

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Gabriel Vidor

**DIRETRIZES PARA AVALIAÇÃO DE**  
**SISTEMAS DE GESTÃO DE POKA-YOKE**

Porto Alegre

2010

Gabriel Vidor

## **DIRETRIZES PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DE POKA-YOKE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Tarcísio Abreu Saurin, Dr.

Porto Alegre

2010

Gabriel Vidor

## **DIRETRIZES PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DE POKA-YOKE**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Tarcísio Abreu Saurin, Dr.**

Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof<sup>a</sup>. Carla Schwengber ten Caten, Dr<sup>a</sup>.**

Coordenador PPGEP/UFRGS

### **Banca Examinadora:**

Professor Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.* (PPGEP/UFRGS)

Professora Giovana Savitri Pasa, Dr<sup>a</sup>. (PPGEP/UFRGS)

Professor Ademar Galelli, Dr. (PPGA/UCS)

## **AGRADECIMENTOS**

A busca da felicidade é frustrada quando as pessoas não sabem como e onde procurar. Acredito que a gratidão é uma grande virtude, um caminho incondicional para ser feliz. Dessa forma, sou uma pessoa que atingiu a felicidade, pois sou grato a todos que colaboraram e participaram na minha caminhada até a concretização deste trabalho.

A Santíssima Trindade – Deus Pai, Jesus Cristo e ao Espírito Santo, toda minha gratidão, devoção e louvor. É Ele que fortalece a confiança em meu ser e faz acreditar ser possível quando todos duvidam.

A minha família, meus pais, que me deram o dom da vida e ensinaram os conhecimentos mais importantes que carrego comigo, os valores éticos. E também a meu irmão, obrigado por todo amor, carinho, incentivo, apoio, e participação na minha vida.

A minha namorada, pela sua compreensão, apoio e incentivo incessantes. Sempre compreensiva e tolerante com a dedicação que despendi para realização do trabalho.

Ao professor Tarcísio orientador deste trabalho. Posso afirmar sem dúvida alguma que sem suas contribuições este trabalho não teria sido realizado. Muito obrigado.

A todos os amigos que de alguma forma contribuíram com esta conquista e dividiram as dificuldades do cotidiano. Espero reencontrá-los nos caminhos da vida, para compartilhar novos momentos de alegria.

## RESUMO

Este trabalho propõe diretrizes para avaliar sistemas de gestão de *poka-yokes* (SGPK). As diretrizes foram desenvolvidas após revisão da literatura e estudos de caso destinados à identificação de boas práticas em organizações do ramo metalúrgico, metal-mecânico e automotivo. Em seguida, as diretrizes foram refinadas por meio de um estudo de caso no qual elas foram aplicadas para a avaliação de sete sistemas *poka-yokes* em uma empresa que utiliza práticas de produção enxuta (PE). As diretrizes propõem que os *poka-yokes* sejam avaliados com base em um conjunto de categorias (viabilidade econômica, gestão visual, manutenção, projeto e operação, estabilidade da produção e controle de qualidade), que são desdobradas em trinta características passíveis de avaliação. A aplicação das diretrizes no estudo de caso permitiu concluir que: (a) alguns dispositivos entendidos pelas empresas como *poka-yoke* podem estar distantes dos atributos necessários para caracterizar os mesmos como sistemas *poka-yokes*; (b) o avaliador precisa ter conhecimento técnico do processo em que o *poka-yoke* está instalado; (c) as diretrizes propostas podem ser utilizadas como subsídio para o desenvolvimento de novos sistemas *poka-yokes*; (d) a aplicação das diretrizes tende a ser mais útil para empresas que tem iniciativas de PE implementadas, visto que estas têm ênfase na redução de perdas e, se possuem mapas de fluxo de valor, podem visualizar o impacto sistêmico de *poka-yokes* instalados em operações específicas.

Palavras-chave: *Poka-yoke*. Inspeção. Auditoria. Produção Enxuta.

## ABSTRACT

This study presents guidelines to evaluate a management *poka-yoke* system. A literature review and the best practices review in organizations of branch metallurgy, metalworking and automotive preceded the development of the guidelines. Also, a case study was carried out with seven *poka-yoke* systems to validate the guidelines development in a company that uses lean production practices. The guidelines propose that *poka-yoke* systems be evaluated on a set of categories (economic viability, visual management, maintenance, design and operation, production stability and quality control), that are unfolded in 30 features capable of evaluation. The application of guidelines in the case study allowed to conclude that: (a) some devices understood by companies as *poka-yoke* may be far from the attributes necessary to feature then as *poka-yoke* systems; (b) the evaluator needs to have technical knowledge about the process where the *poka-yoke* is installed; (c) the guidelines proposed can be used as allowance for the development of new *poka-yoke* systems; (d) the application of the guidelines tends to be more useful for companies that have lean production initiatives implemented, because they develop efforts to combat wastes and, if they have value stream maps, they can see the systemic impact by *poka-yoke* systems in specific operations.

Key words: *Poka-yoke*. Inspection. Audit. Lean Production

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
1.1	CONTEXTO .....	8
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA .....	10
1.3	QUESTÕES DE PESQUISA .....	11
1.4	OBJETIVO GERAL.....	11
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
1.6	MÉTODO DE PESQUISA .....	11
1.7	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	13
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2</b>	<b>ARTIGO I – IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISA SOBRE SISTEMAS <i>POKA-YOKES</i> EM SISTEMAS DE MANUFATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO II – MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE SISTEMAS <i>POKA-YOKES</i> .....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>ARTIGO III – AVALIAÇÃO DE <i>POKA-YOKES</i>: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE MANUFATURA .....</b>	<b>61</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>84</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	84
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	87

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO

O Sistema Toyota de Produção (STP) desenvolvido a partir de 1930 despertou a necessidade de controle de perdas associadas aos processos e às operações, bem como norteou o desenvolvimento de métodos para combater perdas (OHNO, 1997). A forma desenvolvida para operacionalizar a produção, associada ao conjunto de métodos para melhoria da mesma, constituem a Produção Enxuta (PE), termo assim popularizado por Womack et al. (1992). O STP tem por objetivo produzir com melhor qualidade, com o menor custo, no menor tempo através de processos com fluxo contínuo e sem perdas (SHINGO, 1996).

As perdas observadas em processos e operações são indicadores de instabilidades, podendo ocorrer dentro do fluxo contínuo desejado (LIKER e MEIER, 2007). Dessa forma, a instabilidade de processo neutraliza a PE e suas funções de aumentar qualidade e reduzir custos e tempos de processamento. Portanto, o estudo da estabilidade é importante para associar as perdas em recursos, que são provocadas por falhas e ausência de mecanismos de controle. Kamada (2007) classifica os recursos como método, mão-de-obra, material, máquinas (4M's). Essa classificação permite que sejam definidas as melhorias por categorias, tratando o foco da instabilidade.

Neste contexto, observa-se a relevância de processos estáveis para a implementação de determinadas práticas e princípios de PE, como por exemplo o fluxo contínuo e a produção puxada, dois princípios fundamentais da PE apresentados por Black (1998), e que têm a estabilidade de processos como pré-requisito. A estabilidade permite, por exemplo, os sistemas enxutos terem estoques intermediários com tamanho máximo delimitado e planejados com base em determinada faixa. Dessa forma, esses estoques são suscetíveis a instabilidades, visto que as alterações numa determinada operação do sistema de manufatura se propaga rapidamente ao longo de todo o fluxo de valor, impactando anteriormente nas operações que são dependentes da operação geradora de instabilidades e posteriormente nas demais operações do processo.

A literatura propõe uma série de métodos para a melhoria da estabilidade em processos e operações. De acordo com Shingo (1996), o processo é o fluxo de materiais no tempo e no espaço, permitindo a transformação da matéria-prima em produtos, e a operação é o trabalho

realizado para realizar essa transformação, através da interação de equipamentos e operadores. Um exemplo de método frequentemente usado em sistemas de produção enxuta é a *Total Productive Maintenance* (TPM), a qual contribui diretamente para a estabilidade de operações, embora tenha impacto também na estabilidade de processos (BODEK, 1996). Outro exemplo, mas em nível de operação, é dado por Shingo (2000) e diz respeito à minimização do tempo de troca de ferramenta (*setup*) nas operações, conhecido como método de Troca Rápida de Ferramenta (TRF). Nesse método a perda por *setup* é combatida e verifica-se o seu impacto sobre todo o sistema de produção. Um terceiro exemplo é a aplicação de um sistema *poka-yoke* no combate a erros de operadores, minimizando o retrabalho e a geração do refugo nos processos (SHINGO, 1996).

Nesse contexto, este estudo enfatiza os *poka-yokes* como mecanismos que contribuem para a estabilidade de processos em sistemas de PE. Não há uma clara definição e classificação da literatura em relação aos *poka-yokes*. Enquanto alguns autores classificam o *poka-yoke* como um dispositivo de impacto limitado à estabilidade da operação em que está implantado (BENDELL et al., 1995), outros o classificam como um sistema de garantia de qualidade e redução de variabilidade, com impactos na estabilidade de todo o fluxo de valor (MCGEE, 2005). Há casos, como nos estudos de Patel et al. (2001) e Conti (2006), em que os *poka-yokes* não estão explicitamente associados a conceitos de estabilidade e perdas nos processos, sendo apresentados como dispositivos de garantia de confiabilidade. A confiabilidade de acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009) corresponde a probabilidade de algo desempenhar adequadamente o seu propósito, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais determinadas, diferentemente do propósito de garantia de estabilidade e fluxo contínuo associado por Hinckley (2007) ao sistema *poka-yoke*.

Grout (2007), Hinckley (2007), Connor (2006), McGee (2005) e Shingo (1988) realizaram estudos no sentido de desenvolver métodos para implementação e operacionalização de sistemas *poka-yokes*. Contudo, os métodos elaborados são similares e focam apenas na etapa de concepção do sistema *poka-yoke*, não considerando todo o seu ciclo de vida. De forma geral, os métodos contribuem para identificar a causa do problema, soluções e implementação das mesmas. Contudo, sistemas estruturados de desenvolvimento, que possibilitem a auditoria e melhoria contínua de sistemas *poka-yokes* não estão contemplados nas abordagens referidas.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A implementação de *poka-yoke* é recomendada quando a instabilidade de algum processo ou operação é verificada, porque o *poka-yoke* deve ser entendido como um elemento de garantia de estabilidade (GROUT, 2007). Embora a instabilidade tipicamente seja definida estatisticamente (MONTGOMERY, 2004), a perspectiva da PE extrapola essa visão para parâmetros que também podem ser definidos qualitativamente. De fato, a estabilidade em ambientes de PE vem sendo definida pelos autores Liker e Meier (2007) e Kamada (2007) como sinônimo da disponibilidade de quatro tipos de recursos: mão-de-obra, método, material, máquina (4M's). Apesar disso, essas duas formas de caracterizar a instabilidade não são formalmente consideradas em métodos existentes para o desenvolvimento de *poka-yoke* (SHINGO, 1996; GHINATO, 1996).

Os métodos como os propostos por Shingo (1988), McGee (2005) e Hickley (2007) estabelecem como criar e implementar o *poka-yoke*, entretanto sem a abordagem explícita em relação à estabilidade de processo vinculada aos 4M's propostos pelo STP. Além disso, conforme já comentado, os métodos não contemplam todo o ciclo de vida dos *poka-yokes*, negligenciando etapas tais como a manutenção e a descontinuidade de uso, seja por substituição, inutilização ou outro motivo.

Os *poka-yokes* são por vezes interpretados superficialmente como sinônimos de dispositivos a prova de falhas ou erros, embora possam ser entendidos como sistemas, extrapolando o conceito de um dispositivo (MIDDLETON, 2001; CONNOR, 2006). Um sistema *poka-yoke* é assim interpretado, haja vista seu impacto sobre o fluxo de valor, seus relacionamentos com outras ferramentas da qualidade e práticas de produção enxuta e o tratamento em sua descontinuidade de uso. Entretanto, apesar de ter um impacto sistêmico, nem sempre o *poka-yoke* pode ser entendido como um sistema. Onde por sistema entende-se a definição de Pasa (2004) como um conjunto de elementos teóricos e práticos que quando relacionados geram o funcionamento de um todo, que tem um cerne e uma estrutura.

Dessa forma, a complexidade dos *poka-yokes* requer que a avaliação de sua eficiência e eficácia seja realizada com base em um grupo de características abrangente, que considere que os mesmos são mais que dispositivos físicos, visuais ou funcionais.

Embora a idéia de que os sistemas *poka-yokes* contribuem para a melhoria da qualidade dos produtos seja relativamente bem conhecida na indústria e na academia, há poucos estudos que

descrevam a real extensão pela qual os *poka-yokes* têm sido usados e os seus reais impactos nos sistemas de manufatura. Em parte, tal problema se deve a fatores como: (i) a falta de padronização de conceito de sistema *poka-yoke*; (ii) a ausência de métodos de avaliação da eficiência e eficácia de uso dos *poka-yokes* no que tange sua utilização; (iii) a carência de métodos para controlar o retorno econômico financeiro; (iv) a ausência de estudos que tenham compilado boas práticas de gestão de sistemas *poka-yokes*, e que podem ser testadas e validadas em termos científicos.

### **1.3 QUESTÕES DE PESQUISA**

Com base no contexto e problema de pesquisa apresentados, a principal questão de pesquisa a ser respondida pode ser apresentada da seguinte forma:

- a) Como avaliar o uso de sistemas *poka-yokes* implementados em sistemas de manufatura?

Além disso, outras questões secundárias também são identificadas:

- b) O que caracteriza essencialmente um sistema *poka-yoke*?
- c) Como elaborar ações de melhoria decorrente da auditoria de sistemas *poka-yoke*?

### **1.4 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta dissertação é desenvolver diretrizes para avaliação da gestão de sistemas *poka-yokes*, com vistas a contribuir para a sua melhoria contínua.

### **1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos são os seguintes:

- a) Desenvolver um método de avaliação para sistemas *poka-yokes*, através de atributos que caracterizem esses sistemas.
- b) Propor recomendações para desenvolver um plano de ação de melhorias dos SGPK.

### **1.6 MÉTODO DE PESQUISA**

Em linhas gerais pode-se classificar este trabalho como uma pesquisa aplicada, pois será validado em empresas, na tentativa de solucionar os problemas cotidianos das organizações.

Além disso, classifica-se também como uma pesquisa explanatória, porque envolve a revisão bibliográfica e análise de estudos de caso, na tentativa de buscar soluções para problemas, até então, insolúveis. O procedimento de pesquisa pode ser classificado como um estudo de caso, considerando que tem o objetivo de analisar o impacto de técnicas e ferramentas em um ambiente de real aplicação, a fim de validar resultados de uma pesquisa realizada (THIOLLENT, 1997).

Quanto ao método de trabalho, a Figura 1 apresenta um esquema simplificado dos artigos desenvolvidos, demonstrando qual o papel de cada artigo para a obtenção do resultado final. De fato, a Figura 1 apresenta quais atividades desenvolvidas em cada artigo contribuíram para a obtenção do resultado final.

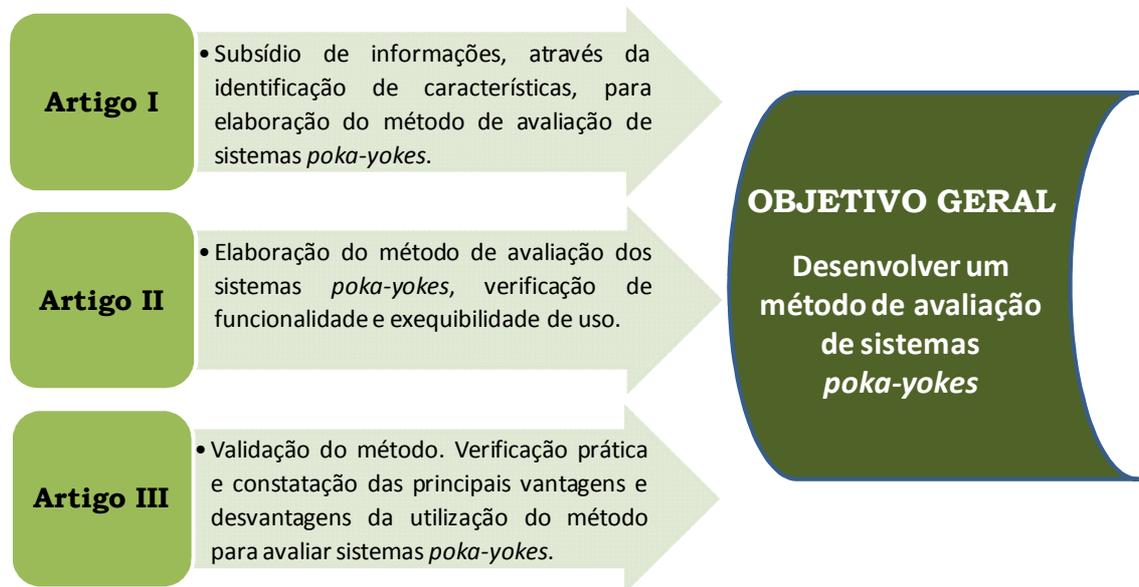


Figura 1 : Estruturação metodológica do trabalho

No Artigo I, as principais contribuições são em relação às oportunidades de pesquisa identificadas na literatura e as boas práticas organizacionais observadas em visitas técnicas. Na revisão da literatura foi definida uma base de informações que contém: (i) os conceitos de sistemas de inspeção; (ii) os conceitos de sistemas *poka-yokes*; (iii) a classificação dos sistemas *poka-yokes*; (iv) os métodos para elaboração dos sistemas *poka-yokes*; (v) a relação entre os *poka-yokes* e os sistemas de inspeção; e (vi) papel dos *poka-yokes* na estabilidade da produção. Dessa forma, a base de informações é subsídio para o desenvolvimento das categorias de avaliação de sistemas *poka-yokes*. Nas visitas realizadas as empresas foram identificadas características de avaliação de sistemas *poka-yokes*, que complementam a base

de informações citada anteriormente. Nesse artigo, os resultados são apresentados nas discussões dos tópicos referidos e são a base para realização do trabalho.

No Artigo II, a principal contribuição é a elaboração do método de avaliação. A revisão da literatura fundamenta todo o método apresentado, explicando: (i) os conceitos de sistemas *poka-yokes*; (ii) as características dos sistemas *poka-yokes*; (iii) as classificações de sistemas *poka-yokes*. A partir dessas informações e das informações relatadas no Artigo I, é realizada a elaboração do método de avaliação, com as suas dimensões, características e limitações. Além disso, é apresentada uma descrição em relação aos resultados esperados, formas de avaliar e perfil do avaliador. Por fim, os resultados apresentam a importância do método de avaliação para melhorias e desenvolvimento de sistemas *poka-yokes*.

A validação prática do método elaborado é a principal contribuição do Artigo III. A revisão da literatura é similar àquela apresentada no Artigo II, e fundamenta as análises realizadas no estudo de caso. Decorrente da validação do método é que são desencadeadas as análises e conclusões sobre o método. As análises exploram os pontos fortes e as limitações, comparando o que foi elaborado com os resultados testados. Finalizando, os resultados mostram a importância das categorias criadas e das relações estabelecidas entre essas categorias.

## **1.7 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

As análises nesse trabalho estão baseadas em observações de fatos e dados realizadas em empresas de manufatura, caracterizadas por serem multinacionais de capital aberto. Essas empresas estão concentradas nos ramos de metalurgia, metal-mecânico e automotivo. As empresas avaliadas são de grande porte. Nenhuma das empresas detém uma metodologia para avaliação de sistemas *poka-yokes* ou mesmo uma metodologia para a análise de falhas relacionadas a erros humanos e técnicos ligados a processos e operações.

Dessa forma, as características modeladas para avaliar o sistema *poka-yoke* podem estar focadas nos tipos de realidade organizacional observados, limitando então, a aplicabilidade do método aos ambientes similares aos referidos.

## 1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em cinco capítulos. Inicialmente, o Capítulo 1, denominado Introdução, compõe-se pelo contexto, questões de pesquisa, objetivos geral e específicos, método de pesquisa e delimitações do trabalho.

Na seqüência os Capítulos 2, 3 e 4 são os artigos que compõem a dissertação. O Capítulo 2, denominado Artigo I – Identificação de oportunidades de pesquisa sobre sistemas *poka-yokes* em sistemas de manufatura, aborda as divergências sobre o conceito do sistema *poka-yoke*, os principais métodos para projeto de *poka-yoke*, as relações do sistema *poka-yoke* com o conceito de estabilidade da produção, a necessidade de definir um termo para o sistema *poka-yoke*, de existir um sistema de gestão de *poka-yokes* (SGPK) e um sistema para avaliação e melhoria desses sistemas.

No Capítulo 3, denominado Artigo II – Método para avaliação de gestão de sistemas *poka-yoke* são mostradas todas as etapas metodológicas e ferramentas que foram utilizadas na coleta de informações e elaboração do método desenvolvido. Ao final do trabalho é apresentado o método desenvolvido e realizada uma análise de todos os impactos existentes sobre o sistema da qualidade da organização.

Capítulo 4, denominado Artigo III – Avaliação de *poka-yoke*: estudo de caso em uma empresa de manufatura é utilizado para explicar sobre o estudo de caso realizado para validar o método de avaliação que foi elaborado. Nesse capítulo é realizada também uma análise de viabilidade de utilização do sistema de avaliação, enfatizando os pontos fortes e fracos do método.

Capítulo 5, denominado Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros, faz a finalização do trabalho. Nesse capítulo é realizada uma discussão em relação aos pontos abertos no trabalho, bem como os aspectos de pesquisa inexplorados. Além disso, é realizada uma conclusão geral em relação a todas as discussões abordadas nos três artigos.

**2 ARTIGO I – IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISA  
SOBRE SISTEMAS *POKA-YOKES* EM SISTEMAS DE MANUFATURA**

Artigo formatado conforme exigências da revista Produção on-line

**IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISA SOBRE SISTEMAS  
POKA-YOKES EM SISTEMAS DE MANUFATURA**

Gabriel Vidor

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Departamento de Engenharia de Produção – DEPROT

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5° andar, Porto Alegre – RS – CEP 90.035-190

gvidor@producao.ufrgs.br

Tarcisio Abreu Saurin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Departamento de Engenharia de Produção – DEPROT

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5° andar, Porto Alegre – RS – CEP 90.035-190

saurin@ufrgs.br

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise sobre métodos, técnicas e diretrizes para projeto, operação e manutenção de sistemas *poka-yokes*. Paralelamente pretende-se contribuir com a apresentação do conceito de *poka-yoke* e quais as classificações a ele relativas. Dessa forma, conduziu-se uma revisão bibliográfica sobre conceitos de *poka-yokes*, classificação de sistemas *poka-yokes*, tipos de inspeção, tipos de erro, a relação da estabilidade e controle estatístico de processo com sistemas de prevenção de erro, técnicas e diretrizes existentes para projetar e gerir *poka-yokes*. Para cada tema realizou-se uma análise, estabelecendo a relação com os *poka-yokes*. Ao fim do trabalho constatou-se a ausência de um sistema para gestão de *poka-yoke* (SGPK), decorrente das inconsistências das técnicas existentes para projeto, operação e manutenção de *poka-yoke*.

Palavras-chave: qualidade, manutenção, *poka-yoke*, inspeção, erro.

**ABSTRACT**

This paper has the purpose of analyzing methods, techniques and guidelines for the design, operation and maintenance of *poka-yoke* systems. In parallel it intends to contribute with concepts about what *poka-yoke* are and their classification. Therefore a literature review was made about systems *poka-yoke* concepts, *poka-yoke* systems classification, kinds of inspections, kinds of mistakes, the relationship between stability and statistical process control with mistake proofing systems, techniques and directions to design and manage *poka-yoke*. An analysis was carried out with each subject relating *poka-yoke* with the subject. At the end

the absence of a *poka-yoke* management system was evident, because techniques for design, operation and maintenance aren't consistent.

Keywords: quality, maintenance, *poka-yoke*, inspection, mistake.

## 1. INTRODUÇÃO

A falta de estabilidade nos sistemas de manufatura, relatada por Liker e Meier (2007), é uma das principais causas de perdas e uma barreira para a implantação do fluxo contínuo, uma das metas dos sistemas de produção enxuta (PE). Dentre as estratégias para estabilização, os *poka-yokes* têm despertado crescente interesse na indústria e na academia, em função da aparente simplicidade de implantação e caráter intuitivo de seu funcionamento. De fato, Grout (2007) e Formoso et al. (2002) relatam a aplicação de *poka-yoke* em ambientes diversos, tais como construção civil, indústria automotiva, metalúrgica, saúde, logística, entre outras.

O termo *poka-yoke* tem sua origem nas experiências da *Toyota Motors Company*, que visavam obter zero defeitos na produção e eliminar as inspeções de qualidade. Os métodos para atingir tal objetivo foram inicialmente chamados de “à prova de bobos (*baka-yokes*)”, sendo que posteriormente reconheceu-se que isso era ofensivo aos trabalhadores e a denominação mudou para “à prova de erros” ou “livres de falhas” (*poka-yoke*). Inicialmente o objetivo era prevenir o erro humano no trabalho, visto como a principal causa dos defeitos (SHIMBUN, 1988).

Contudo, a expressão *poka-yoke* ou à prova de erros ou falhas é pouco precisa, havendo desde estudos que entendem que os *poka-yokes* são limitados aos dispositivos físicos que controlam defeitos (BENDELL et al., 1995) até estudos com uma visão abrangente, que entendem os mesmos como sistemas de garantia de qualidade e redução de variabilidade (MCGEE, 2005). Além disso, os métodos para projeto, operação e manutenção de *poka-yokes* estão desvinculados dos conceitos de estabilidade estatística de processo. Tal vínculo deveria existir, pois o controle estatístico da qualidade permite a identificação da frequência das causas aleatórias de um determinado processo (MONTGOMERY, 2004), o que constitui um grupo de informações para potenciais desenvolvimentos e implementações de sistemas *poka-yokes*. Contudo, vale ressaltar que um dos motivos pelos quais os *poka-yokes* foram disseminados na Toyota foi justamente a tentativa de reduzir a dependência do controle estatístico da qualidade, visto que esse, por definição, aceita margens de erro que são incompatíveis com a meta de zero defeitos (SHINGO, 2000). Entretanto, tal argumento possui

limitações, tais como: (a) os *poka-yokes* não podem substituir o controle estatístico de processo em 100% dos casos, seja pela impossibilidade técnica de projetar o *poka-yoke* ou pela natureza da característica de qualidade a ser inspecionada (por exemplo, resistência mecânica de componentes, cuja verificação pode exigir ensaios destrutivos); (b) os *poka-yokes* também são sujeitos a falhas, uma vez que frequentemente são constituídos por componentes com confiabilidade inferior a 100% (por exemplo, sensores); (c) conforme já comentado, o controle estatístico pode subsidiar o projeto de *poka-yokes*, apontando onde os mesmos são prioritários.

Portanto, o objetivo desse trabalho é analisar um conjunto de classificações e conceitos de *poka-yokes* identificados na literatura, tendo em vista a proposição de diretrizes de projeto, operação, manutenção e descontinuidade de uso dos *poka-yokes*. Para tanto, o trabalho contextualiza o papel dos *poka-yokes* no controle de qualidade, enfatizando sua contribuição nas operações de inspeção. Em seguida, são apresentadas as diretrizes encontradas na literatura para projeto, operação e manutenção de *poka-yokes* no contexto do controle de qualidade.

## **2. OS MECANISMOS DE CONTROLE DE QUALIDADE**

Devido à diversidade de elementos existentes para controlar e gerir a qualidade, neste trabalho são discutidos os *poka-yokes* e as operações de inspeção, haja vista o objetivo tacado para o estudo. Contudo, é necessário também uma discussão em relação ao conceito de controle da qualidade, cujo abrange as inspeções e os *poka-yokes*.

### **2.1 Definição de controle de qualidade**

Conforme Garvin (1992) a qualidade é uma disciplina em formação, podendo ser iniciada com os programas de inspeção, passando pelo controle estatístico da qualidade e garantia, até a fase de gestão estratégica. Nesse sentido a definição conceitual de qualidade é vinculada ao seu contexto. Conforme define Crosby (1999) a qualidade é o atendimento de requisitos dos clientes, portanto não é necessariamente sinônimo de virtude, brilho, luxo ou peso, nem tão pouco é intangível e impossível de ser mensurada.

Similarmente o controle da qualidade é na sua essência “o processo regulador por meio do qual se mede o desempenho real da qualidade, comparando-o com os objetivos da qualidade e agindo-se sobre a diferença” (JURAN et al., 1991). Observam-se neste conceito

questões implícitas como as inspeções do produto e a existência de um departamento da qualidade. Juran (1991) introduziu o termo controle da qualidade no início do século XX como sinônimo de prevenção de defeitos. Entretanto, em torno de 1940 houve uma propagação do conceito de CEP, restringindo o conceito de controle de qualidade à engenharia da qualidade, que acabou por deturpar a idéia original, de gestão organizacional, do controle da qualidade.

Posteriormente, Feigenbaum (1994) introduziu o termo “*Total Quality Control* (TQC)”, considerando o controle de qualidade como um sistema que integra esforços para desenvolvimento, manutenção e aperfeiçoamento da qualidade de vários processos e produtos em uma organização, de forma a permitir a satisfação do cliente.

Decorrente de sua abrangência o controle de qualidade requer uma mudança cultural da organização, com o comprometimento de todas as pessoas (ISHIKAWA, 1993). Essa mudança, como propõe Deming (1990), está baseada em quatorze princípios de controle de qualidade, que envolvem fatores como liderança, aprendizagem, melhoria contínua e comprometimento.

A sistematização do controle de qualidade desenvolve-se através de ferramentas e técnicas da engenharia da qualidade e pela gestão da qualidade. Esses dois tipos de controle de qualidade classificam as ferramentas, associando-as a métodos com base estatística, ou relacionando-as às técnicas de gestão. Nesse segundo grupo enquadram-se elementos como *poka-yokes* e operações de inspeções, que podem ser aplicadas a operações, processos e a combinação de processos e operações. As técnicas podem ser combinadas, a fim de incrementar as análises. Nesse trabalho discutem-se técnicas aplicadas a operações, a processos e a combinação de processos e operações, a fim de subsidiar o objetivo proposto.

## **2.2 Conceitos de inspeção**

A inspeção consiste da comparação do produto com os requisitos aplicáveis a esse produto (HIRATA, 1993). Dessa forma, qualquer diferença entre estes requisitos e o resultado da inspeção pode ser considerada uma anormalidade. De fato, Shingo (1988) ressalta que as inspeções podem ser classificadas de acordo com o seu objetivo, que pode ser descobrir defeitos, reduzir defeitos ou eliminar defeitos. As classes propostas por Shingo são:

- a) a inspeção por julgamento que tem a característica de descobrir defeitos, sendo aplicada aos produtos de forma a julgá-los defeituosos ou não-defeituosos, garantindo que o produto defeituoso não chegue a clientes internos ou externos.

De acordo com Ghinato (1996) este tipo de inspeção normalmente é aplicado a lotes inteiros de produção, posteriormente ao seu processamento ou em estágios finais de processo, o que não evita a produção de produtos defeituosos;

b) a inspeção informativa que tem como objetivo reduzir defeitos, na medida em que há *feedback* acerca dos defeitos identificados para o responsável pelo processo (GHINATO, 1996). Esse método, na visão Shingo (1988), é superior à inspeção por julgamento, contudo é ineficaz para a obtenção do zero defeito, visto que a ênfase está na detecção de defeitos no produto, ao invés da detecção de erros no processamento. Shingo (1988) classifica esse método em três categorias:

- o Controle Estatístico de Processo (CEP), bem como as cartas de controle, de acordo com Dias e Infante (2008), introduzidas por Shewhart em 1931. Prajapati e Mahapatra (2008) acrescentam que desde a criação das técnicas por Shewhart outras técnicas além das cartas de controle foram desenvolvidas e aplicadas no CEP, como as sete ferramentas da qualidade, assim denominadas por Montgomery (2004). Além disso, essas cartas de controle são vistas como poderosas ferramentas para detectar mudanças em processos produtivos ou em parâmetros dos processos produtivos (DIAS e INFANTE, 2008; WANG e ZHANG, 2008). Conforme Montgomery (2004) em qualquer processo de produção, independente de quão bem planejado ou mantido ele seja, sempre existirá variabilidade. Essa variabilidade é um efeito de muitas pequenas causas, essencialmente inevitáveis. Dentro do CEP essa variabilidade é entendida como “sistema estável de causas aleatórias” (MONTGOMERY, 2004), portanto quando um processo opera apenas com causas aleatórias de variação, também definidas como causas comuns por Shewhart (1931), ele está sob controle estatístico (as causas aleatórias são inerentes ao processo). Além dessas causas aleatórias existem também no controle de processo as causas atribuíveis. Uma das condições para um processo operar fora de controle é quando as causas atribuíveis estão fora dos limites de controle (DIAS e INFANTE, 2008). Uma causa atribuível é considerada fora dos limites quando assumir um valor superior ou inferior da média acrescido ou decrescido, respectivamente de três desvios padrão. Para Montgomery (2004) processos operam sob controle durante longos períodos de tempo. No entanto, causas atribuíveis normalmente ocorrem de maneira

aleatória, resultando em um deslocamento para fora do estado de controle (instabilidade do processo), onde uma maior proporção da saída de processo não corresponde às exigências, ou seja, uma maior parte do que está sendo gerado estará fora dos limites de especificação (LSE – limite superior de especificação, LIE – limite inferior de especificação). Montgomery (2004) afirma que o objetivo maior do controle estatístico de processo é detectar rapidamente a ocorrência da instabilidade de processo (causas atribuíveis da mudança de processo), de modo que a investigação de processo e a ação corretiva possam ser realizadas antes que muitas unidades sejam fabricadas. Nessa mesma perspectiva Prajapati e Mahapatra (2008) mostram que o objetivo do CEP é monitorar os processos, identificar causas especiais de variação e sinalizar para uma tomada de decisão correta, quando for apropriado. Conforme Ghinato (1998) o que inibe a maior utilização do CEP é o fato de modelos estatísticos desenvolvidos focarem o princípio matemático e não a resolução do problema no chão de fábrica;

- o Sistema de Inspeção Sucessiva, que conforme Ghinato (1996), essa modalidade surgiu da necessidade de inspeção 100% e da necessidade de atuação proativa e rápida em caso de constatação de defeito. Esse tipo de inspeção é estendido a todas as estações de trabalho, de forma que cada trabalhador inspecione o item recebido da etapa anterior antes de executar sua operação. Os pontos positivos desse tipo de inspeção são os fatos de que o índice de defeitos por falta de atenção é minimizado, as etapas anteriores estão vinculadas a etapa seguinte e a inspeção é conduzida por pessoas independentes aos processos;
- o Sistema de Auto-Inspeção (SAI), é considerado o sistema mais eficaz de inspeção informativa, visto que a inspeção é realizada pelo operador responsável pelo processamento, possibilitando ação corretiva instantânea. Além disso, outro fato que contribui é o de que as pessoas preferem descobrir os seus problemas, ao invés desses serem apontados por terceiros (SHINGO, 1996). Todavia, a maior limitação da SAI é o foco na detecção de defeitos ao invés da detecção de erros no processamento. A principal diferença entre o CEP e as outras técnicas está na forma de inspeção. O CEP é realizado por amostragem sobre variáveis e atributos. Entretanto, a SAI e a SIS são inspeções 100% realizadas sobre variáveis e atributos.

- c) a Inspeção na Fonte é definida por Shingo (1988) como a mais eficiente, visto que seu objetivo é atuar preventivamente e eliminar defeitos. Denominada em processos de manufatura como “controle adaptável” (BLACK, 1998), compensa ou corrige a condição de erro para prevenir a fabricação de um item defeituoso. A principal vantagem da inspeção na fonte demonstrada nos estudos de Takasan (1992) está no ciclo de controle mais curto em relação aos outros métodos de inspeção. Nesse método, o erro acontece e é detectado instantaneamente, a causa do erro é verificada e a ação corretiva é implantada. Dessa forma a atuação se dá sobre o processamento e não sobre o produto, o que viabiliza o zero defeito. Apesar dessa segurança, Shingo (1988) ressalta que se deve verificar o impacto do processo sobre os demais processamentos, a fim de evitar uma inspeção na fonte que seja desnecessária. Por exemplo, não é necessário que sejam instituídos processos de inspeção na fonte para operações de montagem do produto, mas nas operações de fabricação das partes desse mesmo produto.

### 2.3 Conceito de *poka-yoke*

Os *poka-yokes* são aplicados em diversos contextos (logística, saúde, construção civil, tecnologia da informação), não necessariamente associados a iniciativas de implantação da produção enxuta. Contudo, nem sempre estes contextos são coincidentes, complementares, ou evoluem durante os anos, conforme se observa na Figura 1.

Na Figura 1, observam-se as principais características conceituais de sistemas *poka-yokes* que são comuns a 19 conceitos distintos. Em 73% os conceitos de *poka-yoke* mencionam a prevenção de defeitos ou detecção de erros, sem realizar uma diferenciação entre os conceitos de erros e defeitos. A diferenciação é importante, visto que permite classificar a função dos *poka-yokes* como sendo reativa (protetora) ou pró-ativa (preventiva). Conforme definição de Shingo (1996), o defeito é um dano ocorrido ao projeto de produção, seja ele um produto ou serviço. De outro lado, um erro pode ser entendido como uma falha no planejamento ou execução de uma operação (REASON, 1997), sendo normalmente a causa imediata dos defeitos. Assim, neste estudo considera-se que os *poka-yokes* com função reativa detectam defeitos, enquanto os *poka-yokes* com função pró-ativa detectam erros e, como resultado disso, previnem defeitos.

Ano	Autor	Conceito de <i>poka-yoke</i>
1988	NIKKAN	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos com três funções básicas: parar o processo, corrigir o processo e alertar o operador de falhas no processo.
1995	Bendell <i>et al</i>	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos ou métodos que eliminam a ocorrência de defeitos. Esses dispositivos atuam para constatar o defeito quando ele ocorre, funcionando como um sistema de 100% de inspeção. Além disso, embora desenvolvidos em ambientes de manufatura, os <i>poka-yokes</i> têm aplicações em outros setores.
1996	Moore	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos para eliminar a ocorrência de erros, que apesar de desenvolvidos em ambientes de manufatura, podem ser usados no contexto de prestação de serviços de saúde.
1996	Ghinato	O <i>poka-yoke</i> é um dispositivo de detecção de anormalidades que, acoplado a uma operação, impede a execução irregular de uma atividade.
1997	Plonka	<i>Poka-yokes</i> são dispositivos que possibilitam a detecção, eliminação e correção de erros. Eles reconhecem que o ser humano comete erros que resultam em defeitos e são caracterizados por 100% de inspeção.
1998	Black	<i>Poka-yoke</i> é um método, mecanismo, ou dispositivo que irá prevenir a ocorrência de defeitos, ao invés de encontrar o defeito após ele ter ocorrido.
1999	Santos e Powell	Os <i>poka-yokes</i> são mecanismos para prevenir defeitos, embora algumas empresas usem esse sistema para parada de linhas ou máquinas quando alguma anomalia ou defeitos já ocorreu, atuando, então, corretivamente. Além disso, os <i>poka-yokes</i> devem ser usados nas tarefas repetitivas que exigem zelo ou atenção.
1999	Fischer	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos que previnem um erro ou um defeito, visando eliminar a causa de defeitos e tornar a inspeção desnecessária.
2001	Middleton	Os <i>poka-yokes</i> são uma prática para erradicação de erros no processo de desenvolvimento de software, atuando sobre a causa raiz de erros.
2001a	Patel <i>et al</i>	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos que podem ser usados como gabaritos, calibres, luzes e campainhas elétricas para prevenir erros.
2001b	Patel <i>et al</i>	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos para prevenir erros causados por falta de conhecimento do operador e sua displicência em relação ao processo, lapsos de memória, ausência de instruções e padrões de trabalho; falhas de manutenção de equipamentos.

2001	Stewart e Grout	<i>Poka-yokes</i> são dispositivos que realizam a detecção de defeitos.
2002	Formoso <i>et al</i>	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos que exercem o mais alto nível de controle sobre o processo produtivo, sendo projetados para permitir que a coisa certa ocorra, prevenindo que qualquer um faça algo errado.
2003	Lean Institute	Os <i>poka-yokes</i> são métodos que ajudam os operadores a evitar os erros em seu trabalho, tais como a escolha da peça errada, a montagem incorreta de uma peça e o esquecimento de um componente ou operação.
2005	McGee	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos e sistemas que previnem defeitos ou evitam inspeções. Além disso, os <i>poka-yokes</i> devem ser usados para corrigir erros e falhas que desestabilizam o processo, incluindo a criação de riscos de acidentes.
2006	Conti <i>et al</i>	<i>Poka-yokes</i> são técnicas usadas para eliminar julgamento e a displicência no desempenho das tarefas para produzir produtos com alta confiabilidade.
2006	Connor	Os <i>poka-yokes</i> são sistemas que detectam ou previnem a ocorrência de defeitos.
2007	Hinckley	Os <i>poka-yokes</i> são sistemas que fazem o produto ou o processo ocorrer de forma óbvia, com um fluxo contínuo.
2007	Grout	Os <i>poka-yokes</i> são dispositivos para prevenir erros ou para minimizar impactos negativos dos erros, aplicando-se a qualquer setor da indústria, serviços e vida diária.

---

Figura 1: Conceituações sobre *poka-yokes*

Observa-se também, na Figura 1, que com relação à classificação dos *poka-yokes*, 63% dos estudos classificam os mesmos como dispositivos, 21% como procedimentos, métodos e técnicas, e 16% como sistemas. Neste estudo, a perspectiva adotada é de que os *poka-yokes* são sistemas e devem ser desenvolvidos segundo um método que considere todo o seu ciclo de vida, desde a decisão de usar ou não um *poka-yoke* até a sua descontinuidade de uso. De fato, é necessário um sistema de gestão para *poka-yoke* (SGPK), possibilitando o projeto, operação, manutenção e descontinuidade do *poka-yoke*.

A Figura 1 também revela quais os setores que os autores tinham em mente quando definiram o conceito de *poka-yoke*. Segundo esse critério, em 16% dos casos os autores visam

aplicações nas áreas da saúde, tecnologia da informação, ou mesmo nas atividades domésticas, extrapolando a limitação de manufatura imposta pelos demais 84% de definições.

Além disso, em 100% das definições não há uma diferenciação entre os conceitos de prevenção e detecção de defeitos. Observa-se que 37% destes conceitos associam implicitamente o *poka-yoke* a função pró-ativa (prevenção do erro e do defeito), contudo nessas mesmas definições a função reativa também é ressaltada.

Observa-se também que em 16% das definições há uma associação entre o conceito do *poka-yoke* e o conceito da estabilidade da produção. Nesses conceitos o *poka-yoke* é mostrado como um mecanismo de garantia da estabilidade, atuando sobre a disponibilidade de recursos para o sistema de manufatura.

Essas análises subsidiam a proposição de um conceito de *poka-yoke* a ser usado neste trabalho. Portanto, nesse estudo os *poka-yokes* são definidos como sistemas destinados à prevenção e detecção de perdas de qualquer natureza (por exemplo, produtos defeituosos e acidentes de trabalho), sendo constituídos por barreiras físicas e/ou funcionais e/ou simbólicas, que contribuem para a redução da variabilidade e manutenção da estabilidade em processos. Barreiras físicas são aquelas que não permitem o transporte de massa, energia ou informação, bem como não dependem da interpretação do usuário (por exemplo, um muro). Barreiras funcionais estabelecem pré-condições que devem ser atendidas antes que um evento ocorra (por exemplo, uma senha). Barreiras simbólicas requerem interpretação, percepção e resposta do usuário (por exemplo, um cartaz) (HOLLNAGEL, 2004).

## 2.4 Classificações de *poka-yoke*

As aplicações práticas de sistemas *poka-yokes* com frequência consistem de gabaritos, sensores e alarmes. Por exemplo, Shimbun (1988) apresenta uma relação de 240 *poka-yokes* observados em 100 indústrias diferentes, incluindo as áreas de eletrônicos, automóveis e indústria pesada. Similarmente, Grout (2007) apresenta um manual com *poka-yokes* que poderiam ser desenvolvidos e aplicados na área da saúde.

Contudo, é possível estabelecer categorias analíticas de *poka-yokes* que abstraíam seus princípios operacionais e diferenciem dispositivos que, embora usem os mesmos mecanismos físicos, possuem propriedades distintas. Uma dessas categorias diz respeito a já citada diferenciação entre *poka-yokes* pró-ativos e reativos.

Outra classificação relativamente conhecida é a proposta por Shingo (1988), que classifica os sistemas *poka-yokes* de acordo com o objetivo e as técnicas utilizadas. Quando

vinculados ao objetivo, referem-se à função de regulação, e quando ligados as técnicas referem-se à função de detecção.

A classificação de Shingo (1988) divide a função de regulação em método do controle e método da advertência. O método do controle é assim denominado, pois o *poka-yoke* detecta uma variabilidade não esperada no processo e interrompe a operação, com os objetivos de evitar a produção de defeitos em série e criar um senso de urgência para que a ação corretiva seja implementada. Outra característica do método do controle é que o operador não possui graus de liberdade para tomada de decisão, sendo induzido a realizar a ação correta. No método da advertência, o *poka-yoke* detecta a anormalidade, mas não interrompe o processo, apenas sinalizando a ocorrência através de sinais sonoros e/ou visuais.

Já a função de detecção é dividida em método do contato, método do conjunto e método das etapas. O método do contato aplica-se tipicamente para detectar anormalidades nas dimensões, através de dispositivos que se mantêm em contato com o produto. O método do conjunto é utilizado em operações executadas em uma sequência de movimentos ou etapas idênticas, garantindo que nenhum desses passos seja negligenciado. O método das etapas também é usado para garantir que nenhuma operação seja negligenciada. Contudo, diferentemente do método do conjunto, no método das etapas as operações sequenciais não são idênticas.

Em particular, vale reforçar as oportunidades para uso integrado de *poka-yoke* e CEP. Ghinato (1996) ressalta que erroneamente a aplicação de *poka-yoke* costuma ser restrita a processos sem um forte controle estatístico. Contudo, os processos que são controlados estatisticamente são os que apresentam as maiores e melhores oportunidades de aplicação de *poka-yokes*, visto que as cartas de controles estatísticos geram as informações que subsidiam a escolha das categorias de *poka-yokes* mais apropriados. Por exemplo, em um processo de pesagem de matéria-prima para a fabricação de pastilhas de freio. O controle de peso (kg) de matérias-primas é usado para atender uma quantidade de peças por lote. Normalmente o operador não realiza uma pesagem adequada pela necessidade de atender múltiplos processos de pesagem durante o turno de trabalho. Valores de peso são controlados por amostragem a cada cinco pesagens analisadas e registrados de um gráfico de controle. A análise dessa carta de controle mostra que com passar do tempo o valor de pesagem tende do valor nominal para a parte inferior, até extrapolar o limite inferior de controle. Nesse caso a implementação do *poka-yoke* que garantisse o valor (kg) de pesagem, não permitindo que o operador removesse a matéria-prima da balança, até o valor nominal estabelecido, garantiria que o atendimento de toda a matéria-prima necessária para a confecção do lote. Esse caso ilustra a percepção de

Ghinato (1998) sobre a relação existe entre o desenvolvimento dos sistemas *poka-yokes* e os gráficos para controle de qualidade.

## 2.5 Métodos para elaboração de *poka-yoke*

Shingo (1988) propõe um conjunto de etapas para a elaboração dos *poka-yokes*. Na primeira, deve-se implantar um método de CEP para verificar onde os defeitos e problemas ocorrem freqüentemente. Na sequência, inicia-se o desenvolvimento dos *poka-yokes* que visem a controlar as causas mais freqüentes de defeitos. Esses projetos são concebidos pela equipe de trabalho designada para implantação de *poka-yokes*. A seguir, ocorre a implantação do *poka-yoke* e também a implantação de pontos de inspeção após o ponto de uso do *poka-yoke*, a fim de medir sua eficácia. Gradualmente, os pontos de inspeção são eliminados, até chegar-se a ocorrência de zero defeitos e a estabilidade do processo. Quando esse estado é obtido, o *poka-yoke* é estendido a processos similares.

McGee (2005) propôs cinco etapas: (a) identificar o defeito e o impacto desse defeito sobre o cliente; (b) identificar em que etapa do processo o defeito foi descoberto, para posteriormente descobrir em qual etapa ele foi criado; (c) identificar a causa raiz que originou o defeito; (d) realizar um brainstorming com a equipe de trabalho para detectar formas de eliminar os desvios de processo; (e) criar, testar, validar e implantar o dispositivo *poka-yoke*.

Para Connor (2006) a implantação do *poka-yoke* está vinculada à implantação da filosofia kaizen. A filosofia kaizen tem por princípio a melhoria contínua, e o autor defende que o *poka-yoke* deve ser continuamente melhorado, a fim de suprir as alterações ocorridas no processo. Dessa forma, o primeiro passo é documentar as variáveis do processo, com a identificação de potenciais defeitos em cada passo do processo. A identificação dos potenciais defeitos é realizada através de uma série de questões, conduzidas e documentadas pelos membros da equipe. Em seguida, o método de Connor (2006) propõe que sejam priorizados alguns desses potenciais defeitos e sejam realizadas observações nos processos que os originam. A partir disto, a equipe realiza um *brainstorming* sobre possíveis dispositivos *poka-yokes* ou outras técnicas a serem aplicadas para a prevenção do defeito. Na sequência, aplica-se o *poka-yoke* e acompanha-se o seu desenvolvimento no processo.

Para Hinckley (2007) o processo de desenvolvimento de um *poka-yoke* deve estar baseado no ciclo de solução de problemas PDCA (Plan – Do – Check – Action), envolvendo as seguintes etapas: (a) identificar o problema; (b) analisar o problema; (c) gerar soluções potenciais; (d) selecionar e planejar a implantação das soluções; (e) implementar as soluções;

(f) avaliar as soluções. Nesta última etapa, quando a avaliação for positiva deve ser padronizada e implantada em todos os processos similares. Quando o *poka-yoke* é validado, deve-se padronizar essa solução para todos os problemas semelhantes existentes na organização. Hinckley (2007) detalha a fase de identificação de problemas em subfases: (a) identificar com que frequência o problema ocorre; (b) avaliar o impacto do problema no fluxo de processo; (c) avaliar o impacto do problema sobre o cliente final.

Uma constatação realizada no estudo de Hinckley (2007) é de que o problema causado por erros humanos necessita de classificação pelo tipo de erro. De fato, diferentes tipos de erros humanos implicam em medidas preventivas com diferentes ênfases. Os *poka-yokes* são fortemente indicados para detectar erros que ocorrem durante atividades rotineiras, em comportamentos automatizados dos operadores. Nessas situações os operadores não estão com a atenção focada na tarefa e, por definição, os *poka-yokes* funcionam independentemente da atenção do operador (SAURIN et al., 2007).

No método de Grout (2007) existem oito etapas para o desenvolvimento de *poka-yokes*. A primeira etapa envolve selecionar um modo de falha para análise, dentre todos os modos de falha identificados no processo. Nesse passo, a ferramenta utilizada é o Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). No segundo passo realiza-se um brainstorming para indicar soluções para controle os modos de falha. Com a revisão do FMEA, diversos princípios dos modos de falha serão identificados, o que permite que no terceiro passo seja desenvolvida uma árvore detalhada de modos de falhas indesejáveis. A partir dessa árvore, no quarto passo, é possível identificar o modo de falha raiz que desencadeia os demais modos de falha indesejados. No quinto passo, identificam-se recursos que podem ser usados para controlar o modo de falha raiz, que gera, no sexto passo, uma primeira alternativa de projeto de dispositivo a prova de erros. No sétimo passo, devem ser identificadas outras alternativas de solução desenvolvidas no quarto passo, visto que elas podem apontar para falhas que não estão sendo cobertas pelo princípio de solução estabelecido; essa etapa é cíclica, até que ocorra a identificação do princípio de solução ideal. No oitavo passo é realizada a implementação da solução final.

O estudo de Grout (2007) apresenta também diretrizes para a etapa de implementação dos *poka-yokes*. Segundo aquele autor, deve-se considerar que a solução adotada pode enfrentar resistências organizacionais (por exemplo, a solução encontrada pode eliminar postos de trabalho em operações, gerando resistência por medo em operadores), e pode possuir altos custos de implantação. Grout (2007) sugere o desenvolvimento de um protótipo, antes de generalizar a implementação a todos os processos.

Embora os estudos citados neste item apresentem diretrizes para a elaboração de *poka-yokes*, nenhum deles constitui um método consolidado para a gestão de *poka-yokes* ao longo de todo o seu ciclo de vida. A Figura 2 sumariza as principais diretrizes identificadas nos estudos revisados.

Atividades desenvolvidas	Autor					Número de incidências
	Shingo (1988)	McGee (2005)	Connor (2006)	Hinckley (2007)	Grout (2007)	
Utilizar equipe multidisciplinar de desenvolvimento.	X	X	X	X	X	5
Implantar <i>poka-yoke</i> e acompanhar seu desenvolvimento no processo.	X	X	X	X	X	5
Buscar princípios de solução, para os problemas verificados, com a equipe de desenvolvimento, e documentar esses princípios.		X	X	X	X	4
Determinar qual a causa raiz do problema.		X		X	X	3
Desenvolver projeto inicial para <i>poka-yoke</i> .	X	X			X	3
Realizar brainstorming sobre possíveis <i>poka-yoke</i> para prevenir defeitos.		X	X		X	3
Conferir os outros princípios de solução, a fim de identificar falhas não cobertas pelo princípio de solução ideal estabelecido.				X	X	2
Generalizar <i>poka-yoke</i> para todos os processos e operações similares ao <i>poka-yoke</i> implantado.	X		X			2
Aprovar <i>poka-yoke</i> no processo produtivo.	X			X		2
Implantar pontos de inspeção e medição de eficácia.	X			X		2
Identificar erro e seu impacto sobre o cliente final.		X		X		2
Documentar as variáveis do processo e identificar pontos de erros potenciais.			X			1
Analisar dados do controle estatístico do processo.	X					1
Priorizar os potenciais defeitos			X			1
Determinar a frequência de ocorrência do problema.				X		1
Avaliar as soluções implementadas.				X		1
Identificar recursos que podem ser usados para solução de falha uma indesejada.					X	1

Figura 2: Técnicas relacionadas a *poka-yokes*

Observa-se que todas as diretrizes propõem a participação de uma equipe de desenvolvimento para os *poka-yokes*. Também em todos os casos as diretrizes priorizam

soluções da “causa raiz do defeito” (GROUT, 2007). Isto é importante, visto que permite a uma organização focar na criação de uma solução genérica para o problema.

As diretrizes existentes contemplam, como limite do ciclo de vida dos *poka-yokes*, a fase de implementação. Contudo, essa visão deveria ser ampliada uma vez que o contexto que gerou a necessidade do *poka-yoke* pode mudar, tornando-o obsoleto. As mudanças nos processos podem ocorrer decorrentes de variabilidades, que implicam em novas oportunidades de erros.

A necessidade de manutenção do *poka-yoke* também não está explícita nas diretrizes apresentadas na Figura 2. De fato, deve haver manutenções preventivas que permitam que o *poka-yoke* continue desempenhando suas funções. O uso dos *poka-yokes* como elementos de uma estratégia de gerenciamento visual também não está explícito nas diretrizes. Todavia, os *poka-yokes* dão visibilidade aos erros e defeitos, sendo necessárias estruturas de apoio que garantam a existência de recursos para solução o mais breve possível dos problemas. Por exemplo, quando os *poka-yokes* são usados em sistemas de produção enxuta, pode ser projetada uma estrutura de cadeia de ajuda, que padroniza quem são os responsáveis por prestar apoio aos operadores que detectaram os erros ou defeitos (KAMADA, 2007).

## **2.6 Relações entre *poka-yokes* e tipos de inspeção**

A funcionalidade principal de combinar *poka-yokes* e operações de inspeção está na redução substancial dos erros e defeitos nos processos. Conforme Shingo (1996) quando combinados esses mecanismos conduzem ao controle de qualidade zero defeito (CQZD) em processos.

Os tipos de erros combatidos pela combinação desses mecanismos são definidos nesse trabalho pelos desvios em relação ao método de execução correto, sendo que aqueles que executavam a tarefa tinham os recursos disponíveis para executar o método correto; e houve uma tomada de decisão incorreta, sendo que os recursos para a tomada de decisão correta estavam disponíveis. Conforme Reason (1997) esses erros podem estar associados a habilidades, regras e conhecimento.

Erros no nível da habilidade (skill-based errors, SB) são aqueles que o operador realiza comportamentos automáticos e rotineiros, com baixo nível de consciência. Os erros tipicamente envolvem falhas de execução, sendo que os lapsos e deslizos são as mais comuns. Erros no nível das regras (rule-based errors, RB) são aqueles que o operador aumenta a consciência para aplicar regras familiares em desvios também familiares das situações

rotineiras. Erros no nível do conhecimento (knowledge-based errors, KB) são aqueles que o operador atua em alto nível de consciência para resolver problemas que não dispõem de regras. Os erros são bastante prováveis quando o operador é requisitado a operar nesse nível, dentre outros motivos pelo fato de que normalmente há pressões organizacionais que limitam o tempo e os recursos para a tomada de decisão.

Esses tipos de erros poderiam ser inibidos, ou eliminados, pela combinação de *poka-yokes* e operações de inspeção. Todavia, não é recomendável a combinação de *poka-yokes* a todos os tipos de inspeção. Por exemplo, inspeções na fonte devem ser priorizadas na combinação com *poka-yokes*, em relação a inspeções por julgamento, visto que no julgamento a perda já está consumada e na fonte a perda foi evitada.

Uma combinação em que os tipos de erros poderiam ser minimizados é a elaboração de *poka-yoke* através da inspeção informativa, utilizando o CEP (Controle Estatístico do Processo). O CEP forneceria causas de anormalidades do processo. Salienta-se que anormalidades de processo são provenientes de todos os fatores de instabilidades causadas por erros ou defeitos (GHINATO, 1996). Nesse caso o sistema *poka-yoke* não dispensa a inspeção, mas a utiliza como base para seu projeto.

## **2.7 Papel dos *poka-yokes* na estabilidade da produção**

Conforme Liker e Meier (2007) a estabilidade de produção pode ser definida como a capacidade de produzir resultados coerentes ao longo do tempo. Já Kamada (2007) entende que a estabilidade ocorre quando se consegue produzir de acordo com o planejado, com o menor desperdício possível, sem afetar a segurança e garantindo a qualidade. Além disso, a estabilidade da produção para Liker e Meier (2007) é atingida através da combinação de mão-de-obra, método, materiais e máquinas. Portanto, a garantia da estabilidade na produção passa pelo combate às perdas. Essa perspectiva permite concluir que mecanismos de controle de qualidade, como *poka-yokes* e operações de inspeção, contribuem à garantia da estabilidade, seja de forma reativa (detectar erros) ou pró-ativa (prevenir erros). Exemplos, como ausência de manutenção preventiva e falta de padronização, descritos por Liker e Meier (2007), fortalecem a vinculação existente entre a estabilidade na produção e os mecanismos de controle de qualidade.

Outra forma de tratar a estabilidade é através da análise estatística do processo. Sob esta perspectiva, Montgomery (2004), define que um processo está estável quando permite a redução sistemática da variabilidade nas características-chave do produto, fornecendo as

ferramentas necessárias para avaliação e melhoria de processos, produtos e serviços de forma robusta e abrangente. Complementarmente, o autor exemplifica através de três fatores as causas para variabilidade de processo: máquinas ajustadas ou controladas de maneira inadequada, erros do operador e matérias-primas defeituosas.

Essas exemplificações permitem identificar evidências objetivas de instabilidade na produção, como: (a) alto grau de variação nas medidas de desempenho; (b) motivos para mudanças frequentes de planos; (c) ausência de método de trabalho padrão; (d) variabilidade de estoque em processo; (e) independência entre operações, fluxo inconsistente ou inexistente; (f) autonomia para funcionários que não estão suficientemente treinados em operações complexas. Nestes exemplos, sistemas *poka-yokes* funcionariam como agentes estabilizadores, atuando sobre as evidências de instabilidades.

Dessa forma, a garantia da estabilidade é suportada pelos mecanismos de controle de qualidade, como operações de inspeção e *poka-yokes*, discutidos anteriormente nesse artigo. A garantia da estabilidade através sistemas *poka-yokes* é uma abordagem desenvolvida por Shingo (1988). O autor relata a implementação de *poka-yokes* decorrentes instabilidade observadas em cartas de controle estatístico. O CEP, por exemplo, pode indicar onde os *poka-yokes* podem ser implantados, uma vez que aponta claramente as causas aleatórias nos processos. Essas causas são em muitas vezes repetitivas, ocorrendo em situações claramente identificáveis, tais como trocas de turno, retomada de jornada, operações de setup, entre outras. Além disso, os processos onde os procedimentos estatísticos para o CEP revelam-se complexos podem ser também controlados por *poka-yoke*, como por exemplo, fabricação de matrizes e moldes, construção de software, aplicação de medicamentos em pacientes.

A vinculação de *poka-yokes* para a garantia da estabilidade através da estabilidade de recursos ainda é um campo de estudo em aberto. Na revisão realizada não foram encontradas evidências dessa vinculação. Todavia, a utilização *poka-yokes* como meio para garantir a estabilidade da produção deve ser realizada, pois, de fato, o *poka-yoke* assegura que o erro ou defeito não ocorra garantindo a disponibilidade do recurso.

### 3. CONCLUSÕES

Este artigo ilustrou a diversidade de conceitos de *poka-yokes*, bem como de diretrizes para seu desenvolvimento. A verificação de conceitos e diretrizes relacionados a *poka-yokes* identifica a inexistência de padronizações para identificação das causas de problemas que levam ao projeto do sistema *poka-yoke*, a ausência de indicadores de eficiência e eficácia de

*poka-yokes*, a ausência de princípios de gestão visual, a desconsideração das fases de manutenção e descontinuidade no ciclo de vida do *poka-yoke*.

Em relação aos conceitos de *poka-yoke*, a conclusão foi de que existe uma diversidade de posições à respeito do tema. Em particular, ficou claro que os *poka-yokes* podem ser de diversos tipos, mecanismos de funcionamento e grau de eficácia. A literatura não esclarece como identificar a configuração mais adequada do *poka-yoke* para cada tipo de perda e inspeção em que eles podem ser aplicáveis.

Em relação às diretrizes, a conclusão foi de que há uma preocupação voltada para o projeto e concepção de *poka-yokes* até a sua implementação, sendo negligenciadas a manutenção e descontinuidade de uso do *poka-yoke*. Assim, esse estudo indicou ser necessária a existência de sistemas de gestão de *poka-yokes* (SGPK) que contemplem todo o ciclo de vida. Além disso, os SGPK devem estar baseados no ciclo de melhoria contínua, o PDCA. As modificações que ocorrem em processos alteram sua estabilidade e o PDCA garantiria a estabilidade para um SGPK. O ciclo de melhoria contínua permitiria constantes verificações do *poka-yoke*, de sua adequabilidade ao sistema de manufatura e também da possibilidade de reaproveitar esse sistema. Resumidamente PDCA possibilitaria o controle de projeto, operação, manutenção e descontinuidade de uso dos *poka-yokes*.

A utilização de técnicas da qualidade para desenvolvimento de sistemas *poka-yokes* também é um campo de estudo em aberto. Por exemplo, o FMEA pode ser útil na etapa de identificação das causas de instabilidade, ou então com a elaboração do princípio de soluções a partir de múltiplas soluções verificadas, como mostram os estudos de Grout (2007).

Outra oportunidade de pesquisa diz respeito à investigação do vínculo entre o CEP e os sistemas *poka-yokes*. O CEP como sistema de inspeção pode ser uma das principais fontes de informação para projetos de *poka-yoke* e um método para elaboração de *poka-yoke* pode ser apoiado por essa ferramenta. Vinculações desse tipo permitiriam que a variabilidade não inerente do processo fosse tratada pela aplicação de sistemas *poka-yokes*, evitando a ocorrência de perdas, que são apenas indicadas em um sistema de CEP.

Quanto ao objetivo do trabalho de mostrar a diversidade de conceitos e nomenclaturas associados aos *poka-yokes* verifica-se que foi realizado, inclusive foi proposto um novo conceito para esses sistemas. O estudo dos conceitos de *poka-yoke* gerou a necessidade de detalhar os tipos de métodos existentes para concepção desses sistemas. Esse detalhamento foi importante, visto que proporcionou o entendimento de quais são as diretrizes utilizadas no projeto de *poka-yokes*.

Uma questão que merece investigação é em relação à classificação dos *poka-yokes* como ferramentas que, combinadas as operações de inspeção na fonte, garantem o zero defeito. Essa lógica contribui para que o conceito de *poka-yoke* seja confundido a uma barreira, ou um dispositivo, quando na verdade o artigo mostrou que deve ser entendido como um sistema. Portanto, uma pesquisa para detalhar a diferença entre os sistemas *poka-yokes* e o seu papel quanto à obtenção de zero defeito é necessária.

A estabilidade de processos e recursos é dependente de uma gestão dos sistemas, ferramentas e metodologias que propõem melhoria contínua. Portanto, um SGPK capaz de englobar todas as fases do desenvolvimento medir o impacto de um *poka-yoke* sobre um sistema de manufatura. Para tanto, é necessário que novas pesquisas indiquem diretrizes para forma de gestão de sistemas *poka-yokes*.

Verifica-se que o estudo de *poka-yokes* é uma questão em aberto que necessita de pesquisas que, primeiramente focalizem a definição conceitual dos sistemas *poka-yokes*, e, posteriormente, a elaboração de diretrizes que remetam a técnicas consistentes de elaboração e gestão de *poka-yokes*.

## REFERÊNCIAS

BENDELL, T., PENSON, R., CARR, S. **The quality gurus** – their approaches described and considered. *Managing Service Quality*, v.5, n.6, p.44-48, 1995.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Tradução: Gustavo Kannenberg e Flávio Pizzato. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda, 1998. Título original: *The design of the factory with a future*.

CONNOR, G. **Poka-yoke**: Human-Proof your Process. *Journal of Industrial Maintenance e Plant Operations*, p.12-14, jun. 2006.

CONTI, R., ANGELIS, J., COOPER, C., FARAGHER, B., GILL, C. **The effects of lean production on worker job stress**. *International Journal of Operations and Production Management*, v.26, n.9, p.1013-1038, 2006.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento**: a arte de garantir a qualidade. Tradução: Áurea Weissenberg. Rio de Janeiro: Livraria José Olímpio S.A., 1999. Título Original: *Quality is free*.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração.** Tradução: Clave Comunicações e Recursos Humanos SC Ltda. Rio de Janeiro: Editora Marques Saraiva S.A., 1990.

DIAS, J. R., INFANTE, P. **Controls Charts with predetermined sampling intervals.** International Journal of Quality and Reliability Management, v.25, n.4, p.423-435, 2008.

FEIGENBAUM, A. V. **Controle de Qualidade Total Gestão e Sistemas.** Tradução: Regina Cláudia Loverri. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda, 1994.

FISHER, M. **Process improvement by poka-yoke.** Work Study MCB University Press v.48, n.7, p.264-266, 1999.

FORMOSO, C. T., SANTOS, A., POWELL, J. A. **An exploratory study on the applicability of process transparency in construction sites.** Journal of Construction Research, v.3, n.1, p.35-54, 2002

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GHINATO, P. **O Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente o just-in-time.** Caxias do Sul, Editora da UCS, 1996.

GHINATO, P. **Quality control methods: toward modern approaches through well established principles.** Total Quality Management Journal, v.9, n.6, dez. 1998.

GROUT, J. **Mistake-proofing the Design of the Health Care Processes.** Rockville, AHRQ, 2007.

HINCKLEY, C. M. **Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry.** General Paper, Springer-Verlag, v.12 p.223-230, mar. 2007.

HIRATA, H. S. **Sobre o “Modelo” Japonês: automatização, novas formas de organização e de relações de trabalho.** São Paulo, Editora da USP, 1993.

HOLLNAGEL, E. **Barrier analysis and accident prevention: how to improve safety by understanding the nature of accidents rather than finding their causes,** 2004. 37p.

INSTITUTO LEAN. **Glossário para Praticante do Pensamento Lean.** Lean Institute Brasil, São Paulo, 2003. Apostila.

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total:** à maneira japonesa. Tradução: Iliana Torres. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1993. Título original: What is Total Quality Control?

JURAN, J. M., GRZYNA, F.M. **Controle da qualidade:** Conceitos, políticas e filosofia da qualidade. Tradução: Maria Cláudia de Oliveira dos Santos. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda, 1991. Título original: Juran's Quality Control – Handbook – 4th edition.

LIKER, K. J., MEIER, D. **O Modelo Toyota de Produção:** Manual de aplicação. Tradução: Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2007. 432p. Título original: The Toyota Way Fieldbook.

KAMADA, S. Estabilidade de Produção da Toyota do Brasil. Lean Institute Brasil, 2007. Disponível em [http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo\\_44](http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo_44).

MCGEE, D. Lean and Six Sigma: A Holistic Approach to Process Improvement. In.: ASQ- American Society for Quality Congress, **Proceedings...** Denver, USA, nov. 2005.

MIDDLETON, P. **Lean Software Development:** two case studies. Software Quality Journal, v.9, p.241-252, 2001.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4.ed. Rio e Janeiro: LTC, 2004.

MOORES, B. **A glossary of terms encountered in quality and customer service.** International Journal of Health Quality Assurance, v.9, n.5, p.24-36, 1996.

NIKKAN. K. S. **Poka-yoke:** Improving product quality by preventing defects. Portland: Productivity Press, 1988.

PATEL, S., DALE, B. G., SHAW, P. **Set-up time reduction and mistake proofing methods:** an examination in precision component manufacturing. The TQM Magazine, v.13, n.3, p.175-179, 2001.

\_\_\_\_\_. **Set-up time reduction and mistake proofing methods:** a study of application in small company. Journal of Business Process Management, v.7, n.1, p.65-75, 2001.

PLONKA, F. E. **Developing a Lean and Agile Work Force.** Journal of Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, v.7, n.1, p.11-27, 1997.

PRAJAPATI, D. R., MAHAPATRA, P. B. **A simple and effective X chart for process monitoring.** International Journal of Quality and Reliability Management, v.25, n.5, p.508-531, 2008.

REASON, J. **Managing the risks of organizational accidents.** England, Ashgate Publishing Limited, 1997. p.61-83.

SANTOS, A., POWELL, J. **Potencial of poka-yoke devices to reduce variability in construction.** Berkeley, University of California, p.51-62, 1999.

SAURIN, T. A., JACQUES, J., HENRIQSON, E., JÚNIOR, G. C. Análise de uma barreira de classificação contra acidentes em produtos e processos. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de produção. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2007.

SHEWHART, W. A. **Economic Control of Quality of Manufactured Product.** New York: Van Nostrand, 1931.

SHIMBUN, N. K. **Poka-yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects.** Portland, MA: Productivity Press, 1988. Título Original: Pokayoke dai zukan.

SHINGO, S. **Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System.** Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

\_\_\_\_\_. **O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção.** Tradução de Eduardo Schaan. Porto Alegre: Artemed® Editora S.A., 1996. 291p. Título original: A study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint.

\_\_\_\_\_. **Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos.** Tradução de Eduardo Schaan e Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artemed® Editora S.A., 2000, 327p. Título original: A revolution in manufacturing: the SMED system.

STEWART, D. M., GROUT, J. R. **The Human Side of mistake-proofing.** Journal of Production and Operations Management, v.10, n.4, p.440-459, 2001.

TAKASAN, K. TPM: confiabilidade e otimização de equipamentos industriais. In: Seminário Internacional de TPM, 1992, Tokyo. **Anais...** Tokyo: JIPM, 1992.

WANG, W., ZHANG, W. Early defect identification: application of statistical process control methods. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v.14, n.3, p.225-236, 2008.

**3 ARTIGO II – MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE SISTEMAS  
*POKA-YOKES***

Artigo formatado conforme exigências da revista Produção on-line

## MÉTODO PARA A AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DE *POKA-YOKES*

Gabriel Vidor

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Departamento de Engenharia de Produção – DEPROT

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar, Porto Alegre – RS – CEP 90.035-190

gvidor@producao.ufrgs.br

Tarcisio Abreu Saurin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Departamento de Engenharia de Produção – DEPROT

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar, Porto Alegre – RS – CEP 90.035-190

saurin@ufrgs.br

### RESUMO

No contexto da produção enxuta, diversos podem ser os fatores de desequilíbrio da estabilidade da produção. Sistemas *poka-yokes*, aparentemente de simples implementação e baixa complexidade podem representar uma solução para instabilidade. De fato, esses sistemas podem explicar diversos mecanismos de perdas, quando controlados e melhorados continuamente. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver um método para a avaliação de sistemas *poka-yokes*, que forneça subsídios para melhoria e controle de *poka-yokes*. Para tanto, foi realizada uma pesquisa do tipo estudo de caso, embasada em sistemas de auditoria existentes e respaldada pela utilização do método Delphi. Ao final do trabalho foi obtido um método para avaliação de um sistema de gestão de *poka-yokes*, no contexto da produção enxuta. O método definido permite que sejam realizadas avaliações de sistemas *poka-yokes*, indicando quais melhorias devem ser implementadas no sistema de manufatura onde o sistema *poka-yoke* está instalado.

Palavras-chave: *poka-yoke*; medição de desempenho, avaliação.

### ABSTRACT

In lean production context, several can be the factors that imbalance production stability. *Poka-yoke* systems, of apparently simple implementation and low complexity can represent a solution for instability. In fact, the *poka-yoke* system can explain several waste mechanisms, when controlled and improved continuously. Therefore, the objective of this paper is to develop a method to evaluate the *poka-yoke* system, providing subsidizes to improve and to control *poka-yoke*. For that, a case study research was held, based on existing audit systems and supported by Delphi methods. At the end of the paper a method was created to evaluate

the management *poka-yoke* system, in lean production context. The method allows evaluations about *poka-yoke* system to be carried out, generating a result of which improvements should be implemented in relation to the production system where the *poka-yoke* system is installed.

Keywords: *poka-yoke*, performance measurement, evaluation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de manufatura enxuta são afetados em seu fluxo contínuo por perdas, conforme relatam os estudos de Liker e Meier (2007). Dessa forma, a produção enxuta carece de mecanismos que garantam a continuidade de fluxo e, conseqüentemente, a estabilidade da produção. Dentre as estratégias para estabilização, os *poka-yokes* têm despertado interesse na indústria e na academia, em função da aparente simplicidade de implantação e caráter intuitivo de funcionamento. De fato, Grout (2007) e Formoso et al. (2002) relatam a aplicação de *poka-yoke* em ambientes diversos, tais como construção civil, indústria automotiva, metalúrgica, saúde, logística, entre outras. Essa abrangência mostra que os sistemas *poka-yokes* desempenham um papel importante na estabilidade da produção, pois esses sinalizadores e controladores de anormalidades que, quando implementados, permitem a maior autonomia dos operadores sobre o processo.

Originalmente tratado como “baka-yokes (à prova de bobos)” o sistema *poka-yoke* tinha por objetivo prevenir o erro humano no trabalho, visto como a principal causa dos defeitos (SHIMBUN, 1988). Com a evolução dos conceitos acerca dos sistemas *poka-yokes* divergências nesses conceitos são verificadas. Há autores que entendem que os *poka-yokes* são limitados a dispositivos físicos que controlam defeitos (BENDELL et al., 1995), outros tem uma visão abrangente e entendem os mesmos como sistemas de garantia de qualidade e redução de variabilidade (MCGEE, 2005).

Embora a idéia de que os sistemas *poka-yokes* contribuem para a melhoria da qualidade dos produtos seja relativamente bem conhecida na indústria e na academia dada a sua aplicabilidade, há poucos estudos que descrevam a real extensão pela qual os *poka-yokes* tem sido usados e o seu real impacto nos sistemas de manufatura. Em parte, tal problema se deve a fatores como os seguintes: (a) a falta de padronização do conceito de sistema *poka-yoke*; (b) a ausência de métodos de avaliação da eficiência e eficácia de uso dos *poka-yokes*; (c) a carência de métodos para controlar o retorno econômico financeiro; (d) a utilização dos sistemas *poka-yokes* dissociados de perdas constadas em sistemas de manufatura; e (e) a

ausência de boas práticas organizacionais, que possam ser testadas e validadas em termos científicos.

Nesse contexto verifica-se uma lacuna, visto que os sistemas *poka-yokes* como estão projetados e operando não atendem a critérios específicos de aplicação, que seriam a solução para a garantia de estabilidade. Idealmente um sistema *poka-yoke* deveria atender a critérios, que funcionariam como um indicativo das necessidades de melhoria do sistema. Uma forma de obter os indicadores de melhoria seria através de um método de avaliação dos sistemas *poka-yokes*.

Contudo, na literatura utilizada não são disponíveis métodos de avaliação de *poka-yokes*. Entretanto, autores mencionam aspectos importantes para avaliar sistemas *poka-yokes*, como a viabilidade econômica (HINCKLEY, 2007), a gestão visual (MCGEE, 2005 CONNOR, 2006, GROUT 2007), a estabilidade da produção (LIKER e MEIER, 2007, GROUT, 2007), a manutenção (CONNOR, 2006, HINCKLEY, 2007), os princípios de projeto e operação (SHINGO, 1988, MCGEE, 2005, CONNOR, 2006, HINCKLEY, 2007, GROUT, 2007) e controle de qualidade (SHINGO, 2000). Todavia, nessa mesma literatura utilizada não há detalhamento acerca de como realizar a avaliação segundo essas categorias e, também, nenhum estudo que considera todas as categorias simultaneamente para projeto, operação e manutenção de sistemas *poka-yokes*. Outra questão importante é que as práticas organizacionais pesquisadas não abrangem métodos de avaliação de sistemas *poka-yokes*, o que configura que um método desse tipo é uma carência para as organizações que utilizam conceitos de produção enxuta.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é desenvolver um método para a avaliação de sistemas *poka-yokes*, sistematizando categorias e suas características de avaliação, disponíveis na literatura e observadas no cotidiano das organizações.

## **2. O CONCEITO DE SISTEMAS *POKA-YOKES***

Apesar da multiplicidade de conceitos observados nos estudos de sistemas *poka-yokes*, as várias definições apresentam características comuns. Com base em uma revisão de 19 estudos, Vidor e Saurin (2010) concluíram que 73% dos conceitos de *poka-yokes* associam os mesmos à prevenção de defeitos e/ou detecção de erros, o que corresponde, respectivamente, a *poka-yokes* com função reativa (protetora) e pró-ativa (preventiva). Dessa forma, neste artigo considera-se que os *poka-yokes* com função reativa detectam defeitos,

enquanto os *poka-yokes* com função pró-ativa detectam erros e, como resultado disso, previnem defeitos.

Vidor e Saurin (2010) também concluíram que 63% dos estudos consultados classificam os *poka-yokes* como dispositivos, 21% como procedimentos, métodos e técnicas, e 16% como sistemas. Neste artigo, a perspectiva adotada é de que os *poka-yokes* são sistemas e devem ser desenvolvidos segundo um método que considere todo o seu ciclo de vida, desde o seu projeto até a sua desativação. De fato, é necessário um sistema de gestão para *poka-yokes* (SGPK), possibilitando integração entre as fases de projeto, operação, manutenção e descontinuidade do uso.

Os estudos mostram também que em 100% das definições não há uma diferenciação entre os conceitos de prevenção e detecção de defeitos. Observa-se que 37% destes conceitos associam implicitamente o *poka-yoke* a função pró-ativa (prevenção do erro e do defeito), contudo nessas mesmas definições a função reativa também é ressaltada.

Assim, neste estudo utiliza-se a definição de Vidor e Saurin (2010), onde os *poka-yokes* são entendidos como sistemas destinados à prevenção e/ou detecção de perdas de qualquer natureza (por exemplo, produtos defeituosos e acidentes de trabalho), sendo constituídos por barreiras físicas e/ou funcionais e/ou simbólicas, que contribuem para a redução da variabilidade e manutenção da estabilidade em processos.

Barreiras físicas são aquelas que não permitem o transporte de massa, energia ou informação, bem como não dependem da interpretação do usuário (por exemplo, um muro). Barreiras funcionais estabelecem pré-condições que devem ser atendidas antes que um evento ocorra (por exemplo, uma senha). Barreiras simbólicas requerem interpretação, percepção e resposta do usuário, estando fisicamente presentes nos locais em que são necessárias (por exemplo, um cartaz) (HOLLNAGEL, 2004).

### **3. CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS POKA-YOKES**

A literatura acerca de sistemas *poka-yokes* indica que existe um grupo de características essenciais associadas aos mesmos, sendo, pois, necessário classificar essas características e organizá-las sistematicamente através de categorias.

Hinckley (2007) enfatiza a relação custo-benefício envolvida no desenvolvimento de um sistema *poka-yoke*. O autor ressalta que o sistema *poka-yoke* é uma ferramenta de suporte para a autonomia. Conforme Ohno (1997), a autonomia é a automatização dos processos através da transferência de inteligência para a máquina. Liker e Meier (2007) complementam

indicando que automação permite que ao operador uma ação de resposta rápida sobre o processo quando da ocorrência da instabilidade.

A relação estabelecida entre a viabilidade econômica e a automação está no fato do *poka-yoke* ser uma solução simples, que implica em baixo custo, e paralelamente repassa a máquina responsabilidade controle do processo, garantindo a padronização e, conseqüentemente, a estabilidade. De fato, essa relação mostra que o conceito de Plonka (1997) em que o sistema *poka-yoke* é usado para eximir a pessoa da tarefa não é adequado, pois através da automação a pessoa passa a supervisionar a tarefa. Dessa forma, a viabilidade econômica do sistema *poka-yoke* é uma importante categoria sendo, necessariamente, uma das esferas de avaliação do sistema *poka-yoke*.

Os estudos de McGee (2005), Connor (2006), Grout (2007) discutem a gestão visual dos sistemas *poka-yokes*. McGee (2005) ressalta a necessidade de expor, junto às estações de trabalho, procedimentos que expliquem a forma de operar do sistema *poka-yoke* e as conseqüências para o sistema de manufatura de não existir a adequada gestão visual. Connor (2006) mostra a importância da padronização para criar os artefatos de gestão visual, visto que os artefatos não podem ter características diferentes nas estações de trabalho. Grout (2007) ressalta que não basta à empresa ter políticas de gestão visual para processos, mas é necessário focar na funcionalidade desses processos, suas ferramentas e sistemas, como, por exemplo, o papel do *poka-yoke* no processo em estudo e como isto é importante na estação de trabalho. Na verdade, verifica-se que a gestão visual também é um alicerce dos sistemas *poka-yokes*.

Outras importantes categorias associados aos sistemas *poka-yokes* são a sua durabilidade e estabilidade de desempenho, aspectos associados à manutenção. Os estudos de Connor (2006) e Hinckley (2007) focam na questão da manutenção. Para aqueles autores, a existência de um plano de manutenção preventiva dos sistemas *poka-yokes*, bem como o controle do histórico de manutenção corretiva, são necessários para prevenir falhas nestes sistemas. Portanto, a manutenção pode ser identificada como uma das categorias para a avaliação de sistemas *poka-yokes*.

Desde os estudos de Shingo (1988), passando por Ghinato (1996) e chegando a Grout (2007), os sistemas *poka-yokes* têm sido associados à redução de instabilidades e variabilidades na produção, conseqüentemente eliminando perdas. Os autores mostram que sistemas *poka-yokes* eliminam instabilidades e variabilidades de produção, visto que contribuem para melhorias em método, mão-de-obra e máquinas associados às tarefas. Os *poka-yokes* influem mais sobre essas três dimensões da estabilidade, visto que a dimensão de

material não depende dos sistemas *poka-yokes*. Liker e Meier (2007) definem os 4M's (método, material, mão-de-obra e máquina) como dimensões da estabilidade. Assim, identifica-se que o impacto na estabilidade de produção é uma categoria a compor os sistemas de avaliação de *poka-yokes*, haja vista as características citadas.

A forma de desenvolvimento dos sistemas *poka-yokes* está diretamente atrelada ao efeito gerado. Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007) mostram que os sistemas *poka-yokes* demandam de equipes multifuncionais de desenvolvimento, porque essas equipes possibilitam o desenvolvimento de sistemas mais robustos no que tange a flexibilidade e a segurança do operador que os utiliza. Além disso, os autores mostram que a equipe consegue identificar causas principais e secundárias de problemas, possibilitando uma gama de soluções maior em termos de projeto e posterior operação. Verifica-se que projeto e operação também é uma categoria para avaliação de sistemas *poka-yokes*. Essa categoria tem papel destacado na composição de um SGPK, visto que abrange as fases de desenvolvimento e avaliação de *poka-yokes*.

Outro grupo de características de sistemas *poka-yokes* está associada a controle, verificação, auditoria. Nesse grupo, estão as características de sistemas *poka-yokes* com funcionalidade definida por Shingo (2000) como pró-ativa e reativa. Enquadra-se nessa categoria também a redução de defeitos e variabilidade ao longo do tempo e os procedimentos de verificação anteriores e posteriores a jornada de trabalho. A categoria que compõe esse grupo de características é o controle de qualidade.

Apesar das características descritas anteriormente serem classificadas em seis categorias (viabilidade econômica, manutenção, gestão visual, estabilidade da produção, projeto e operação, e controle de qualidade) específicas para esse estudo, pode-se verificar que determinadas características poderiam compor também outras categorias, onde a migração entre as categorias é plenamente aceitável. Portanto, na etapa de método de pesquisa são discutidas as interações existentes, a fim de justificar a classificação das características.

#### **4. CLASSIFICAÇÕES DE POKA-YOKES**

As aplicações práticas de sistemas *poka-yokes* com frequência consistem de gabaritos, sensores e alarmes. Por exemplo, Shimbun (1988) apresenta uma relação de 240 *poka-yokes* observados em 100 indústrias diferentes, incluindo as áreas de eletrônicos, automóveis e indústria pesada. Similarmente, Grout (2007) apresenta um manual com *poka-yokes* que poderiam ser desenvolvidos e aplicados na área da saúde.

Contudo, é possível estabelecer categorias analíticas de *poka-yokes* que abstraíam seus princípios operacionais e diferenciem dispositivos que, embora usem os mesmos mecanismos físicos, possuem propriedades distintas. Uma dessas categorias diz respeito a já citada diferenciação entre *poka-yokes* pró-ativos e reativos. Outra classificação relativamente conhecida é a proposta por Shingo (1988), que classifica os sistemas *poka-yokes* de acordo com o objetivo e as técnicas utilizadas. Quando vinculados ao objetivo, referem-se à função de regulação, e quando ligados as técnicas referem-se à função de detecção.

A classificação de Shingo (1988) divide a função de regulação em método do controle e método da advertência. O método do controle é assim denominado, pois, o *poka-yoke* detecta uma variabilidade não esperada no processo e interrompe a operação, com os objetivos de evitar a produção de defeitos em série e criar um senso de urgência para que a ação corretiva seja implementada. Outra característica do método do controle é que o operador não possui graus de liberdade para tomada de decisão, sendo induzido a realizar a ação correta. No método da advertência, o *poka-yoke* detecta a anormalidade, mas não interrompe o processo, apenas sinalizando a ocorrência através de sinais sonoros e/ou visuais.

Já a função de detecção é dividida em método do contato, método do conjunto e método das etapas. O método do contato aplica-se tipicamente para detectar anormalidades nas dimensões, através de dispositivos que se mantêm em contato com o produto. O método do conjunto é utilizado em operações executadas em uma sequência de movimentos ou etapas idênticas, garantindo que nenhum desses passos seja negligenciado. O método das etapas também é usado para garantir que nenhuma operação seja negligenciada. Contudo, diferentemente do método do conjunto, no método das etapas as operações sequenciais não são idênticas.

Em particular, vale reforçar as oportunidades para uso integrado de *poka-yoke* e CEP. Ghinato (1996) ressalta que erroneamente a aplicação de *poka-yoke* costuma ser restrita a processos sem um forte controle estatístico. Contudo, os processos que são controlados estatisticamente são os que apresentam as maiores e melhores oportunidades de aplicação de *poka-yoke*, visto que as cartas de controles estatísticos geram as informações que subsidiam a escolha dos tipos mais apropriados de sistemas *poka-yokes*.

## 5. MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso que, conforme Thiollent (1997), tem o objetivo de analisar o impacto de técnicas e ferramentas em um ambiente de

real aplicação, a fim de validar resultados de uma pesquisa realizada ou subsidiar análises para a realização de uma nova pesquisa. Além disso, é importante ressaltar que o método de avaliação proposto está embasado nos estudos de Chiesa et al. (1996) no que tange a testes e utilização da ferramenta de auditoria.

A lógica desenvolvida nesse trabalho visa obter um método para avaliação de sistemas *poka-yokes*. O método de avaliação foi pensado pela funcionalidade do *poka-yoke* e pela política da empresa em relação ao *poka-yoke* (posteriormente, na fase de detalhamento do método, é realizada uma explanação sobre a diferenciação desses conceitos). Além disso, foi aplicado o método Delphi para elaboração, a fim de garantir que as opiniões pessoais não estivessem sobrepostas ao julgamento coletivo nas características definidas como importantes para sistemas *poka-yokes*.

Na primeira fase, buscando a definição de características para avaliar sistemas *poka-yokes*, a revisão de literatura indicou a necessidade de classificar as características de forma sistêmica, em categorias que, quando analisadas, registrassem necessidade de melhorias. Definidas as categorias, as características foram agrupadas e submetidas à avaliação de três especialistas. A análise dessa fase permitiu que melhorias fossem realizadas no método proposto preliminarmente, com a supressão de 10% e ajuste de 26% no total de características de avaliação.

Posteriormente aos ajustes realizados foram reunidos outros onze especialistas, permitindo que fosse realizada uma completa validação de conceito a cerca do método desenvolvido. De posse dessas informações, foi realizado com outro grupo de especialistas um teste de convergência em relação à adequabilidade das características para o contexto das organizações que utilizam sistemas *poka-yokes*. Terminada essa fase verificou-se homogeneidade das respostas realizadas pelos respondentes, com a obtenção de um resultado satisfatório, conforme explicita o método Delphi. Finalizando, foi elaborado o método de avaliação, com a definição de categorias e respectivas características de avaliação dos sistemas *poka-yokes*.

## **6. MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE SGPK**

Nesse item é discutida a forma de elaboração do método de avaliação para o sistema de gestão de *poka-yokes* (SGPK). Além disso, é abordado também como utilizar o método, critérios de interpretação das fontes de evidência, perfil do avaliador e formas de validação dos resultados da avaliação.

## 6.1 Fases para elaboração do método

O método de avaliação do SGPK foi desenvolvido em 10 etapas como mostra a Figura 1. O desenvolvimento pode ser agrupado em três fases e diversas etapas. A primeira fase pode ser chamada de averiguação e definição, onde foi realizado o levantamento bibliográfico e observações do cotidiano das organizações, em ambos os casos associados ao funcionamento dos sistemas *poka-yokes*. A segunda fase, chamada de elaboração compreendeu a definição de um método que possibilita a avaliação de sistemas *poka-yokes* através de diferentes categorias e suas respectivas características. A última etapa, chamada de validação e finalização, coube a verificação do conceito e realização dos ajustes até obtenção do resultado final.



Figura 1: Método para criação do sistema de avaliação de *poka-yokes*

Na primeira etapa do trabalho foi realizada uma revisão sistematizada, a fim de identificar o conceito de *poka-yoke* e as principais categorias para avaliar esses sistemas. Por categoria entende-se um grupo macro capaz de representar a essência dos sistemas *poka-yokes*. O resultado desta fase foi a definição do conceito de sistemas *poka-yokes* e também a identificação das seis categorias para sua avaliação.

Na segunda etapa foi definida conceitualmente as seis categorias identificadas pelo estudo. A definição foi realizada associando as informações de características da literatura. As categorias identificadas no estudo são as mesmas que foram apresentadas na parte inicial

desse artigo. O conceito de cada categoria utilizada nesse trabalho está representado na Figura 2.

Na terceira etapa foi realizado um detalhamento da revisão da literatura, a fim de definir quais seriam as características que comporiam cada categoria. Foram observadas 33 características. Dessas características, três estavam associadas à viabilidade econômica, seis à gestão visual, três à manutenção, duas à estabilidade da produção, oito ao projeto e operação e onze ao controle de qualidade. Ao fim dessa fase, foi possível estruturar uma parte do sistema de avaliação, com a classificação das características nas categorias associando as fontes bibliográficas de cada característica.

Na quarta etapa foram realizadas visitas a empresas com práticas de produção enxuta e que utilizam sistemas *poka-yokes* em seu cotidiano. Foram três as empresas visitadas. Essas companhias caracterizam-se por serem de grande porte, sendo multinacionais de capital aberto. As visitas foram importantes porque auxiliaram a identificar as fontes de evidência a ser observadas relativamente às características que compõe o sistema de avaliação de *poka-yoke*, além de boas práticas no que tange à gestão de *poka-yokes*. Constatou-se que as fontes de evidência são a principal fonte de comparação com a realidade organizacional.

<b>CATEGORIAS</b>	
Contemplam todas as áreas em que podem existir avaliações de sistemas <i>poka-yokes</i> no que tange o seu o projeto, a sua operação e a sua manutenção.	<b>Viabilidade econômica</b>
	Avalia se o sistema <i>poka-yoke</i> tem um retorno econômico-financeiro viável em relação aos objetivos organizacionais.
	<b>Gestão visual</b>
	Avalia se os aspectos visuais do sistema <i>poka-yoke</i> são relevantes para gestão do posto de trabalho onde esse sistema está instalado.
	<b>Manutenção</b>
	Avalia se existe manutenções preventivas e corretivas previstas no sistema <i>poka-yoke</i> .
	<b>Estabilidade da produção</b>
	Avalia se existe harmonia do sistema <i>poka-yoke</i> com meio, máquina, mão-de-obra e materiais com que interage.
	<b>Projeto e operação</b>
	Avalia como é a funcionalidade do sistema <i>poka-yoke</i> , verificando se os princípios de solução estão associados as causas de problemas identificadas na elaboração desse sistema.
<b>Controle de qualidade</b>	
Avalia de que forma o controle de qualidade, no que tange ao controle, auditoria e aferição dos sistemas <i>poka-yokes</i> .	

Figura 2: Conceitos das categorias para avaliação de sistemas *poka-yokes*

Na quinta etapa foram realizadas comparações entre as características identificadas, a fim de definir relações de características nas categorias criadas. Finalizada essa fase, foram iniciados trabalhos para a modificação dos totais de características das categorias controle de qualidade e estabilidade da produção, transferindo-se uma característica do controle de qualidade para estabilidade da produção, passando, respectivamente, a dez e três características.

Na sexta etapa foi realizada a construção do método, através da sistematização das categorias e suas características, das fontes bibliográficas e fontes de evidência associadas nas características. Nessa fase, foi associado também o conceito de PE a cada característica. O conceito de PE adotado para classificar as características foi o adotado pelos autores Liker e Meier (2007). A escolha deve-se ao fato dos autores serem referência no cenário mundial em relação ao assunto. Nessa etapa foram atribuídos números para características, sempre obedecendo à representação de dois números precedidos pelas letras referentes a cada categoria. Por exemplo, a característica quatro foi identificada como GV04 (onde GV equivale à gestão visual). A sistemática desenvolvida apresenta uma planilha com organização em colunas dos grupos de categorias, suas características, fontes bibliográficas, fontes de evidência e o conceito de PE.

Na sétima etapa foi realizada uma validação conceitual com três especialistas em produção enxuta. Esses especialistas são pessoas com experiência de dois a quatro anos em produção enxuta e que atualmente estão desenvolvendo seus trabalhos de mestrado e doutorado associados a este tema. Além disso, os especialistas têm realizado intervenções em organizações auxiliando no desenvolvimento da produção enxuta nesses ambientes. A validação conceitual permitiu que fossem realizados ajustes significativos em relação ao método de avaliação desenvolvido.

A primeira modificação foi em relação ao número de características, reduzido de 33 para 30. Foram eliminadas duas características da categoria viabilidade econômica e outra em relação a categoria controle de qualidade. Conforme julgamento dos especialistas, essas três características estavam duplicadas em relação a outras características já apresentadas.

A segunda modificação está associada ao tipo das características. As 30 características eram dos variáveis contínuas e atributos. Após análise dos especialistas optou-se por transformar todas as características para o tipo atributos, sob o argumento que é mais importante verificar se um determinado sistema *poka-yoke* apresenta ou não a característica, ao invés de mensurar a sua importância quantitativamente, visto que essa medição implicaria

na identificação de um modelo para cada sistema de manufatura em uma organização (ou mesmo, diferença nos sistemas de manufatura dentro da mesma empresa) que utilizasse o método de avaliação, dada a importância atribuída em menor ou maior grau para cada característica.

A terceira modificação realizada foi a diferenciação das características pela funcionalidade do *poka-yoke* ou pela política da empresa em relação ao sistema *poka-yoke*. Essa diferenciação permite mostrar o que está relacionado à operação do sistema *poka-yoke* e o que depende de uma política organizacional para ser realizada. Por exemplo: a característica C24 após a modificação ficou detalhada da seguinte forma – a funcionalidade atesta a eficácia do sistema *poka-yoke*, e ao mesmo tempo a empresa deve ter a política de desenvolver procedimentos para auxiliar na verificação de funcionamento a cada início da jornada de trabalho. Verifica-se que a característica é similar no que tange a eficácia, todavia a primeira parte está associada à função do sistema *poka-yoke* e deve existir independentemente do tipo de organização; já a segunda parte está associada à forma de trabalho da empresa, podendo ser implementada de acordo com a filosofia de trabalho de cada organização.

A última modificação foi em relação ao agrupamento das características nas categorias. A análise com especialistas permitiu a migração de características entre as categorias definidas. O reagrupamento proposto envolveu uma característica na categoria viabilidade econômica, seis na categoria gestão visual, quatro na categoria manutenção, quatro na categoria estabilidade da produção, seis na categoria projeto e operação, e nove na categoria controle de qualidade.

Apoiado por todas essas informações, na oitava fase foi realizada uma readequação do sistema de avaliação elaborado na etapa seis. Não foi realizada uma mudança significativa na forma de apresentação, continuando a organização das características em colunas justapostas com as respectivas informações relatadas anteriormente. Além disso, foi realizada uma revisão da descrição das características.

Na nona etapa foi realizada uma validação final do método com onze especialistas. Nenhum desses especialistas havia sido envolvido nas fases anteriores. Os especialistas caracterizam-se por ser todos engenheiros de produção, com experiência profissional entre cinco e dez anos, em organizações que utilizam práticas de PE em seu cotidiano, sendo que 82% atuam na indústria e o restante no ramo de serviços. Além disso, 90% apresentam formação específica na área de produção enxuta. Nessa etapa todas as 30 características foram modificadas em sua descrição, sendo que a mudança mais significativa relacionada às categorias de projeto e operação e controle de qualidade. Na categoria de projeto e operação

foram realizadas três modificações integrais, que podem ser entendidas como a substituição da característica original por outra de igual sentido, mas de descrição totalmente diferente da descrição anteriormente desenvolvida. Na categoria de controle de qualidade foram modificadas integralmente duas características, e parcialmente outras duas. A justificativa para a modificação das características foi a necessidade de adequação dos termos. Na maior parte das ocasiões os termos encontravam-se defasados em relação ao praticado no cotidiano das organizações, o que acabaria por prejudicar a análise de quem utilizasse o método de avaliação de sistemas *poka-yokes*.

A etapa final compreendeu os ajustes a partir das sugestões dos especialistas e revisão final. Na décima etapa, foi realizada uma adequação visual do que estava sendo proposto, a fim de facilitar a manipulação no momento da avaliação. Outro aspecto ajustado foi em relação ao conceito de produção enxuta associado, como houve mudanças nas descrições das características foi necessário também revisar esse conceito associado a cada característica.

## 6.2 Definição do método de avaliação

A Figura 3 ilustra o método para avaliação de SGPK desenvolvido por meio dos procedimentos descritos no item anterior. É possível observar que o método apresenta as categorias e as respectivas características dos SGPK. As características estão divididas em características de funcionalidade do *poka-yoke* e características de política da empresa, respectivamente nas colunas B e C. A funcionalidade está associada ao objetivo para qual o sistema foi criado e deve fazer parte de qualquer sistema *poka-yoke*, independentemente da empresa, sistema de manufatura ou processo em que foi implementado. A política da empresa está relacionada ao tratamento que a empresa atribui ao processo que tem um sistema *poka-yoke* associado. Essa diferenciação é importante, porque permite ao avaliador definir se as melhorias dos sistemas *poka-yokes* podem ser relacionadas a funcionalidade do sistema, ou se é necessário o desenvolvimento de uma política institucional, como normas para aferição e verificação dos sistemas.

Na coluna A está mostrado o código da característica do sistema *poka-yoke*. O código é composto pela letra “C” seguida de dois números. A codificação é importante para que o avaliador possa utilizar a planilha de forma fácil, tornando rápida e produtiva a avaliação.

Nas colunas D e E é possível observar as fontes bibliográficas e fontes de evidência para avaliação de cada característica. As fontes de evidência correspondem às fontes de dados para verificar a existência da característica. Assim, uma fonte de evidências pode ser, por exemplo, um indicador, um formulário, uma norma, ou qualquer outro elemento que o avaliador possa auditar.

Viabilidade econômica do poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado	
Características do poka-yoke					
Funcionalidade do poka-yoke		Política da empresa			
C01	-	O retorno de investimento em relação ao poka-yoke atende todas as expectativas da organização quanto a custos e prazos estabelecidos.	Hinckley (2007)	Documentação, ou arquivo, sobre o cálculo de viabilidade econômica.	Controle de perdas
Gestão visual do poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado	
Características do poka-yoke					
Funcionalidade do poka-yoke		Política da empresa			
C02	Existe uma documentação que detalha como operar o poka-yoke, especificando todas as características do mesmo.	-	McGee (2005), Connor (2006), Grout (2007)	Instrução de trabalho da organização, padronizada conforme seu sistema de gestão.	Padronização
C03	Nas estações de trabalho ou máquinas em que o poka-yoke é implementado, existe uma instrução de trabalho explicando detalhadamente como realizar verificação funcional do poka-yoke.	A empresa tem uma política para dispor as peças suspeitas analisadas em cada verificação funcional do poka-yoke.	Connor (2006), Grout (2007)	Instrução de trabalho da organização, padronizada conforme seu sistema de gestão.	Padronização
C04	-	Existe uma identificação (fixação de etiquetas) e detalhamento de instruções de trabalho do processo em que há a implementação dos poka-yokes.	McGee (2005), Hinckley (2007)	Etiqueta de identificação de melhoria e/ou implementação de um poka-yoke.	Melhoria contínua
C05	-	Existe em cada estação de trabalho a explicação do procedimento de operação da máquina ou processo. Nessa explicação está contida a explicações em relação ao sistema	McGee (2005), Connor (2006), Grout (2007)	Instrução de trabalho da organização, padronizada conforme seu sistema de gestão.	Padronização
C06	-	Melhorias observadas com a implementação de poka-yokes são destacadas em todos os processos em que ocorreram.	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Indicador de eficiência do poka-yoke, que mede quantidade de defeito e retrabalho, mostrando a diferença entre antes e depois da implementação.	Melhoria contínua
C07	-	A gestão visual utilizada no poka-yoke é padrão e regulada por uma normatização da empresa.	Grout (2007)	Procedimento padrão da empresa de como gerir visualmente o seu poka-yoke.	Padronização
Manutenção do poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado	
Características do poka-yoke					
Funcionalidade do poka-yoke		Política da empresa			
C08	Existe um plano de manutenção preventiva para o poka-yoke que está sendo auditado.	-	Connor (2006), Hinckley (2007)	Plano de ação de manutenção da organização e histórico de manutenção preventiva.	Controle de perdas
C09	Existe um histórico de manutenção corretiva para o poka-yoke que está sendo auditado.	-	Connor (2006), Hinckley (2007)	Relatório de incidências de manutenção corretiva.	Controle de perdas
C10	-	Existe um plano de manutenção preventiva para toda a estação de trabalho, e o poka-yoke é tratado como parte dessa estação de trabalho.	Connor (2006)	Plano de ação de manutenção da organização e histórico de manutenção preventiva.	Controle de perdas
C11	A manutenção no poka-yoke auditado é do tipo corretiva e realizada de acordo com a necessidade.	-	Hinckley (2007)	Depoimento dos operadores que utilizam o sistema poka-yoke.	Autonomia
Estabilidade de produção e poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado	
Características do poka-yoke					
Funcionalidade do poka-yoke		Política da empresa			
C12	O poka-yoke previne (impede a ocorrência) a instabilidade e interrompe o processo.	O processo reinicia com o tratamento da(s) causa(s) do(s) problema(s).	Hinckley (2007), Grout (2007)	Projeto do poka-yoke e observação do funcionamento do processo na organização.	Autonomia
C13	O poka-yoke detecta (evita propagação) a instabilidade e sinaliza a anormalidade.	O processo reinicia com autorização da pessoa apropriada.	Hinckley (2007), Grout (2007)	Projeto do poka-yoke e observação do funcionamento do processo na organização.	Autonomia
C14	-	As peças produzidas que são verificadas por poka-yokes estão dentro da variabilidade aceitável.	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Indicador de eficácia, mede as partes por milhão do processo. Compara o antes e depois da implementação do poka-yoke.	Melhoria contínua
C15	A implementação do poka-yoke assegura melhorias no respectivo(a) processo ou operação.	-	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Indicador de eficiência, mede o <i>turn over</i> no processo. Compara o antes e depois da implementação do poka-yoke.	Melhoria contínua

Projeto e operação do poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado	
Características do poka-yoke					
Funcionalidade do poka-yoke	Política da empresa				
C16	O <i>poka-yoke</i> está projetado e operando para combater a causa raiz identificada anteriormente a sua concepção.	-	McGee (2005), Hinckley (2007), Grout (2007)	Projeto de <i>poka-yoke</i> e documentação de identificação de causa raiz (FMEA, FTA, Planilha de <i>brainsotming</i> , etc.)	Melhoria contínua
C17	-	A segurança do operador foi considerada na concepção de projeto do <i>poka-yoke</i> .	Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Parecer da área de saúde, segurança e meio ambiente no projeto de desenvolvimento.	Controle de perdas
C18	-	A flexibilidade do operador foi considerada na concepção de projeto do <i>poka-yoke</i> .	Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Parecer da área de saúde, segurança e meio ambiente no projeto de desenvolvimento.	Controle de perdas
C19	O projeto do <i>poka-yoke</i> foi pensado para combinar a operação de inspeção e o sistema <i>poka-yoke</i> .	-	Shingo (1988)	Projeto do <i>poka-yoke</i> .	Controle de perdas
C20	O <i>poka-yoke</i> está projetado e operando para combater as causas secundárias indentificadas anteriormente a sua concepção.	-	Hinckley (2007), Grout (2007)	Projeto de <i>poka-yoke</i> e documentação de identificação de causas de problemas (FMEA, FTA, Planilha de <i>brainsotming</i> , etc.)	Controle de perdas
C21	-	O projeto e implementação do sistema <i>poka-yoke</i> foi desenvolvido com a participação da equipe multifuncional.	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Documentação do projeto de desenvolvimento.	Autonomiação
Controle de qualidade e o poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado	
Características do poka-yoke					
Funcionalidade do poka-yoke	Política da empresa				
C22	O <i>poka-yoke</i> tem função pró-ativa, onde peças não conforme não são produzidas.	-	Shingo (1988), Hinckley (2007), Grout (2007)	Funcionamento do <i>poka-yoke in loco</i> e observação do processo.	Controle de perdas
C23	-	O <i>poka-yoke</i> é aferido regularmente, conforme exigências normativas em vigor.	Grout (2007)	Documentação com histórico de verificação do <i>poka-yoke</i> .	Padronização
C24	O procedimento de início de jornada atesta em 100% a eficácia do sistema <i>poka-yoke</i> .	O <i>poka-yoke</i> apresenta um procedimento para verificação de funcionamento a cada início da jornada de trabalho.	Grout (2007)	Instrução de trabalho que mostra como é o procedimento de verificação do <i>poka-yoke</i> .	Padronização
C25	-	O <i>poka-yoke</i> está integrado a outras ferramentas de gestão da qualidade.	Hinckley (2007)	Sistema de gestão da qualidade, sendo que o <i>poka-yoke</i> é um elemento caracterizado e com vida própria nesse sistema de gestão.	Melhoria contínua
C26	O <i>poka-yoke</i> realiza inspeção 100% automática.	-	Shingo (1988), Grout (2007)	Funcionamento do <i>poka-yoke in loco</i> e observação do processo.	Controle de perdas
C27	A implementação do <i>poka-yoke</i> gerou algum nível a redução de defeitos ao longo do tempo.	-	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Indicador de eficiência, mede o percentual de itens com defeitos e/ou defeituosos, comparando antes e depois da implementação do <i>poka-yoke</i> .	Controle de perdas
C28	O <i>poka-yoke</i> tem função reativa, onde peças não conforme são detectadas e desviadas.	-	Shingo (1988), Hinckley (2007), Grout (2007)	Funcionamento do <i>poka-yoke in loco</i> e observação do processo.	Controle de perdas
C29	O <i>poka-yoke</i> está vinculado a parâmetros do processo (temperatura, pressão, corrente, densidade, etc.).	-	Connor (2006)	Indicador de eficiência, que mede a variação da característica ao longo do tempo.	Controle de perdas
C30	O <i>poka-yoke</i> segue padronização para verificar itens.	-	Shingo (1988), Grout (2007)	Funcionamento do <i>poka-yoke in loco</i> e observação do processo.	Padronização

Figura 3: Categorias e características para avaliação de sistemas *poka-yokes*

Por fim, na coluna F está colocado o princípio de PE associado a cada característica. Essa definição é importante porque mostra à organização quais os princípios da PE estão sendo comprometidos por deficiências no SGPK.

Um aspecto importante da sistematização realizada é o fato de possibilitar a verificação das relações entre as categorias, conforme as características identificadas. A visualização de todas as características permite analisar, por exemplo, quais poderiam ser classificadas em outra categoria, evidenciando dessa forma as relações existentes entre as mesmas.

Resumidamente, pode-se afirmar que o método criado possibilita uma avaliação dos sistemas *poka-yokes* permitindo que cada organização realize melhorias focadas nas características daqueles que apresentam deficiências. Além disso, permite a organização projetar esses sistemas de acordo com categorias que conduzam a implementação de um SGPK.

### 6.3 Relações entre categorias do SGPK

As categorias para avaliar sistemas *poka-yokes* apresentam relações entre si, conforme descrito no item dois desse trabalho. Quando constituído o método de avaliação de sistemas *poka-yokes*, ao final da etapa dez, foi possível estabelecer as relações entre as categorias de avaliação. Na Figura 4 é apresentado um esquema no qual é possível exemplificar as relações existentes entre as categorias que compõem o método de avaliação do SGPK e que apresentam vinculação entre si, decorrente da classificação das características.

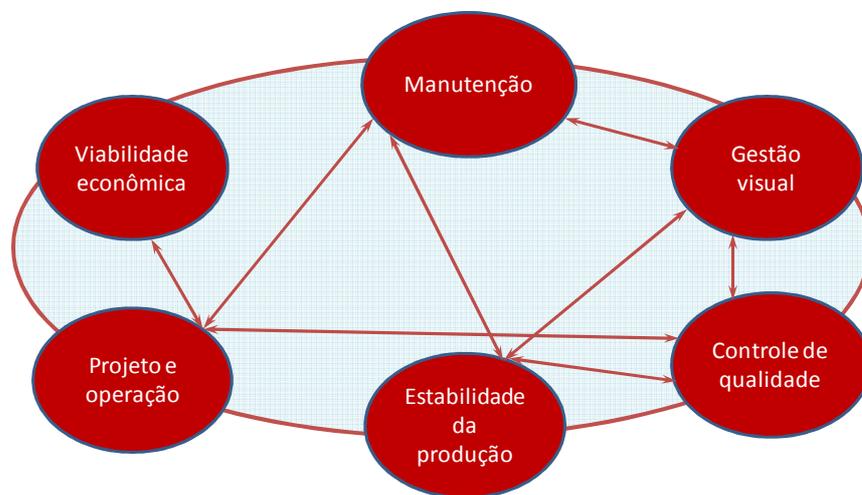


Figura 4: Categorias para avaliar sistemas *poka-yokes* e suas relações

Observa-se pela Figura 4 que a categoria viabilidade econômica está associada com a categoria de projeto e operação, isto porque o retorno econômico financeiro passa diretamente pelo tipo de projeto elaborado (influindo sobre a escolha de materiais, dispositivos hidráulicos ou pneumáticos, etc.), bem como a forma como opera (influindo sobre o aumento de produtividade, aumento da segurança do operador, etc.).

O projeto e operação estão diretamente relacionados com a manutenção do sistema e com o controle de qualidade. A manutenção está relacionada, visto que as características de projeto e a forma de operar vão influenciar diretamente sobre o tipo e a periodicidade de manutenção utilizada. O controle de qualidade relaciona-se com projeto e operação porque o sistema *poka-yoke* normalmente está vinculado a parâmetros de processo que são modificados com a introdução de um novo elemento ao ambiente de controle. A forma como esse novo elemento, no caso o sistema *poka-yoke*, é projetado e operado pode mudar o controle de qualidade realizado. Alterações no controle de qualidade influem diretamente sobre a estabilidade da produção, outra categoria afetada. Os aspectos de controle de qualidade com

relação à estabilidade são importantes, porque todas as características que estão associadas ao controle de qualidade afetam em menor ou maior grau um dos 4M's (máquina, método, mão-de-obra, material), que podem ser classificados "indicadores de estabilidade da produção" (LIKER E MEIER, 2007).

A estabilidade da produção está relacionada também à gestão visual e à manutenção. A estabilidade da produção relaciona-se à gestão visual, pois as características associadas a verificação funcional são resultado da política de gestão visual adotada. A manutenção é afetada pela estabilidade da produção, visto que os sistemas *poka-yokes* quando não suportados por um sistema de manutenção estão sujeitos a quebras, a paradas, a acidentes, enfim, a perdas de diversos tipos, que são as causas de instabilidades.

As relações observadas permitem concluir que todas as categorias são importantes para a confecção de um SGPK, bem como um método de avaliação. De fato, não há como ignorar uma das categorias a fim de obter um sistema *poka-yoke*. Todavia, a importância de cada categoria será proporcional dentro de cada contexto em que está utilizada.

#### **6.4 Recomendações para aplicar método**

Um aspecto importante quando da utilização do método é a qualificação do avaliador. O avaliador precisa ter estar treinado no conceito de sistemas *poka-yokes*, não podendo estar influenciado por questões institucionais ou impregnado de um conhecimento prévio que não permita uma nova aprendizagem. Além disso, a pessoa responsável pela auditoria deve ter experiência nos conceitos de PE, dada a influência dos sistemas *poka-yokes* sobre esses conceitos. O avaliador precisa também estar treinado sobre a forma de fazer avaliação e as fontes de evidência associadas a cada característica. Por fim, o avaliador deve saber priorizar os critérios investigados. A metodologia sugere uma numeração para as características, entretanto no momento da avaliação deve haver sensibilidade para permitir a fluência no processo de avaliação, ao invés da realização de desvios ou mesmo bloqueios, decorrente da necessidade de seguir a numeração.

Uma segunda questão que deve ser levada em consideração são as tarefas, o processo e as operações em que a avaliação está sendo realizada. Uma empresa que tem configuração de muitos sistemas de manufatura não pode ser analisada da mesma forma. Deve-se mensurar a importância de cada unidade da fábrica e ponderar a avaliação no contexto em que está sendo realizada. De fato, cabe a empresa identificar o nível de criticidade de cada processo e qual deve ser priorizado para melhoria ou implementação do sistema *poka-yoke*.

Para definir quais os sistemas *poka-yokes* serão avaliados a organização deve realizar um mapa de fluxo de valor de seus processos. Através desse mapa, será possível verificar quais os processos e operações críticas, e conseqüentemente os sistemas *poka-yokes* mais importantes. Além disso, o mapa de fluxo de valor possibilita a organização verificar onde novos *poka-yokes* poderiam ser implementados e também onde há categorias deficientes no SGPK. A empresa deve providenciar, anteriormente à realização da auditoria, um mapeamento dos sistemas *poka-yokes*. Esse mapeamento deve considerar as mesmas categorias que são usadas no sistema de avaliação. O mapeamento é importante, porque permite a empresa gerar fatos para análise dos sistemas *poka-yokes*, comparando-os com os resultados obtidos na avaliação.

### **6.5 Tratamento das fontes de evidência**

As fontes de evidência elencadas no estudo foram classificadas conforme a proposta de Cambon et al. (2006) para sistemas de auditoria, e contemplam três tipos: estrutural, operacional e por desempenho. Por estrutural entendem-se todas as informações que estão associadas a documentos, como desenhos de projeto, normas, instruções de trabalho e planos de ação. Por operacional estão todas as informações coletadas com o depoimento dos operadores, encarregados, supervisores das operações e processos em que os *poka-yokes* estão implementados, além de observações in loco. Na categoria desempenho agrupam-se todos os indicadores provenientes de medições em relação às operações e processos que tenham *poka-yokes* implementados. Essa classificação está representada na Figura 5.

CARACTERÍSTICAS	FONTES DE EVIDÊNCIA				CARACTERÍSTICAS	FONTES DE EVIDÊNCIA			
	Estrutural	Por desempenho	Operacional			Estrutural	Por desempenho	Operacional	
	Análise de documentos	Análise de indicadores de desempenho	Entrevistas	Observação direta		Análise de documentos	Análise de indicadores de desempenho	Entrevistas	Observação direta
C01					C16				
C02					C17				
C03					C18				
C04					C19				
C05					C20				
C06					C21				
C07					C22				
C08					C23				
C09					C24				
C10					C25				
C11					C26				
C12					C27				
C13					C28				
C14					C29				
C15					C30				

Figura 5: Classificação das fontes de evidência

Os documentos para a análise estrutural são coletados através de análises realizadas durante o processamento de um produto, ou então com os responsáveis pela implementação dos sistemas *poka-yokes*. Por exemplo, a instrução de trabalho para instalar um determinado *poka-yoke* é utilizada durante o treinamento, na respectiva estação de trabalho. Todavia, o plano de ação de melhoria do sistema *poka-yoke* é observado com o responsável pelas ações de melhoria.

As entrevistas e observações diretas para a análise operacional devem ser realizadas utilizando a característica que assim exigir. Por exemplo, quando existir a necessidade do depoimento do operador, por exemplo, o avaliador deve utilizar a própria característica para a realização da pergunta. O registro dos depoimentos é pela sua gravação, ou descrição da resposta do entrevistado, com posterior validação desse entrevistado.

Os indicadores para a análise por desempenho devem ser observados diretamente com os responsáveis pelo seu controle. A análise dos sistemas de indicadores da empresa e a coleta das informações devem ser realizadas de forma observacional e o valor do indicador deve ser registrado no momento da coleta como uma observação da avaliação.

## 6.6 Validação do método

A avaliação em SGPK sempre deve estar atrelada ao interesse da organização nos resultados obtidos. A validade da avaliação ocorre no momento em que a organização atesta a veracidade dos dados obtidos e os aceita para a realização de melhorias.

As melhorias devem estar descritas em um plano de ação, que evidencie responsáveis, prazos e ganhos estimados. Isto é importante em um sistema de avaliação, visto que cumpre o seu propósito conceitual, que é subsidiar ações de melhorias. No caso, melhorias associadas a sistemas *poka-yokes*.

## 7. CONCLUSÕES

O objetivo inicial do trabalho foi atingido, visto que a elaboração do método para a avaliação de sistemas *poka-yokes* foi concluída conforme previsto. Todavia, algumas considerações devem ser realizadas em relação ao resultado obtido.

A classificação das características entre a funcionalidade e política da empresa é vantajoso para a maioria das situações. O fato de mostrar o que deve ser realizado pela empresa, em termos de política institucional e em relação ao funcionamento dos sistemas *poka-yokes* permite que sejam focalizadas ações de melhorias para institucionalizar um SGPK. Todavia, cria em relação a cada característica a necessidade de estar associada a ações da organização para garantir sua viabilidade.

A definição das fontes de evidências para as características podem variar para a organização que está sob estudo. Nas organizações utilizadas como exemplo de estudos de caso, os sistemas de produção analisados comportavam as fontes de evidência sugeridas. Entretanto, a definição das fontes de evidência foi representada da forma mais genérica possível, sendo possível a cada organização fazer ajustes para casos extremos ou não resolvidos pelas fontes de evidência indicadas.

Outro aspecto é em relação a sustentabilidade do método quanto as fontes bibliográficas. Com a constituição de novos métodos para projetar, operar e manter os sistemas *poka-yokes*, periodicamente as características descritas nesse estudo demandarão revisão. Além disso, novas características poderão ser inclusas e outras poderão ser eliminadas.

Enfim, a contribuição do trabalho está no fato de proporcionar para as organizações em geral um método para avaliar sistemas *poka-yokes* que pode auxiliar a empresa em relação as suas práticas de PE. Além disso, proporciona análise de custos e retornos econômicos esperados do *poka-yoke*, do projeto e da forma de operar, do mecanismo de controle de

qualidade e da garantia de estabilidade. O método aplicado poderá levar a conclusão de quais as características precisam ser observados para melhoria de um sistema *poka-yoke*, sem necessário mensurar a dimensão quantitativa dessa melhoria.

## REFERÊNCIAS

BENDELL, T., PENSON, R., CARR, S. **The quality gurus** – their approaches described and considered. *Managing Service Quality*, v.5, n.6, p.44-48, 1995.

CAMBON, J., GUARNIERI, F., GROENEWEG, J. Towards a new tool for measuring safety management systems performance. **Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Symposium on Resilience Engineering**, Juan-les-Pins, France, nov. 2006.

CHIESA, V., COUGHLAN, P., VOSS, C. A. **Development of a technical Innovation Audit**. *Journal of Productive Innovation Management*, v.13, p.105-136, 1996.

CONNOR, G. **Poka-yoke: Human-Proof your Process**. *Journal of Industrial Maintenance e Plant Operations*, p.12-14, jun. 2006.

FORMOSO, C. T., SANTOS, A., POWELL, J. A. **An exploratory study on the applicability of process transparency in construction sites**. *Journal of Construction Research*, v.3, n.1, p.35-54, 2002

GHINATO, P. **O Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente o just-in-time**. Caxias do Sul, Editora da UCS, 1996.

GROUT, J. **Mistake-proofing the Design of the Health Care Processes**. Rockville, AHRQ, 2007.

HINCKLEY, C. M. **Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry**. General Paper, Springer-Verlag, v.12 p.223-230, mar. 2007.

HOLLNAGEL, E. **Barrier analysis and accident prevention: how to improve safety by understanding the nature of accidents rather than finding their causes**, 2004. 37p.

LIKER, K. J., MEIER, D. **O Modelo Toyota de Produção: Manual de aplicação**. Tradução: Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2007. 432p. Título original: *The Toyota Way Fieldbook*.

MCGEE, D. Lean and Six Sigma: A Holistic Approach to Process Improvement. In.: ASQ- American Society for Quality Congress, **Proceedings...** Denver, USA, nov. 2005.

OHNO, T. **O sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149Pp. Título original: Toyota production system: beyond large-scale production.

SHIMBUN, N. K. **Poka-yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects**. Portland, MA: Productivity Press, 1988. Título Original: Pokayoke dai zukan.

SHINGO, S. **Zero Quality Control**: Source Inspection and the Poka-yoke System. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

\_\_\_\_\_. **Sistema de troca rápida de ferramenta**: uma revolução nos sistemas produtivos. Tradução de Eduardo Schaan e Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artemed® Editora S.A., 2000, 327p. Título original: A revolution in manufacturing: the SMED system.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-ação nas organizações**. São Paulo: Atlas, 1997.

VIDOR, G., SAURIN, T. A. Identificação de oportunidades de pesquisa sobre sistemas poka-yoke em sistemas de manufatura. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UFRGS, Porto Alegre, 2010.

**4 ARTIGO III – AVALIAÇÃO DE *POKA-YOKES*: ESTUDO DE CASO EM  
UMA EMPRESA DE MANUFATURA**

Artigo formatado conforme exigências da revista Produção on-line

## **AVALIAÇÃO DE *POKA-YOKES*: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE MANUFATURA**

Gabriel Vidor

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Departamento de Engenharia de Produção – DEPROT

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5° andar, Porto Alegre – RS – CEP 90.035-190

[gvidor@producao.ufrgs.br](mailto:gvidor@producao.ufrgs.br)

Tarcisio Abreu Saurin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Departamento de Engenharia de Produção – DEPROT

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5° andar, Porto Alegre – RS – CEP 90.035-190

[saurin@ufrgs.br](mailto:saurin@ufrgs.br)

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento de sistemas *poka-yokes* no contexto de fabricação de itens em uma organização que utiliza práticas de produção enxuta. Para isso, foi utilizado um método de avaliação de sistemas *poka-yokes*. Através do método foi possível avaliar as categorias de viabilidade econômica, gestão visual, manutenção, estabilidade da produção, projeto e operação e controle de qualidade que compõe o sistema *poka-yoke*, bem como o grupo de características que compõe cada uma das categorias. O estudo de caso foi realizado com sete sistemas *poka-yokes* e a avaliação auxiliou a ressaltar os aspectos positivos e as necessidades de melhorias de cada *poka-yoke*, o que permitiu a elaboração de um plano de ação para registro das melhorias. Além disso, foi verificada a importância de existir um sistema de avaliação de *poka-yokes* e as fraquezas do sistema testado.

Palavras-chave: *poka-yoke*, avaliação, melhoria.

### **ABSTRACT**

This paper has the finally to check the *poka-yoke* system behavior in production items context in a company to use the lean production practices. For this, was used a *poka-yoke* system evaluation methods. Using the methods was possible to evaluate the categories economic viability, visual management, maintenance, design and operation, production stability and quality control that composed the *poka-yoke* system, as well as the features group that compose each category. The case study was done with seven *poka-yokes* system and the evaluation helps to show the positives aspects and the improvements necessities by each *poka-yoke*, what allowed the preparation action plan to register the improvements. Also, was

verified the importance to have a *poka-yoke* evaluation system and the system tested weaknesses

Keywords: *poka-yoke*, evaluation, improvement.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de princípios e práticas de produção enxuta em empresas de manufatura contribui para garantir a estabilidade da produção, a qual por sua vez é um pré-requisito para a implantação de determinadas práticas enxutas (LIKER E MEIER, 2007). Diversos são os fatores que têm impacto na estabilidade, desde o sistema de manutenção adotado para as máquinas até a forma como um treinamento é conduzido (DEMING, 1990). Sejam quais forem esses fatores, os *poka-yokes* desempenham um papel importante, visto que podem manter sob controle anormalidades geradoras de instabilidade.

Embora a idéia de que os sistemas *poka-yokes* contribuem para a melhoria da qualidade dos produtos seja relativamente bem conhecida na indústria e na academia, há poucos estudos que descrevam a real extensão de uso dos *poka-yokes*, como os mesmos tem sido usados e o seu real impacto nos sistemas de manufatura. Em parte, tal problema se deve a fatores como: (a) as diferentes interpretações acerca do que qualifica um *poka-yoke*, o que pode fazer com que determinados dispositivos sejam avaliados como se fossem *poka-yokes* mesmo quando deixam de atender suas características essenciais; (b) a ausência de métodos de avaliação da eficiência e eficácia de uso dos *poka-yokes*; e (c) a carência de métodos para que o projeto do *poka-yoke* seja realizado sistematicamente e considere boas práticas usadas pelas empresas.

Este artigo propõe um método de avaliação de *poka-yokes* que pode se constituir em importante fonte de dados para o projeto e melhoria contínua dos sistemas *poka-yokes*. As recomendações incluídas nesse método são baseadas em uma compilação de diretrizes apresentadas na literatura por Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007) e que provavelmente são aplicadas intuitivamente por muitas empresas durante a utilização desses sistemas. Dessa forma, o método ilustra a aplicação por meio de um estudo de caso em uma empresa de manufatura, que possibilita uma real análise sobre o método de avaliação indicar melhorias associadas a sistemas *poka-yokes*.

## 2. O CONCEITO DE SISTEMAS *POKA-YOKES*

Apesar da multiplicidade de conceitos observados nos estudos de sistemas *poka-yokes*, as várias definições apresentam características comuns. Com base em uma revisão de 19 estudos, Vidor e Saurin (2010) concluíram que 73% dos conceitos de *poka-yoke* associam os mesmos à prevenção de defeitos e/ou detecção de erros, o que corresponde, respectivamente, a *poka-yoke* com função reativa (protetora) e pró-ativa (preventiva). Dessa forma, neste artigo considera-se que os *poka-yokes* com função reativa detectam defeitos, enquanto os *poka-yokes* com função pró-ativa detectam erros e, como resultado disso, previnem defeitos.

Vidor e Saurin (2010) também concluíram que 63% dos estudos consultados classificam os *poka-yokes* como dispositivos, 21% como procedimentos, métodos e técnicas, e 16% como sistemas. Neste artigo, a perspectiva adotada é de que os *poka-yokes* são sistemas e devem ser desenvolvidos segundo um método que considere todo o seu ciclo de vida, desde a decisão de usar ou não um *poka-yoke* até o seu desativamento. De fato, é necessário um sistema de gestão para *poka-yokes* (SGPK), possibilitando integração entre as fases de projeto, operação, manutenção e descontinuidade do uso.

Os estudos mostram também que em 100% das definições não há uma diferenciação entre os conceitos de prevenção e detecção de defeitos. Observa-se que 37% destes conceitos associam implicitamente o *poka-yoke* a função pró-ativa (prevenção do erro e do defeito), contudo nessas mesmas definições a função reativa também é ressaltada.

Assim, neste estudo utiliza-se a definição de Vidor e Saurin (2010), onde os *poka-yokes* são entendidos como sistemas destinados à prevenção e/ou detecção de perdas de qualquer natureza (por exemplo, produtos defeituosos e acidentes de trabalho), sendo constituídos por barreiras físicas e/ou funcionais e/ou simbólicas, que contribuem para a redução da variabilidade e manutenção da estabilidade em processos.

Barreiras físicas são aquelas que não permitem o transporte de massa, energia ou informação, bem como não dependem da interpretação do usuário (por exemplo, um muro). Barreiras funcionais estabelecem pré-condições que devem ser atendidas antes que um evento ocorra (por exemplo, uma senha). Barreiras simbólicas requerem interpretação, percepção e resposta do usuário, estando fisicamente presentes nos locais em que são necessárias (por exemplo, um cartaz) (HOLLNAGEL, 2004).

### 3. CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS *POKA-YOKES*

A literatura acerca de sistemas *poka-yokes* indica que existe um grupo de características essenciais associadas aos mesmos, sendo, pois, necessário classificar essas características e organizá-las sistematicamente através de categorias.

Hinckley (2007) enfatiza a relação custo-benefício envolvida no desenvolvimento de um sistema *poka-yoke*. O autor ressalta que o sistema *poka-yoke* é uma ferramenta de suporte para a autonomia. Conforme Ohno (1997) a autonomia é a automatização dos processos através da transferência de inteligência para a máquina. Liker e Meier (2007) complementam indicando que autonomia permite que ao operador uma ação de resposta sobre o processo quando da ocorrência da instabilidade.

A relação estabelecida entre a viabilidade econômica e a autonomia está no fato de tornar o sistema *poka-yoke* uma solução simples para o processo, e paralelamente permitir ao operador a aprendizagem de novas tarefas. Nesse caso, o custo do sistema *poka-yoke* é baixo e ao mesmo tempo é repassada responsabilidade para a pessoa que opera o processo para a correção de instabilidades. De fato essa associação ultrapassa o conceito de que o sistema *poka-yoke* deve ser usado para eximir a pessoa da tarefa, mostrada na revisão de Vidor e Saurin (2010). Dessa forma, a viabilidade econômica do sistema *poka-yoke* é uma importante categoria sendo, necessariamente, uma das esferas que avalia o sistema *poka-yoke*.

Os estudos de McGee (2005), Connor (2006), Grout (2007) discutem a gestão visual dos sistemas *poka-yokes*. McGee (2005) ressalta a necessidade de expor, junto às estações de trabalho, procedimentos que expliquem a forma de operar do sistema *poka-yoke* e os possíveis de problemas de não existir a adequada gestão visual. Connor (2006) mostra a importância da normatização, e conseqüente padronização, para criar os artefatos de gestão visual, visto que os artefatos não podem ter características diferentes nas estações de trabalho. Grout (2007) ressalta que não basta à empresa ter políticas de gestão visual para processos, mas é necessário focar na funcionalidade desses processos, suas ferramentas e sistemas, como, por exemplo, o papel do *poka-yoke* no processo em estudo e como isto é importante na estação de trabalho. De fato, verifica-se que a gestão visual também é um alicerce dos sistemas *poka-yokes*.

Outras importantes categorias associados aos sistemas *poka-yokes* são a sua durabilidade e estabilidade de desempenho, aspectos associados à manutenção. Os estudos de Connor (2006) e Hinckley (2007) focam na questão da manutenção. Para aqueles autores, a

existência de um plano de manutenção preventiva dos sistemas *poka-yokes*, bem como o controle do histórico de manutenção corretiva, são necessários para prevenir falhas dos sistemas *poka-yokes*. Portanto, a manutenção pode ser identificada como uma das categorias para a avaliação de sistemas *poka-yokes*.

Desde os estudos de Shingo (1988), passando por Ghinato (1996) e chegando a Grout (2007) os sistemas *poka-yokes* tem sido associados à redução de instabilidades e variabilidades na produção, conseqüentemente eliminando perdas. Os autores mostram que sistemas *poka-yokes* eliminam instabilidades e variabilidades de produção, visto que contribuem para melhorias em método, mão-de-obra e máquinas associados às tarefas. Os *poka-yokes* influem mais sobre essas três dimensões da estabilidade, visto que a dimensão de material não depende dos sistemas *poka-yokes*. Liker e Meier (2007) definem os 4M's (método, material, mão-de-obra e máquina) como dimensões da estabilidade. Assim, identifica-se que o impacto na estabilidade de produção é uma categoria a compor os sistemas de avaliação de *poka-yokes*, haja vista as características citadas.

A forma de desenvolvimento dos sistemas *poka-yokes* está diretamente atrelada ao efeito gerado. Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007) mostram que os sistemas *poka-yokes* precisam de equipes multifuncionais de desenvolvimento, porque essas equipes possibilitam o desenvolvimento de sistemas mais robustos no que tange a flexibilidade e a segurança do operador que utiliza. Além disso, os autores mostram que a equipe consegue identificar causas principais e secundárias de problemas, possibilitando uma gama de soluções maior em termos de projeto e, posterior, operação. Verifica-se que projeto e operação também é uma categoria para avaliação de sistemas *poka-yokes*. Essa categoria tem papel destacado para a composição de um sistema *poka-yoke*, visto que abrange as fases de desenvolvimento e avaliação de *poka-yokes*.

Outro grupo de características de sistemas *poka-yokes* está associada a controle, verificação, auditoria. Nesse grupo, estão as características de sistemas *poka-yokes* com funcionalidade definida por Shingo (2000) como pró-ativa e reativa. Enquadra-se nessa categoria o controle variabilidade. A categoria que compõe esse grupo de características é o controle de qualidade.

#### **4. CLASSIFICAÇÕES DE POKA-YOKES**

As aplicações práticas de sistemas *poka-yokes* com freqüência consistem de gabaritos, sensores e alarmes. Por exemplo, Shimbun (1988) apresenta uma relação de 240

*poka-yokes* observados em 100 indústrias diferentes, incluindo as áreas de eletrônicos, automóveis e indústria pesada. Similarmente, Grout (2007) apresenta um manual com *poka-yokes* que poderiam ser desenvolvidos e aplicados na área da saúde.

Contudo, é possível estabelecer categorias analíticas de *poka-yokes* que abstraíam seus princípios operacionais e diferenciem dispositivos que, embora usem os mesmos mecanismos físicos, possuem propriedades distintas. Uma dessas categorias diz respeito a já citada diferenciação entre *poka-yokes* pró-ativos e reativos.

Outra classificação relativamente conhecida é a proposta por Shingo (1988), que classifica os sistemas *poka-yokes* de acordo com o objetivo e as técnicas utilizadas. Quando vinculados ao objetivo, referem-se à função de regulagem, e quando ligados as técnicas referem-se à função de detecção.

A classificação de Shingo (1988) divide a função de regulagem em método do controle e método da advertência. O método do controle é assim denominado, pois, o *poka-yoke* detecta uma variabilidade não esperada no processo e interrompe a operação, com os objetivos de evitar a produção de defeitos em série e criar um senso de urgência para que a ação corretiva seja implementada. Outra característica do método do controle é que o operador não possui graus de liberdade para tomada de decisão, sendo induzido a realizar a ação correta. No método da advertência, o *poka-yoke* detecta a anormalidade, mas não interrompe o processo, apenas sinalizando a ocorrência através de sinais sonoros e/ou visuais.

Já a função de detecção é dividida em método do contato, método do conjunto e método das etapas. O método do contato aplica-se tipicamente para detectar anormalidades nas dimensões, através de dispositivos que se mantêm em contato com o produto. O método do conjunto é utilizado em operações executadas em uma sequência de movimentos ou etapas idênticas, garantindo que nenhum desses passos seja negligenciado. O método das etapas também é usado para garantir que nenhuma operação seja negligenciada. Contudo, diferentemente do método do conjunto, no método das etapas as operações sequenciais não são idênticas.

Em particular, vale reforçar as oportunidades para uso integrado de *poka-yoke* e CEP. Ghinato (1996) ressalta que erroneamente a aplicação de *poka-yoke* costuma ser restrita a processos sem um forte controle estatístico. Contudo, os processos que são controlados estatisticamente são os que apresentam as maiores e melhores oportunidades de aplicação de *poka-yokes*, visto que as cartas de controles estatísticos geram as informações que subsidiam a escolha dos tipos mais apropriados de sistemas *poka-yokes*.

## 5. MÉTODO DE PESQUISA

Nesse item é realizada uma discussão sobre o método utilizado para desenvolvimento da sistemática de avaliação e também sobre a metodologia utilizada para aplicar esse método no estudo de caso realizado.

### 5.1 Método de avaliação

O método de avaliação do SGPK foi desenvolvido por Vidor e Saurin (2010) e está apresentado na Figura 1. É possível observar que o método apresenta as categorias e as respectivas características dos SGPK. As características estão divididas em funcionalidade do *poka-yoke* e política da empresa, respectivamente nas colunas B e C. A funcionalidade do *poka-yoke* está associada ao objetivo para qual o sistema foi criado e deve fazer parte de qualquer sistema *poka-yoke*, independentemente da empresa, sistema de manufatura ou processo que foi implementado. A política da empresa está relacionada ao tratamento que a empresa atribui ao processo que tem um sistema *poka-yoke* associado. Essa diferenciação é importante, porque permite ao avaliador definir se as melhorias dos sistemas *poka-yokes* podem ser relacionadas à funcionalidade do sistema, ou se é necessário o desenvolvimento de uma política institucional, como normas para aferição e verificação dos sistemas.

Na coluna A está mostrado o código da característica do sistema *poka-yoke*. O código é composto pela letra “C” seguida de dois números. A codificação é importante para que o avaliador possa utilizar a planilha de forma fácil, tornando rápida e produtiva a avaliação.

Nas colunas D e E é possível observar as fontes bibliográficas e fontes de evidência para avaliação de cada característica. As fontes de evidência correspondem às fontes de dados para verificar a existência da característica. Assim, uma fonte de evidências pode ser, por exemplo, um indicador, um formulário, uma norma, ou qualquer outro elemento que o avaliador possa auditar e verificar a característica.

Por fim, na coluna F está colocado o princípio de PE associado a cada característica. Essa definição é importante porque mostra à organização quais os princípios da PE estão sendo comprometidos por deficiências nos SGPK.

Um aspecto importante da sistematização realizada é o fato de possibilitar a verificação das relações entre as categorias, conforme as características identificadas. A visualização de todas as características permite analisar, por exemplo, o que poderia ser

classificado em outra categoria, evidenciado dessa forma as relações existentes entre as mesmas.

Viabilidade econômica do poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado		
Características do poka-yoke						
Funcionalidade do poka-yoke	Política da empresa					
C01	-	O retorno de investimento em relação ao poka-yoke atende todas as expectativas da organização quanto a custos e prazos estabelecidos.	Hinckley (2007)	Documentação, ou arquivo, sobre o cálculo de viabilidade econômica.	Controle de perdas	
Gestão visual do poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado		
Características do poka-yoke						
Funcionalidade do poka-yoke	Política da empresa					
C02	-	Existe uma documentação que detalha como operar o poka-yoke, especificando todas as características do mesmo.	McGee (2005), Connor (2006), Grout (2007)	Instrução de trabalho da organização, padronizada conforme seu sistema de gestão.	Padronização	
C03	-	Nas estações de trabalho ou máquinas em que o poka-yoke é implementado, existe uma instrução de trabalho explicando detalhadamente como realizar verificação funcional do poka-	A empresa tem uma política para dispor as peças suspeitas analisadas em cada verificação funcional do poka-yoke.	Connor (2006), Grout (2007)	Instrução de trabalho da organização, padronizada conforme seu sistema de gestão.	Padronização
C04	-	Existe uma identificação (fixação de etiquetas) e detalhamento de instruções de trabalho do processo em que há a implementação dos poka-yokes.	McGee (2005), Hinckley (2007)	Etiqueta de identificação de melhoria e/ou implementação de um poka-yoke.	Melhoria contínua	
C05	-	Existe em cada estação de trabalho a explicação do procedimento de operação da máquina ou processo. Nessa explicação está contida a explicações em relação ao sistema	McGee (2005), Connor (2006), Grout (2007)	Instrução de trabalho da organização, padronizada conforme seu sistema de gestão.	Padronização	
C06	-	Melhorias observadas com a implementação de poka-yokes são destacadas em todos os processos em que ocorreram.	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Indicador de eficiência do poka-yoke, que mede quantidade de defeito e retrabalho, mostrando a diferença entre antes e depois da implementação.	Melhoria contínua	
C07	-	A gestão visual utilizada no poka-yoke é padrão e regulada por uma normatização da empresa.	Grout (2007)	Procedimento padrão da empresa de como gerir visualmente o seu poka-yoke.	Padronização	
Manutenção do poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado		
Características do poka-yoke						
Funcionalidade do poka-yoke	Política da empresa					
C08	-	Existe um plano de manutenção preventiva para o poka-yoke que está sendo auditado.	Connor (2006), Hinckley (2007)	Plano de ação de manutenção da organização e histórico de manutenção preventiva.	Controle de perdas	
C09	-	Existe um histórico de manutenção corretiva para o poka-yoke que está sendo auditado.	Connor (2006), Hinckley (2007)	Relatório de incidências de manutenção corretiva.	Controle de perdas	
C10	-	Existe um plano de manutenção preventiva para toda a estação de trabalho, e o poka-yoke é tratado como parte dessa estação de trabalho.	Connor (2006)	Plano de ação de manutenção da organização e histórico de manutenção preventiva.	Controle de perdas	
C11	-	A manutenção no poka-yoke auditado é do tipo corretiva e realizada de acordo com a necessidade.	Hinckley (2007)	Depoimento dos operadores que utilizam o sistema poka-yoke.	Autonomia	
Estabilidade de produção e poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado		
Características do poka-yoke						
Funcionalidade do poka-yoke	Política da empresa					
C12	-	O poka-yoke previne (impede a ocorrência) a instabilidade e interrompe o processo.	O processo reinicia com o tratamento da(s) causa(s) do(s) problema(s).	Hinckley (2007), Grout (2007)	Projeto do poka-yoke e observação do funcionamento do processo na organização.	Autonomia
C13	-	O poka-yoke detecta (evita propagação) a instabilidade e sinaliza a anormalidade.	O processo reinicia com autorização da pessoa apropriada.	Hinckley (2007), Grout (2007)	Projeto do poka-yoke e observação do funcionamento do processo na organização.	Autonomia
C14	-	As peças produzidas que são verificadas por poka-yokes estão dentro da variabilidade aceitável.	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Indicador de eficácia, mede as partes por milhão do processo. Compara o antes e depois da implementação do poka-yoke.	Melhoria contínua	
C15	-	A implementação do poka-yoke assegura melhorias no respectivo(a) processo ou operação.	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Indicador de eficiência, mede o rum over no processo. Compara o antes e depois da implementação do poka-yoke.	Melhoria contínua	
Projeto e operação do poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado		
Características do poka-yoke						
Funcionalidade do poka-yoke	Política da empresa					
C16	-	O poka-yoke está projetado e operando para combater a causa raiz identificada anteriormente a sua concepção.	McGee (2005), Hinckley (2007), Grout (2007)	Projeto de poka-yoke e documentação de identificação de causa raiz (FMEA, FTA, Planilha de brainsotming, etc.)	Melhoria contínua	
C17	-	A segurança do operador foi considerada na concepção de projeto do poka-yoke.	Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Parecer da área de saúde, segurança e meio ambiente no projeto de desenvolvimento.	Controle de perdas	
C18	-	A flexibilidade do operador foi considerada na concepção de projeto do poka-yoke.	Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Parecer da área de saúde, segurança e meio ambiente no projeto de desenvolvimento.	Controle de perdas	
C19	-	O projeto do poka-yoke foi pensado para combinar a operação de inspeção e o sistema poka-yoke.	Shingo (1988)	Projeto do poka-yoke.	Controle de perdas	
C20	-	O poka-yoke está projetado e operando para combater as causas secundárias identificadas anteriormente a sua concepção.	Hinckley (2007), Grout (2007)	Projeto de poka-yoke e documentação de identificação de causas de problemas (FMEA, FTA, Planilha de brainsotming, etc.)	Controle de perdas	
C21	-	O projeto e implementação do sistema poka-yoke foi desenvolvido com a participação da equipe multifuncional.	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Documentação do projeto de desenvolvimento.	Autonomia	

	Controle de qualidade e o poka-yoke		Fontes bibliográficas	Fontes de evidência	Princípio de PE associado
	Características do poka-yoke				
	Funcionalidade do poka-yoke	Política da empresa			
C22	O <i>poka-yoke</i> tem função pró-ativa, onde peças não conforme não são produzidas.	-	Shingo (1988), Hinckley (2007), Grout (2007)	Funcionamento do <i>poka-yoke in loco</i> e observação do processo.	Controle de perdas
C23	-	O <i>poka-yoke</i> é aferido regularmente, conforme exigências normativas em vigor.	Grout (2007)	Documentação com histórico de verificação do <i>poka-yoke</i> .	Padronização
C24	O procedimento de início de jornada atesta em 100% a eficácia do sistema <i>poka-yoke</i> .	O <i>poka-yoke</i> apresenta um procedimento para verificação de funcionamento a cada início da jornada de trabalho.	Grout (2007)	Instrução de trabalho que mostra como é o procedimento de verificação do <i>poka-yoke</i> .	Padronização
C25	-	O <i>poka-yoke</i> está integrado a outras ferramentas de gestão da qualidade.	Hinckley (2007)	Sistema de gestão da qualidade, sendo que o <i>poka-yoke</i> é um elemento caracterizado e com vida própria nesse sistema de gestão.	Melhoria contínua
C26	O <i>poka-yoke</i> realiza inspeção 100% automática.	-	Shingo (1988), Grout (2007)	Funcionamento do <i>poka-yoke in loco</i> e observação do processo.	Controle de perdas
C27	A implementação do <i>poka-yoke</i> gerou algum nível a redução de defeitos ao longo do tempo.	-	Shingo (1988), McGee (2005), Connor (2006), Hinckley (2007), Grout (2007)	Indicador de eficiência, mede o percentual de itens com defeitos e/ou defeituosos, comparando antes e depois da implementação do <i>poka-yoke</i> .	Controle de perdas
C28	O <i>poka-yoke</i> tem função reativa, onde peças não conforme são detectadas e desviadas.	-	Shingo (1988), Hinckley (2007), Grout (2007)	Funcionamento do <i>poka-yoke in loco</i> e observação do processo.	Controle de perdas
C29	O <i>poka-yoke</i> está vinculado a parâmetros do processo (temperatura, pressão, corrente, densidade, etc.).	-	Connor (2006)	Indicador de eficiência, que mede a variação da característica ao longo do tempo.	Controle de perdas
C30	O <i>poka-yoke</i> segue padronização para verificar itens.	-	Shingo (1988), Grout (2007)	Funcionamento do <i>poka-yoke in loco</i> e observação do processo.	Padronização

Fonte: Vidor e Saurin (2010)

Figura 1: Categorias para avaliação de sistemas *poka-yokes*

Resumidamente, pode-se afirmar que o método criado possibilita uma avaliação dos sistemas *poka-yokes* permitindo que cada organização realize melhorias focadas nas características nos sistemas que apresentam deficiências. Além disso, permite a organização projetar esses sistemas de acordo com categorias que conduzam a implementação de um SGPK.

Um aspecto importante quando da utilização do método é a qualificação do avaliador. O avaliador precisa ter lucidez sobre o conceito de sistemas *poka-yokes*, não podendo estar influenciado por questões institucionais ou impregnado de um conhecimento prévio que não permita uma nova aprendizagem. Além disso, a pessoa responsável pela auditoria deve ter experiência nos conceitos de PE, dada a influência dos sistemas *poka-yokes* sobre esses conceitos. O avaliador precisa também estar treinado sobre a forma de fazer avaliação, o que analisar e coletar em relação às fontes de evidência. Por fim, o avaliador deve saber priorizar os critérios investigados. A metodologia sugere uma numeração para as características, entretanto no momento da avaliação deve haver sensibilidade para permitir a fluência no processo de avaliação, ao invés da realização de desvios ou mesmo bloqueios, decorrente da necessidade de seguir a numeração.

Uma segunda questão que deve ser levada em consideração são as tarefas, o processo e as operações em que a avaliação está sendo realizada. Uma empresa que tem configuração de muitos sistemas de manufatura não pode ser analisada da mesma forma. Deve-se mensurar a importância de cada unidade da fábrica e ponderar a avaliação para o contexto em que está

sendo realizada. De fato, cabe a empresa identificar o nível de criticidade de cada processo e qual deve ser priorizado para melhoria ou implementação do sistema *poka-yoke*.

Para definir quais os sistemas *poka-yokes* serão avaliados a organização deve realizar um mapa de fluxo de valor de seus processos. Através desse mapa, será possível verificar quais os processos e operações críticas, e conseqüentemente os sistemas *poka-yokes* mais importantes. Além disso, o mapa de fluxo de valor possibilita a organização verificar onde novos *poka-yokes* poderiam ser implementados e também onde há categorias deficientes no SGPK. A empresa deve providenciar anteriormente a realização da auditoria um mapeamento dos sistemas *poka-yokes*. Esse mapeamento deve considerar as mesmas categorias que são usadas no sistema de avaliação. O mapeamento é importante, porque permite a empresa gerar fatos para análise dos sistemas *poka-yokes*, comparando-os com os resultados obtidos na avaliação. Nessa fase é importante a empresa realizar mapeamento de todos os seus sistemas *poka-yokes*, visto que subsidia a escolha de quais sistemas serão avaliados.

As fontes de evidência elencadas no estudo foram classificadas conforme a proposta de Cambon et al. (2006) para sistemas de auditoria, e contemplam três tipos: estrutural, operacional, por desempenho. Por estrutural entendem-se todas as informações que estão associadas a documentos, como desenhos de projeto, normas, instruções de trabalho, planos de ação. Por operacional estão todas as informações coletadas com o depoimento dos operadores, encarregados, supervisores das operações e processos que os *poka-yokes* estão implementados e, também, observações in loco. Por desempenho agrupam-se todos os indicadores provenientes de medições em relação às operações e processos que tenham *poka-yokes* implementados. Essa classificação está representada na Figura 2.

CARACTERÍSTICAS	FONTES DE EVIDÊNCIA				CARACTERÍSTICAS	FONTES DE EVIDÊNCIA			
	Estrutural	Por desempenho	Operacional			Estrutural	Por desempenho	Operacional	
	Análise de documentos	Análise de indicadores de desempenho	Entrevistas	Observação direta		Análise de documentos	Análise de indicadores de desempenho	Entrevistas	Observação direta
C01					C16				
C02					C17				
C03					C18				
C04					C19				
C05					C20				
C06					C21				
C07					C22				
C08					C23				
C09					C24				
C10					C25				
C11					C26				
C12					C27				
C13					C28				
C14					C29				
C15					C30				

Figura 2: Classificação das fontes de evidência

Os documentos, para a análise estrutural, são coletados através de auditorias realizadas durante o processamento de um produto, ou então com os responsáveis pela implementação dos sistemas *poka-yokes*. Por exemplo, a instrução de trabalho para instalar um determinado *poka-yoke* é utilizada durante a instrução, na respectiva estação de trabalho. Todavia, o plano de ação de melhoria do sistema *poka-yoke* é observado com o responsável pelas ações de melhoria.

As entrevistas e observações diretas, para a análise operacional, devem ser realizadas pelo avaliador diretamente no ambiente de auditoria. Por exemplo, quando existir a necessidade do depoimento do operador, por exemplo, o avaliador deve utilizar a própria característica para a realização da pergunta. O registro dos depoimentos é pela sua gravação, ou descrição da resposta do entrevistado, com posterior validação desse entrevistado.

Os indicadores, para a análise por desempenho, devem ser observados diretamente com os responsáveis pelo controle dos mesmos. A análise dos sistemas de indicadores da empresa e a coleta das informações devem ser realizadas de forma observacional e o valor do indicador deve ser registrado no momento da coleta como uma observação da avaliação.

A avaliação em SGPK sempre deve estar atrelada ao interesse da organização nos resultados obtidos. A validade da avaliação ocorre no momento em que a organização atesta a veracidade dos dados obtidos e os aceita para a realização de melhorias.

As melhorias devem estar descritas em um plano de ação, que evidencie responsáveis, prazos e ganhos estimados. Isto é importante em um sistema de avaliação, visto que cumpre o propósito conceitual da avaliação, que é subsidiar ações de melhorias. No caso, melhorias associadas a sistemas *poka-yokes*.

## **5.2 Caracterização do estudo de caso**

As diretrizes para avaliação de *poka-yokes* foram aplicadas na planta de uma empresa multinacional de grande porte, que possui uma gama variada de produtos destinados às montadoras de automóveis, mercado de reposição automotiva e em menor escala para companhias petrolíferas, aeronáutica e aeroespacial. A empresa tem sistemas de gestão da qualidade e gestão ambiental que vem sendo desenvolvido faz 25 anos e é certificado com base nas normas NBR ISO 9001: 2007 e NBR ISO 14000: 2000, respectivamente. Além disso, a empresa vem implantando práticas de PE há cerca de 10 anos.

A empresa possui um sistema PE, baseado no Sistema Toyota de Produção. O sistema produtivo está organizado através de cinco circuitos (assim denominados pela

empresa): qualidade, quantidade, *lead time*, flexibilidade e atendimento. O circuito da qualidade é composto por todas as políticas e ferramentas da qualidade utilizadas pela empresa, como por exemplo, auditoria, controle estatístico da qualidade, indicadores, sistemas *poka-yokes*, entre outros. O circuito quantidade é composto pelas políticas de produção adotadas, indicadores e metas de produção, controle de estoque e formas de programação da produção. O circuito *lead time* é responsável pelo controle dos tempos associados as operações e pela definição dos mapas de fluxo de valor da empresa. As informações obtidas através do circuito qualidade são importantes critérios para selecionar quais os *poka-yokes* devem ser submetidos ao método de avaliação. O circuito flexibilidade é responsável pelo combate a perdas na fábrica, associadas principalmente a redução dos tempos não produtivos como transporte e *setup*. As informações originadas nesse circuito são importantes para desenvolver sistemas *poka-yokes*, visto que em alguns casos são indicadores de problemas solucionáveis através destes sistemas. O circuito atendimento é responsável pela disponibilização do recurso produtivo. Nesse circuito há o acompanhamento do índice de rendimento operacional global (IROG) de cada estação de trabalho com acompanhamento de todas as interrupções de funcionamento e também os controles de padronização de desenvolvimento associados à gestão visual praticada pela empresa.

O fato da empresa apresentar esse envolvimento com a qualidade e com a produção enxuta fez com que se tornasse um estudo de caso adequado para o método de avaliação de *poka-yoke* proposto nessa pesquisa. A empresa tem uma estrutura de gestão de *poka-yokes*, com áreas dentro da fábrica chamadas de PRESET onde os sistemas *poka-yokes* são sistematicamente verificados anteriormente e posteriormente a sua utilização. Além disso, existe um setor que controla a validade de aferição dos *poka-yokes*, para tipo e especificidade de cada sistema *poka-yoke*. Essa estrutura é muito importante para o tipo de avaliação realizado, haja vista a facilidade para obtenção de informações.

Conceitualmente a empresa em estudo considera sistemas *poka-yokes* como todos os dispositivos capazes de realizar a inspeção 100% automática e que detectam a ocorrência de erros. Erros, na concepção da empresa, é tudo aquilo que gera refugo ou retrabalho. Essa definição foi obtida junto ao coordenador do circuito qualidade, esse coordenador controla o conceito e o funcionamento de tudo que está associado ao seu circuito.

Na primeira etapa do estudo de caso, foi realizado um treinamento com as pessoas envolvidas na avaliação que seria realizada (analistas), explicando o objetivo da ferramenta, seu funcionamento e sua importância. Além disso, no treinamento foram identificados

potenciais avaliadores de sistemas *poka-yokes* que poderiam replicar o método independente da colaboração do pesquisador.

Na segunda etapa, foi realizada a definição da unidade do sistema de manufatura que seria avaliada. A planta investigada é composta de sete unidades de manufatura, sendo que cada uma apresenta diferentes processos produtivos. A unidade escolhida foi determinada por representantes da empresa, visto que eles consideravam prioritária a avaliação do SGPK dessa unidade, que trabalhava exclusivamente com o fornecimento para montadoras e fabrica produtos de alto valor agregado. A partir dessa definição, foi realizado um encontro com encarregados pelo setor e operadores do setor, além do analista anteriormente treinado. O encontro tinha por objetivo mostrar a sistemática do trabalho, esclarecer dúvidas e obter informações iniciais com relação aos sistemas *poka-yokes*.

Na terceira etapa, foi realizada a avaliação dos sistemas *poka-yokes*. A avaliação foi realizada pelo método anteriormente apresentado. A avaliação ocorreu ao longo de três visitas: (a) na primeira, foi realizado a apresentação do método para o coordenador da área e explicado o objetivo do trabalho, totalizando uma hora; (b) na segunda visita, foi realizada a definição de quais *poka-yokes* seriam avaliados e realizada a avaliação desses, totalizando cinco horas; (c) os dados foram compilados e apresentados a representantes da empresa em uma terceira visita. As informações obtidas permitiram que fossem projetadas ações de melhoria dos sistemas *poka-yokes* com a definição de responsáveis, prazos, indicadores de acompanhamento e exequibilidade econômica de realização, totalizando uma hora de visita. Por razões de sigilo exigidas pela empresa, este trabalho não apresenta registros fotográficos dos *poka-yokes* avaliados e o plano de ação de melhorias dos sistemas *poka-yokes*.

Os *poka-yokes* foram selecionados de acordo com os pontos críticos identificados no mapa de fluxo de valor do processo em que o sistema *poka-yoke* está implementado. Os pontos críticos são todos os *Capacity Constraint Resource* (CCR).

Dessa forma, dentro do universo de 43 *poka-yokes* disponíveis na unidade analisada e assim considerados pela empresa, determinou-se o número de sete avaliações necessárias. Para finalizar foi realizada uma análise dos dados coletados, com a participação dos envolvidos na coleta e decidido quais seriam as ações de melhoria.

O tratamento dos dados para totalização das categorias pelo número de características foi realizado da seguinte forma. Para cada característica foi atribuído o valor de quanto ela compunha no total da categoria. Por exemplo, a categoria manutenção é composta por quatro características, para cada uma foi atribuído o valor de 0,25, que foi totalizado para categoria manutenção quando constatado que existia a característica no sistema *poka-yoke*.

Essa sistemática foi realizada para todas as categorias, sendo que o máximo que cada uma poderia atingir é um (sem realização de uma ponderação), visto que este é o valor de cada categoria quando analisados como atributos.

Posteriormente foram atribuídos pesos para cada uma das categorias, conforme o grau de importância de cada uma das categorias em relação ao grau de importância para o sistema de manufatura analisado. No estudo as categorias de controle de qualidade e gestão visual foram as que receberam os maiores pesos, correspondendo respectivamente a 22% e 20%. A categoria estabilidade da produção foi atribuída 18% do peso total e a categoria projeto e operação 17%. Finalmente as categorias manutenção e viabilidade econômica receberam, respectivamente, os pesos 13% e 10%.

A organização dessa forma permitiu verificar quais categorias estavam atendendo plenamente o sistema *poka-yoke*, quais estavam atendendo parcialmente, e quais estavam totalmente defasadas. Isto é importante, porque permite que a empresa focalize as ações de melhoria para cada *poka-yoke* ou, quando se verifica que a mesma categoria está defasada para todos os sistemas *poka-yokes* avaliados, desenvolva um trabalho único para uma determinada categoria do SGPK.

## 6. AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS *POKA-YOKES*

A avaliação de cada característica deve ser realizada por meio das fontes de evidência descritas na Figura 1 e sinalizadas na forma de auditoria na Figura 2. Para a avaliação através das fontes de evidência, foi necessário criar uma planilha de avaliação, apresentada na Figura 3. Durante a avaliação deve-se usar a planilha proposta para marcar quais características fazem parte do sistema *poka-yoke* que está sendo avaliado. Posteriormente, essa planilha é utilizada para a elaboração dos resultados.

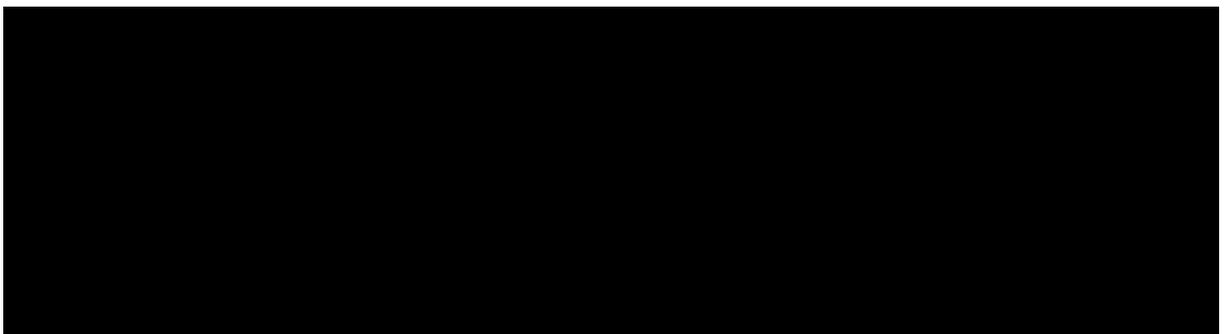


Figura 3: Planilha de avaliação do SGPK

Salienta-se que os *poka-yokes* foram selecionados para análise, conforme o conceito da empresa para esses sistemas. Isto é importante porque tem um impacto direto sobre os resultados obtidos, visto que o conceito adotado pela empresa para definir os seus sistemas *poka-yokes* é impreciso conceitualmente, quando comparado ao conceito definido neste trabalho para esses sistemas.

## 7. RESULTADOS

A Figura 4 apresenta os resultados da avaliação dos sete sistemas *poka-yokes* investigados. As categorias foram ponderadas conforme a sua importância para o sistema de manufatura auditado. Contudo, as características são tratadas como atributos, conforme justificado anteriormente. Dessa forma, na análise dos dados é realizada uma totalização das categorias pelo número de características distribuídas em cada uma e esse valor é multiplicado pelo peso de cada categoria. A análise dessa maneira permitiu que fossem verificados graficamente os pontos fortes e pontos fracos de cada categoria, além de proporcionar um indicador numérico para o sistema *poka-yoke*, indicando o seu respectivo potencial de melhoria.

A sistematização proposta deu origem a Figura 5, que apresenta o desempenho de cada sistema *poka-yoke* em relação à avaliação realizada. Na coluna A, está descrita a operação e o nome do sistema *poka-yoke*, enquanto na coluna B, o resultado da avaliação do sistema *poka-yoke* em forma de gráfico. É possível observar que apenas a categoria viabilidade econômica apresenta um comportamento similar para todos os sistemas avaliados, isto porque reflete a análise de uma única característica e no caso todos os sistemas avaliados apresentam essa característica.

Embora o sistema *poka-yoke* de misturas seja o que apresenta o melhor resultado (pontuação de 4,86 observada na Figura 4), é possível perceber necessidade de melhorias principalmente na categoria manutenção, visto que não existe manutenção preventiva e não há histórico de manutenções corretivas realizadas. Ações pontuais, como a realização da gestão visual padronizada e aferição periódica do sistema *poka-yoke*, em relação às categorias estabilidade da produção e controle de qualidade, também poderiam ser focalizadas para garantir a melhoria do sistema *poka-yoke*.

Figura 4: Avaliação dos sistemas poka-yokes

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE POKA-YOKES																																		
Avaliador:	Gabriel	Viabilidade econômica	Gestão visual							Manutenção					Estabilidade da produção					Projeto e operação					Controle de qualidade					Critérios para a aceitação do sistema como um poka-yokes: - Todas as diretrizes tem que ter pelo menos 1 característica registrada. Aplicação do plano de ação de melhoria - Se somatórios de pontos igual a 6, poka-yoke perfeito, não necessita melhorias. Senão registrar melhorias por critérios prioritários da empresa.				
Data:	18/1/2010																																	
Local:	Célula Sigma SIPAS																																	
Observações:	Turno A e Turno B																																	
Operação	Poka-yoke	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	Total	Observações	
Mistura	Poka-yoke de misturas	x	x	x	x	x	x			x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x		x	x	4,86	Utilizado para controle de escolha de matérias-primas e para controle do peso de misturas.	
		1,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00	0,00	0,25	0,00	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,11	0,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	0,11	0,11			
		1,00	0,83							0,50					0,75					1,00					0,78									
Rebitadeira	PD/42 Externo	x	x	x		x		x	x			x	x		x	x		x	x		x			x		x		x		x		x	3,89	Utilizado para controle do comprimento da plaqueta.
		1,00	0,17	0,17	0,00	0,17	0,00	0,17	0,25	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,25	0,00	0,17	0,17	0,00	0,17	0,00	0,17	0,00	0,11	0,00	0,11	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11			
		1,00	0,67							0,50					0,50					0,67					0,56									
Preformadeira	IPB/43	x		x		x	x	x	x		x		x	x	x		x				x	x	x	x		x		x		x		x	3,97	Utilizado para conferência de espessura da plaqueta.
		1,00	0,00	0,17	0,00	0,17	0,17	0,17	0,25	0,00	0,25	0,00	0,25	0,25	0,25	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,11	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,00	0,11			
		1,00	0,67							0,50					0,75					0,50					0,56									
Embalagem	PD/51 Externo	x				x		x	x		x		x	x	x	x	x	x		x	x			x	x	x	x		x		x	4,08	Utilizado para verificar a espessura do chanfro da plaqueta.	
		1,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,17	0,25	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,25	0,25	0,17	0,17	0,17	0,00	0,17	0,17	0,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11			
		1,00	0,33							0,50					0,75					0,83					0,67									
Retífica	IPB/43	x		x		x	x	x	x		x		x	x		x				x	x	x		x	x	x	x		x		x	4,00	Utilizado para verificar a espessura do pino de rebite de fixação da plaqueta.	
		1,00	0,00	0,17	0,00	0,17	0,17	0,17	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11			
		1,00	0,67							0,50					0,50					0,67					0,67									
Rebitadeira	PD/65 Externo	x			x	x		x	x	x		x	x	x	x		x	x			x	x		x	x	x	x		x		x	4,33	Utilizado para verificar altura do pino antiruído da plaqueta.	
		1,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,00	0,17	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00	0,17	0,17	0,00	0,00	0,17	0,17	0,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11			
		1,00	0,50							0,75					0,75					0,67					0,67									
Rebitadeira	PD/77 Externo direito	x			x	x		x	x		x		x	x	x		x	x	x	x		x		x		x		x		x		x	4,14	Utilizado para verificar o comprimento da plaqueta anteriormente ao processo de pintura.
		1,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,00	0,17	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00	0,17	0,00	0,11	0,00	0,11	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11			
		1,00	0,50							0,50					0,75					0,83					0,56									
Plano de ação para melhoria																																		
	Ação										Responsável					Prazo					Investimento					Ganhos estimados								
1																																		
2																																		
3																																		
4																																		

O sistema *poka-yoke* IPB/43 da operação de preforma apresentou resultados bons para a categoria estabilidade da produção. Todavia, as demais categorias necessitam melhorias. A questão de projeto e operação está especialmente deficiente. Não foram consideradas as questões de flexibilidade do operador, bem como segurança. Além disso, o sistema *poka-yoke* não combate outras causas de problemas, além da causa raiz identificada, conforme recomenda o método. A sua função no controle de qualidade também está carente de complementação, pois, observa-se que não há verificação de funcionalidades no início da jornada de trabalho e a inspeção não se realiza de forma totalmente automatizada. A manutenção carece de um histórico de controle, apesar da existência de um plano preventivo específico para o sistema *poka-yoke* não há um detalhamento da forma como o procedimento de manutenção preventiva foi realizado.

O sistema *poka-yoke* PD/51 Externo tem bons resultados para a categoria projeto e operação, estabilidade da produção e controle de qualidade. A principal deficiência verificada nesse sistema *poka-yoke* é em relação à gestão visual. O sistema não apresenta elementos de gestão visual, além daqueles que foram verificados para todos os outros *poka-yokes*. As ações de melhoria deveriam estar centradas nessa categoria. Além disso, a categoria manutenção poderia ser melhorada na questão do controle de histórico de manutenção.

O sistema *poka-yoke* IPB/43 da operação de retífica apresentou bons resultados para a categoria controle de qualidade. As categorias que apresentaram maior deficiência foram manutenção e estabilidade de produção. A melhoria associada à manutenção é principalmente pela necessidade de controle de um histórico de manutenção. Para a categoria estabilidade da produção as melhorias devem estar direcionadas para autonomia do operador sobre o processo, passando este a controlar o reinício do processo a partir do tratamento da causa raiz.

O sistema *poka-yoke* IPB/65 Externo apresentou bons resultados em todas as categorias, exceto a categoria de gestão visual, que necessita de melhorias. O sistema *poka-yoke* carece de uma documentação detalhada sobre o seu funcionamento, e também da forma de verificar a sua funcionalidade. Nem mesmo a instrução de trabalho associada a estação de trabalho detalha como é o funcionamento do sistema *poka-yoke*. Além disso, não há um indicador em relação a esse sistema *poka-yoke* para verificar os resultados obtidos com a sua implementação.

Por fim, o último sistema *poka-yoke* avaliado foi o PD/77 Externo Direito. Esse sistema *poka-yoke* apresentou bons resultados para as categorias estabilidade da produção e projeto e operação. Esse sistema *poka-yoke* necessita de melhorias especialmente na categoria controle de qualidade. Uma melhoria seria em relação a função do *poka-yoke*, deixando de ser

reativa para ser pró-ativa. Além disso, outra melhoria deveria ser a instauração de um procedimento para verificação funcional, que atestaria a regularidade do *poka-yoke* a cada início de jornada de trabalho.

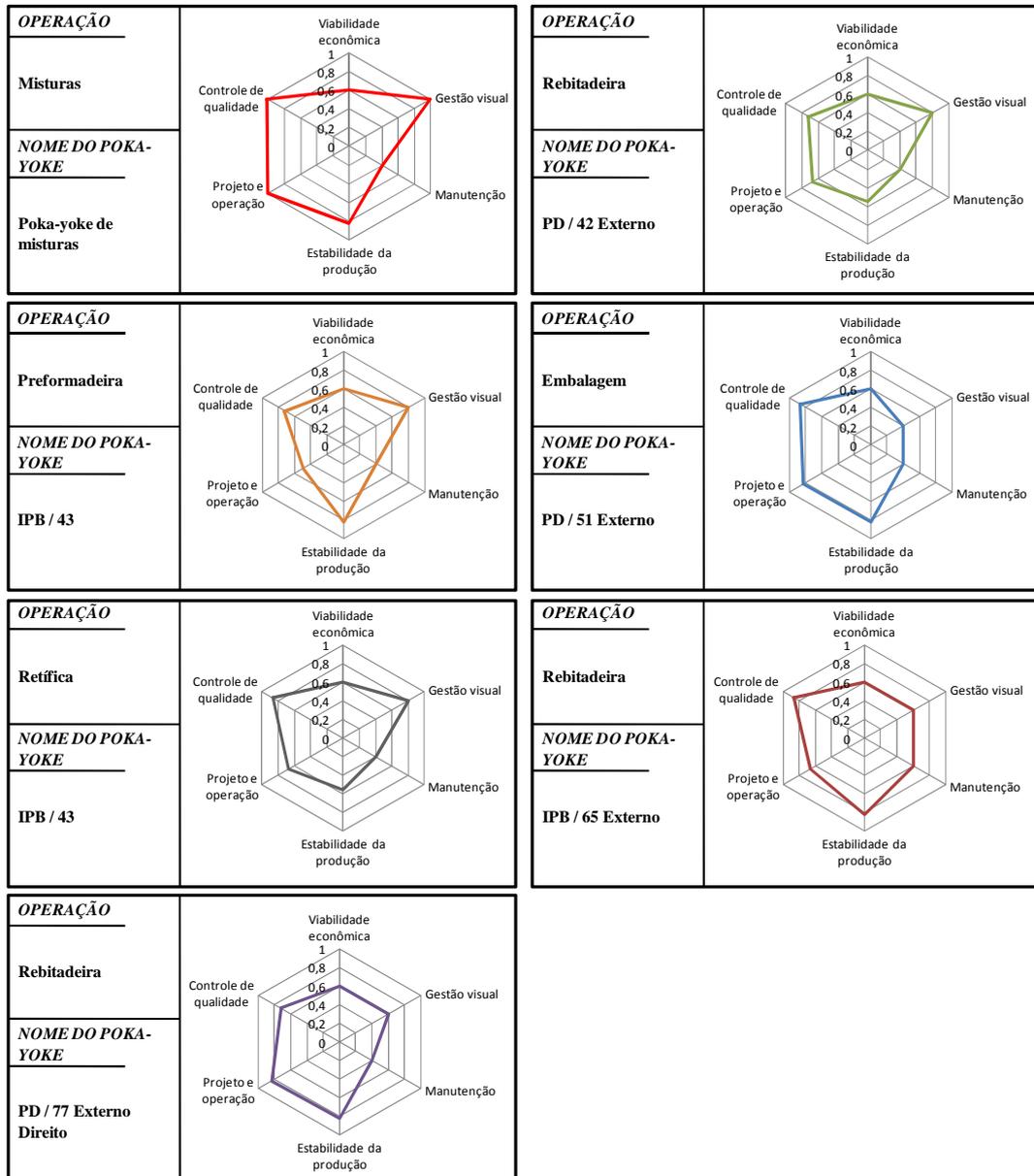


Figura 5: Resultado da avaliação dos sistemas *poka-yokes*

De posse dessas informações, ao final do estudo foi realizado um plano de ação para implementar as melhorias constatadas. Esse plano de ação foi realizado de acordo com o modelo utilizado pela empresa em estudo. Por questões de sigilo, o plano de ação não pode ser apresentado nesse trabalho. As ações estavam concentradas nas sugestões de melhorias

verificadas nesse estudo, com definição de responsáveis e indicadores de acompanhamento para posterior análise do que seria implementado.

## 8. CONCLUSÕES

O sistema mostra-se robusto a avaliação realizada principalmente quando analisado do ponto de vista da sua abrangência. A utilização de categorias de avaliação, desdobradas em características, faz com que diversas situações sejam tratadas pelo sistema de avaliação. Por exemplo, quando é avaliada a característica associada à garantia de segurança do operador em relação ao processo. Nessa característica é verificado que o sistema *poka-yoke* transite por áreas de projeto e engenharia de segurança, o que caracteriza a abrangência ressaltada.

A categoria de projeto e operação de sistemas *poka-yokes*, cobre uma lacuna associada principalmente a operação. Autores como Hinckley (2007), Grout (2007), Connor (2006) e Shingo (1996) tem métodos estruturados para identificar problemas e projetar os sistemas *poka-yokes* a partir desses problemas. De fato, os autores recomendam métodos conhecidos como FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), FTA (Fault Tree Analysis), Brainstorming, etc., todavia não há um direcionamento de como transformar isso em um projeto de engenharia, ou então de como deve ser a operação do sistema *poka-yoke*. Nesse sentido, pode-se afirmar que o método de avaliação pode ser utilizado como uma ferramenta inicial para esse fim, pois direciona quais as características devem sendo analisadas no desenvolvimento de um novo sistema para inibir problemas identificados.

A categoria viabilidade econômica, apesar de ter sua importância intrínseca a qualquer tipo de desenvolvimento não está abordado explicitamente por nenhum método dos autores estudados. Nesse estudo também não foi abordada, visto que não se estabelece uma forma de analisar a viabilidade econômica de implementação de sistemas *poka-yokes*, apenas uma avaliação em relação a utilização. Estudos futuros poderão ser direcionados sob essa perspectiva, a fim de definir a sistemática ideal de análise de viabilidade econômica para o desenvolvimento de sistemas *poka-yokes*.

A categoria de gestão visual mostrou uma relativa despreocupação da organização em relação a forma como é implementada. Verifica-se que apesar de existir uma norma de padronizando como a gestão visual deve ser realizada, alguns sistemas *poka-yokes* não seguem essa norma. Nesse sentido a organização acaba por eximir a importância dessa categoria, o que conforme os autores estudados não garante o impacto desejado na implementação do sistema *poka-yoke*.

A categoria de manutenção de sistemas *poka-yokes* responsável pela forma como as falhas e quebras de sistemas *poka-yokes* são tratadas mostrou-se importante no estudo realizado. A principal necessidade verificada é em relação a manutenção preventiva, sendo necessário a organização modelar esses planos de manutenção preventiva. Além disso, o estudo mostrou que alguns sistemas *poka-yokes* não apresentam histórico de manutenção o que também remete a uma melhoria em termos da organização.

A categoria de controle de qualidade, abordado por Shingo (2000) também se mostrou muito importante em um sistema de avaliação. A associação dos sistemas *poka-yokes* ao controle de qualidade permite que causas com frequência de repetição sejam identificadas através do controle de qualidade, mas tratadas de uma forma particular. A abordagem realizada nesse estudo foi do acompanhamento posteriormente ao desenvolvimento do sistema *poka-yoke*. Observa-se que uma avaliação posterior mostra como há dissociação entre o controle de qualidade praticado e os sistemas *poka-yokes* desenvolvidos, quando na verdade essa relação deveria ser muito próxima.

A categoria de estabilidade da produção mostrou-se necessária na verificação do funcionamento da unidade de produção a partir da implementação do sistema *poka-yoke*. O estudo mostrou que em alguns casos o impacto do sistema *poka-yoke* sobre a estabilidade da produção poderia ser aumentado, desde que fossem garantidos pré-requisitos. Além disso, mesmo nos casos em que este impacto foi representativo, o sistema *poka-yoke* apresenta falha em relação a uma ou duas características avaliadas. Dessa forma, essa categoria mostrou-se importante para a reorganização da unidade de produção, quando ocorre a implementação do sistema *poka-yoke*. Essa categoria sinaliza que a implementação do *poka-yoke* gera uma nova situação na unidade de produção, gerando a necessidade de que essa categoria seja repensada em sua aplicação.

O projeto, operação e manutenção de um sistema *poka-yoke* passa necessariamente por um SGPK. Todavia, além de organizar esse sistema de gestão é necessário mantê-lo. Nesse sentido, A utilização de características binárias permite concluir qual o comportamento dos sistemas *poka-yokes* em relação existência ou não dessa característica. Isto se caracteriza em uma limitação do método desenvolvido, haja vista a necessidade de utilizar escalas para mensurar a proporcionalidade do impacto de todas as características sobre os sistemas *poka-yokes*. Outra fragilidade é em relação à precividade do método, os estudos mostram que momentaneamente o grupo de característica identificado é suficiente para o tipo de avaliação realizada, todavia o surgimento de novas características não estará contemplado, sendo necessário reconstruir o método desenvolvido.

Entretanto, o método de avaliação mostra-se efetivo quando há a necessidade de avaliar a dimensão de cada *poka-yoke* sobre o sistema de manufatura. As informações geradas na avaliação suportam melhorias no *poka-yoke* e no SGPK, dependendo do foco realizado na análise.

## REFERÊNCIAS

CONNOR, G. **Poka-yoke: Human-Proof your Process.** Journal of Industrial Maintenance e Plant Operations, p.12-14, jun. 2006.

CAMBON, J., GUARNIERI, F., GROENEWEG, J. Towards a new tool for measuring safety management systems performance. **Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Symposium on Resilience Engineering**, Juan-les-Pins, France, nov. 2006.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração.** Tradução: Clave Comunicações e Recursos Humanos SC Ltda. Rio de Janeiro: Editora Marques Saraiva S.A., 1990.

FORMOSO, C. T., SANTOS, A., POWELL, J. A. **An exploratory study on the applicability of process transparency in construction sites.** Journal of Construction Research, v.3, n.1, p.35-54, 2002

GHINATO, P. **O Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente o just-in-time.** Caxias do Sul, Editora da UCS, 1996.

GROUT, J. **Mistake-proofing the Design of the Health Care Processes.** Rockville, AHRQ, 2007.

HINCKLEY, C. M. **Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry.** General Paper, Springer-Verlag, v.12 p.223-230, mar. 2007.

HOLLNAGEL, E. **Barrier analysis and accident prevention: how to improve safety by understanding the nature of accidents rather than finding their causes,** 2004. 37p.

LIKER, K. J., MEIER, D. **O Modelo Toyota de Produção: Manual de aplicação.** Tradução: Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2007. 432p. Título original: The Toyota Way Fieldbook.

MCGEE, D. **Lean and Six Sigma: A Holistic Approach to Process Improvement.** In.: ASQ-American Society for Quality Congress, **Proceedings...** Denver, USA, nov. 2005.

OHNO, T. **O sistema Toyota de Produção:** além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149Pp. Título original: Toyota production system: beyond large-scale production.

SHIMBUN, N. K. **Poka-yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects.** Portland, MA: Productivity Press, 1988. Título Original: Pokayoke dai zukan.

SHINGO, S. **Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System.** Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

\_\_\_\_\_. **Sistema de troca rápida de ferramenta:** uma revolução nos sistemas produtivos. Tradução de Eduardo Schaan e Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artemed® Editora S.A., 2000, 327p. Título original: A revolution in manufacturing: the SMED system.

VIDOR, G., SAURIN, T. A. Identificação de oportunidades de pesquisa sobre sistemas *poka-yokes* em sistemas de manufatura. **Dissertação de Mestrado.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE/UFGRS, Porto Alegre, 2010.

\_\_\_\_\_. Método para avaliação de sistemas de gestão de *poka-yokes*. **Dissertação de Mestrado.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE/UFGRS, Porto Alegre, 2010.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÕES

Tendo em vista atingir o objetivo geral deste trabalho foram propostas diretrizes para a avaliação de sistemas *poka-yokes*. Essas diretrizes foram desdobradas em categorias, com respectivas características. O desenvolvimento das diretrizes foi baseado na revisão da literatura e na análise de melhores práticas desenvolvidas em quatro organizações. O escopo do método de avaliação constituído este baseado em seis categorias em que se distribuem 30 características para avaliação. O estudo de caso realizado ocorreu em uma organização do ramo metal-mecânico, sendo que o motivo para a seleção foi o fato da empresa utilizar práticas de PE, e por consequência o desenvolvimento de sistemas *poka-yokes* em seu cotidiano. A empresa é composta de seis sistemas de manufatura diferentes. O critério utilizado para a definição de qual sistema produtivo seria utilizado foi determinado pela análise do mapa de fluxo de valor, conforme recomenda o método, possibilitando a identificação do ambiente onde maior valor é agregado ao produto final.

Para a realização do trabalho foi necessária a organização em três artigos. O Artigo I contribuiu para o trabalho com revisão da literatura e boas práticas organizacionais, fornecendo subsídios para elaboração das diretrizes da avaliação. O Artigo II colaborou com a elaboração do método de avaliação, em que foram definidas as categorias de avaliação e suas respectivas características. As categorias são compostas da seguinte forma: (i) viabilidade econômica, uma característica; (ii) gestão visual, seis características; (iii) manutenção, quatro características; (iv) estabilidade da produção, quatro características; (v) projeto e operação, seis características; (vi) controle de qualidade, nove características. O Artigo III forneceu informações sobre a viabilidade de implementação do método de avaliação, seus pontos fortes e suas deficiências.

Esse desenvolvimento levou em consideração os objetivos definidos. Quanto ao objetivo geral de desenvolver diretrizes para a avaliação da gestão de sistemas *poka-yokes*, a fim de garantir melhorias nessa gestão pode-se afirmar que o estudo obteve relativo êxito. O desenvolvimento das diretrizes de avaliação foi realizado. A parte do objetivo de propor melhorias deve ir muito além da avaliação realizada não estando sobre controle do método de avaliação. Observa-se que o método de avaliação proposto não garante a implementação de melhorias, que passa necessariamente por uma política da empresa. Para garantir a melhoria dos *poka-*

*yokes*, seria necessária uma aplicação periódica das diretrizes de avaliação, com o treinamento de avaliados e avaliadores, validação de resultados e nova elaboração de planos de melhoria.

Os estudos realizados demonstraram que a ausência de um conceito padronizado para sistemas *poka-yokes* tem um impacto sobre a avaliação realizada. O conceito em relação ao *poka-yoke* é importante porque unifica a comunicação entre aqueles que são avaliados e os que estão avaliando. Normalmente a empresa avaliada apresenta uma conceituação em relação ao sistema *poka-yoke* utilizado, conforme verificado no Artigo III. Todavia, o avaliador está treinado para avaliar o sistema *poka-yoke* de acordo com um conceito próprio, alinhado as categorias de avaliação e que pode ser diferente do utilizado pela empresa. Dessa forma, existem expectativas diferentes em relação à avaliação que será realizada. Essas expectativas acabam por impactar o resultado final, visto que ocorrem questionamentos sobre a validade do método de avaliação por parte do avaliado e sobre os tipos de melhoria que serão implementadas por parte do avaliador.

O objetivo específico de caracterizar sistemas *poka-yokes* através de atributos para a sua concepção e melhoria foi realizado pelo conhecimento adquirido no trabalho. Dessa forma, podem existir características não contempladas no total de categorias definidas e que podem exercer importância em relação ao sistema de avaliação elaborado. Quanto ao método pode-se afirmar que a utilização das categorias de avaliação para o desenvolvimento de sistemas *poka-yokes* que serão implementados é uma alternativa robusta, visto que garante a observação de aspectos associados ao combate das perdas.

Utilizando o conceito que um sistema *poka-yoke* é um mecanismo de prevenção e detecção de perdas, observa-se que o sistema de avaliação elaborado pode ser uma alternativa para o desenvolvimento de novos sistemas *poka-yokes*. De fato, o sistema de avaliação verifica a eficácia e a eficiência do SGPK em relação ao combate de perdas, proporcionando o panorama para o desenvolvimento de novos sistemas a partir de categorias e características estruturadas.

A caracterização de um sistema *poka-yoke* também passa pelo avaliador. O conhecimento associado e o perfil do avaliador são importantes para respaldar a implementação de posteriores melhorias. O avaliador deve conhecer a dinâmica do processo que está sendo avaliado. Esse conhecimento permite que o avaliador possa verificar com segurança as fontes de evidência analisadas, o que é importante para validar a avaliação. Além disso, o

conhecimento do processo é importante, pois auxilia na definição de *poka-yokes* e como eles devem ser avaliados, visto que há um domínio sobre o fluxo de valor do processo, e conseqüentemente sobre os gargalos.

O objetivo específico de analisar o impacto de uma auditoria de sistemas *poka-yokes*, propondo ações de melhorias provenientes dessa avaliação foi realizado a partir do estudo de caso. No estudo de caso foram coletadas as informações referentes a comportamento dos sistemas *poka-yokes* em relação às diretrizes propostas, elucidando os principais aspectos de melhoria.

No estudo de caso foi utilizado o critério exigir pelo menos uma característica de cada categoria para classificar o sistema como um sistema *poka-yoke*. De fato, essa exigência permite que sejam garantidas ao sistema *poka-yoke* o cumprimento mínimo de apresentar todas as categorias recomendadas na literatura. Essa é uma forma de diferenciar os sistemas *poka-yokes* de dispositivos, barreiras, sinais visuais, sinais sonoros, métodos e demais classificações conceitualmente atribuídas e verificadas no estudo para esses sistemas.

As melhorias determinadas com a avaliação são apenas sugeridas para implementação. Não existe um controle para avaliar a efetividade de cada melhoria ou mesmo se as melhorias foram implementadas. Nesse sentido a avaliação deveria ser realizada periodicamente, e cada melhoria proposta nas avaliações anteriores e que não foi realizada, deve ter um registro associado. Além disso, a utilização de uma periodicidade de avaliação deveria ser adotada, para que fosse controlada a evolução do sistema *poka-yoke*, ou mesmo a sua descontinuidade de uso.

O fato de vincular a característica do sistema *poka-yoke* avaliado a um princípio de PE é importante para mostrar o impacto desses sistemas sobre o sistema de manufatura. No estudo, os princípios afetados foram: (i) controle de perdas; (ii) padronização; (iii) melhoria contínua; (iv) autonomia. Através do princípio de PE associado a cada característica é possível que a organização avaliada possa mensurar qual tipo de princípio de produção está defasado em relação ao seu sistema de manufatura. Evidentemente que a avaliação de um número pequeno de sistemas *poka-yokes* não vai subsidiar informações para análise real das deficiências da organização. Contudo, quando são analisados os sistemas *poka-yokes* dos processos críticos do fluxo de valor, conforme recomenda o método, a amostra é suficiente para indicar a(s) deficiência(s). De fato, é gerado para a empresa um grupo de informações que permite uma

análise gerencial em relação o que deve ser mudado no sistema de manufatura para garantir o combate efetivo de perdas.

Outro aspecto associado a PE é a importância dos mapas de fluxo de valor. Notadamente quando a empresa identifica onde estão os pontos críticos do fluxo de valor é fácil identificar os sistemas *poka-yokes* que serão avaliados. Portanto, pode-se afirmar que empresas que apresentam práticas de PE, podem visualizar o impacto sistêmico de melhorias ou deficiências de seus sistemas *poka-yokes*, enquanto que as demais organizações enfrentam dificuldades para a realização da avaliação de seus sistemas *poka-yokes*.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os estudos desenvolvidos nesta dissertação permitiram identificar as seguintes oportunidades para estudos futuros:

- a) desenvolver escala de avaliação para as características de cada categoria, permitindo que seja mensurada em cada avaliação o impacto quantitativo de cada categoria;
- b) verificar qual o comportamento, com relação as melhorias implementadas ao longo do tempo, de uma unidade produtiva, ou linha de produção, ou estação de trabalho que sofre avaliação de seus sistemas *poka-yokes* e comparar com outros (as) que não passam pela avaliação;
- c) verificar entre as práticas de produção enxuta existentes qual a melhor classificação a ser realizada para as características de avaliação definidas;
- d) desenvolver uma sistemática de verificação das características da categoria de projeto e operação, permitindo que as características apresentadas no método de avaliação possam ser utilizadas integralmente para a construção dos sistemas *poka-yokes*;
- e) aplicar as diretrizes de avaliação em outros ambientes que utilizam sistemas *poka-yokes*, como setores de serviços e outros setores industriais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENDELL, T., PENSON, R., CARR, S. **The quality gurus** – their approaches described and considered. *Managing Service Quality*, v.5, n.6, p.44-48, 1995.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Tradução: Gustavo Kannenberg e Flávio Pizzato. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda, 1998. Título original: *The design of the factory with a future*.

BODEK, N. **Steelcase: Equipment reliability and TPM**. Portland: Productivity Inc, 1996. p. 21-40.

CONNOR, G. **Poka-yoke: Human-Proof your Process**. *Journal of Industrial Maintenance e Plant Operations*, p.12-14, jun. 2006.

CONTI, R., ANGELIS, J., COOPER, C., FARAGHER, B., GILL, C. **The effects of lean production on worker job stress**. *International Journal of Operations and Production Management*, v.26, n.9, p.1013-1038, 2006.

FOGLIATTO, F. S., RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1ªed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009. p. 288.

GHINATO, P. **O Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente o just-in-time**. Caxias do Sul, Editora da UCS, 1996.

GROUT, J. **Mistake-proofing the Design of the Health Care Processes**. Rockville, AHRQ, 2007.

HINCKLEY, C. M. **Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry**. *General Paper*, Springer-Verlag, v.12 p.223-230, mar. 2007.

LIKER, K. J., MEIER, D. **O Modelo Toyota de Produção: Manual de aplicação**. Tradução: Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2007. 432p. Título original: *The Toyota Way Fieldbook*.

KAMADA, S. **Estabilidade de Produção da Toyota do Brasil**. Lean Institute Brasil, 2007. Disponível em [http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo\\_44](http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo_44).

MCGEE, D. **Lean and Six Sigma: A Holistic Approach to Process Improvement**. In.: ASQ-American Society for Quality Congress, **Proceedings...** Denver, USA, nov. 2005.

MIDDLETON, P. **Lean Software Development**: two case studies. Software Quality Journal, v.9, p.241-252, 2001.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4.ed. Rio e Janeiro: LTC, 2004.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: Além da Produção em Larga Escala. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PATEL, S., DALE, B. G., SHAW, P. **Set-up time reduction and mistake proofing methods**: an examination in precision component manufacturing. The TQM Magazine, v.13, n.3, p.175-179, 2001.

PASA, G. S. Uma abordagem para avaliar a consistência teórica de sistemas produtivos. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UFRGS, Porto Alegre, 2004.

SHINGO, S. **Zero Quality Control**: Source Inspection and the Poka-yoke System. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

\_\_\_\_\_. **O Sistema Toyota de Produção**: do ponto de vista da engenharia de produção. Tradução de Eduardo Schaan. Porto Alegre: Artemed® Editora S.A., 1996. 291p. Título original: A study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint.

\_\_\_\_\_. **Sistema de troca rápida de ferramenta**: uma revolução nos sistemas produtivos. Tradução de Eduardo Schaan e Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artemed® Editora S.A., 2000, 327p. Título original: A revolution in manufacturing: the SMED system.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-ação nas organizações**. São Paulo: Atlas, 1997.

WOMACK, J.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.