação de ordens: revisão, classificação, funcionamento e aplicabilidade. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v.14, n.2, 2007.
- FERNANDES, D. C.; SANTOS, F. G.; BARRELLA, W. D.; YOSHIDA, I. C. S. Implantação de Células de Manufatura na Indústria: Um Estudo de Caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21 ENEGE, 2001, Salvador. Anais...Salvador, 2001.
- FREIN, Y.; DI MASCOLO, M.; DALLERY, Y. On the Design of Generalized *Kanban* Control Systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n.9, 1995.
- FUJIMOTO, T. **The Evolution of a Manufacturing System at Toyota**. New York: Oxford University Press, 1999.
- GAURY, E. G. A.; KLEIJNEN, J. P. C.; PIERREVAL, H. A Methodology to Customize Pull Control Systems. **Journal of the Operational Research Society**, v 52, n 7, p 789-799, 2001.
- GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Um sistema para classificar e codificar os trabalhos relacionados com o Controle da Produção e o Controle da Qualidade. **Revista Gestão & Produção**, v. 10, n.1, 2003.
- GOOD, I. J. Categorization of Classification. In: **Mathematics and Computer Science in Medicine and Biology**. London: HMSO, 1965. p.115-128.
- GRAVEL, M.; PRICE, W. L. Using The *Kanban*. In: a Job Shop Environment. **International Journal of Production Research**, v 26, n 6, p 1105-1118, 1988.
- GRÜNWALD, H.; STRIEKWOLD, P. E. T.; WEEDA, P. J. A Framework for Qualitative Comparison of Production Control Concepts. **International Journal of Production Research**, v. 27, n.2, p. 281-292, 1989.
- GUIMARÃES, J. L. S.; BORGES, J. M. *Kanban* na Indústria de Roupas: Avaliação das Características de Uma Aplicação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17 ENEGE, 1997, Gramado, RS. Anais... Gramado, RS, 1997.
- GUPTA, S. M.; AL-TURKI, Y. A. Y. An Algorithm to Dynamically Adjust the Number of *Kanbans*. In: Stochastic Processing Times and Variable Demand Environment. **Production Planning and Control**, v. 8, n. 2, p 133-141, 1997.
- GUPTA, S. M.; AL-TURKI, Y. A.Y. Adapting Just-in-Time Manufacturing Systems to Preventive Maintenance Interruptions. **Production Planning and Control**, v. 9, n. 4, p 349-359, 1998.
- HECKERT, C. R.; FRANCISCHINI, P. G. Variações do Just in Time na Indústria Automobilística Brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18 ENEGE, 1998, Niterói, RJ.
- HENDRICK, T. E. 'Fake Pull' in a *Kanban* Environment: Acceptable Trade-Off Or Violation Of Principle? **Production and Inventory Management Journal**, v. 29, n. 2, p. 6-9, 1988.
- HUANG, C. C.; KUSIAK, A. Manufacturing Control With a Push-Pull Approach. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 1, p. 251-275, 1998.
- IZUMI, M.; TAKAHASHI, K. Concurrent Ordering in JIT Production System. In: PROCEEDINGS OF THE 2 AND CHINA-JAPAN INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL MANAGEMENT, 1993, Beijing. p. 51-56.
- KARAESMEN, F.; DALLERY, Y. Performance Comparison of Pull Type Control Mechanisms for Multi-Stage Manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 68, n. 1, p. 59-71, 2000.
- KIM, T. M. Just-in-Time Manufacturing System: A Periodic Pull System. **International Journal of Production Research**, v.23, n. 3, p. 553-562, 1985.
- LAGE JUNIOR, M. **Evolução e Avaliação da Utilização do Sistema *Kanban* e de Suas Adaptações: Survey e Estudos de Caso**. São Carlos, 2007. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).
- LANDRY, S.; DUGUAY, C. R.; CHAUSSÉ, S.; THEMENS, J. Integrating MRP, *Kanban*, and Bar-Coding Systems to Achieve JIT Procurement. **Production and Inventory Management Journal**, v. 38, n. 1, p. 8-12, 1997.
- LEITE, M. O.; PINHO, I. B.; PEREIRA, P. E.; HEINECK, L. F.; ROCHA, F. E. M. Aplicação do sistema *kanban* no transporte de materiais na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24 ENEGE, 2004, Florianópolis-SC. Anais...Florianópolis, 2004.
- MATTA, A.; DALLERY, Y.; DI MASCOLO, M. Analysis of Assembly Systems Controlled With *Kanbans*. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 166, n. 2, 2005.
- MOHANTY, R. P.; KUMAR, S.; TIWARI, M.K. Expert Enhanced Coloured Fuzzy Petri Net models of Traditional, Flexible and Reconfigurable *Kanban* Systems. **Production Planning and Control**, v. 14, n. 5, p. 459-477, 2003.
- MONDEN, Y. Adaptable *Kanban* System Helps Toyota Maintain Just-in-Time Production. **Industrial Engineering**, v. 13, n. 5, p. 29-46, 1981.
- MONDEN, Y. **Sistema Toyota de produção**. São Paulo: IMAM, 1984.
- MOORE, K. E.; GUPTA, S. M. Stochastic Coloured Petri Net (SCPN) Models of Traditional and Flexible *Kanban* Systems. **International Journal of Production Research**, v. 37, n. 9, p. 2135-2158, 1999.

- NAGENDRA, P. B.; DAS, S. K. MRP/sfx: A Kanban-Oriented Shop Floor Extension to MRP. **Production Planning and Control**, v. 10, n. 3, p. 207-218, 1999.
- OHNO, T. The Origin of Toyota Production System and Kanban System. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTIVITY AND QUALITY IMPROVEMENT, 1982, Tokyo.
- OTENTI, S. A Modified Kanban System in a Semiconductor Manufacturing Environment. **IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference**. 1991.
- PERRY, R. F.; GUPTA, S. M. Flexible Kanban System. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 10, p. 1065-1093, 1999.
- REES, L. P.; PHILIPPOOM, P. R.; TAYLOR III, B. W.; HUANG, P. Y. Dynamically Adjusting The Number of Kanbans in a Just-in-Time Production System Using Estimated Values of Leadtime. **IIE Transactions**, v. 19, n. 2, 1987.
- SCHONBERGER, R. J. **Técnicas Industriais Japonesas: Nove Lições Ocultas sobre Simplicidade**. São Paulo: Pioneira, 1984.
- SEIDMANN, A. Regenerative Pull (Kanban) Production Control Policies. **European Journal of Operational Research**, v. 35, n. 3, p. 401-413, 1988.
- SHINGO, S.; ROBINSON, A. **Modern Approaches to Manufacturing Improvement: The Shingo System**. Portland: Productivity, 1990.
- SIPPER, D.; BULFIN, R. L. Jr. **Production: Planning, Control, and Integration**. McGraw-Hill, 1997.
- SO, K. C.; PINAULT, S. C. Allocating Buffer Storages in a Pull System. **International Journal of Production Research**, v. 26, n. 12, p. 1959-1980, 1988.
- STARR, M. K. **Global Competitiveness: Getting the U.S. Back on Track**. New York: W. W. Norton, 1988.
- TAKAHASHI, K.; NAKAMURA, N.; OHASHI, K. Order Release in JIT Production Systems: A Simulation Study. **Simulation**, v. 66, n. 2, p. 75-87, 1996.
- TAKAHASHI, K.; NAKAMURA, N.; IZUMI, M. Concurrent Ordering in JIT Production Systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 3, 1997.
- TAKAHASHI, K.; NAKAMURA, N. The Effect of Autocorrelated Demand in JIT Production Systems. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 5, p. 1159-1176, 1998a.
- TAKAHASHI, K.; NAKAMURA, N. Ordering Alternatives in JIT Production Systems. **Production Planning and Control**, v. 9, n. 8, p. 784-794, 1998b.
- TAKAHASHI, K.; NAKAMURA, N. Reacting JIT Ordering Systems to the Unstable Changes in Demand. **International Journal of Production Research**, v. 37, n. 10, p. 2293-2313, 1999.
- TAKAHASHI, K.; NAKAMURA, N. Decentralized Reactive Kanban System. **European Journal of Operational Research**, v. 139, n. 2, 2002a.
- TAKAHASHI, K.; NAKAMURA, N. Comparing Reactive Kanban and Reactive CONWIP. **Production Planning and Control**, v. 13, n. 8, p. 702-714, 2002b.
- TAKAHASHI, K. Comparing Reactive Kanban Systems. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 18, p. 4317-4337, 2003.
- TAKEDA, K.; TSUGE, Y.; MATSUYAMA, H. Decentralized Scheduling Algorithm to Improve the Rate of Production Without Increase of Stocks of Intermediates. **Computers and Chemical Engineering**, v. 24, p. 1619-1624, 2000.
- TARDIF, V.; MAASEIDVAAG, L. An Adaptive Approach to Controlling Kanban Systems. **European Journal of Operational Research**, v. 132, n. 2, p. 411-424, 2001.
- TUBINO, D. F.; DANNI, T. S. Ajuste dinâmico do número de kanbans de um sistema produtivo Just-in-Time através da simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17 ENEGEP, 1997, Gramado, RS. **Anais...** Gramado, RS, 1997.
- TUBINO, D. F.; LEMOS, A. C. D. Aplicação de uma metodologia de ajuste do sistema kanban em um caso real utilizando a simulação computacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19 ENEGEP, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999.
- VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- VERNYI, B.; VINAS, T. Easing Into E-Kanban. **Industry Week**, v. 254, n. 12, p. 32, dec. 2005.
- VILLAS-BÔAS, R. D. S. Aplicabilidade do Sistema Toyota de Produção em um Serviço de Saúde Ocupacional: Um Estudo de Caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ENEGEP, 2002, Curitiba-PR. **Anais...** Curitiba – PR, 2002.
- VOLLMAN, T. E.; BERRY, W. L.; WHYBARK, D.C. **Manufacturing Planning & Control Systems**. New York: McGraw-Hill, 1997.
- WHITE, R. E.; PRYBUTOK, V. The Relationship Between JIT practices and Type of Production System. **Omega, The International Journal of Management Science**, v. 29, n. 2, p. 113-124, 2001.
- ZIPKIN, P. A. *Kanban-Like Production Control System: Analysis of Simple Models*. **Technical Report, Research Working Paper** n. 89-1, Graduate School of Business, Columbia University, New York, 1989.

Sobre os autores

Muris Lage Junior

Moacir Godinho Filho

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar,
Rod. Washington Luís, Km 235, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil,
e-mails: moacir@dep.ufscar.br; muris@dep.ufscar.br

Recebido em 08/11/2006

Aceito em 29/1/2008