

**APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE E OUTRAS TÉCNICAS DE  
INFERÊNCIA ESTATÍSTICA NA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO:  
AVALIAÇÃO DE TAXAS DE ACIDENTES USANDO O *ROAD MAP*  
SEIS SIGMA**

**Virgilio Cavalcanti Rios**  
*virgilio.rios@petrobras.com.br*  
**PETROBRAS**

**Gilson Brito Alves Lima**  
*gilson@latec.uff.br*

**Annibal Parracho Sant'Anna**  
*tppaps@vm.uff.br*  
**UFF**

**Resumo**

A integração do método Seis Sigma à gestão de SMS pode levar ao aprofundamento da gestão científica dos processos e utiliza como base os procedimentos, as ferramentas, a cultura e o valor SMS já existentes nas organizações. Este artigo apresenta uma proposta de *Road Map* Seis Sigma e sua aplicação na análise da taxa de acidentes denominada TART (Taxa de Acidentes Registráveis Típicos) em uma Unidade de Exploração e Produção (E&P) *off-shore* de uma empresa de energia. A TART da frequência e gravidade dos acidentes é avaliada para os anos 2005 e 2007 através das ferramentas carta de controle U, intervalos de confiança, teste de hipóteses e gráficos *boxplot*. Os resultados da análise demonstram melhoria estatisticamente significativa da TART entre estes anos.

**Palavras-chave:**

Seis Sigma, *Road Map*, Segurança, Cartas de Controle, Inferência Estatística.

**Abstract**

The integration of Six Sigma method in HSE management may deepen the scientific character of the processes management and uses, as its basis, procedures, tools, culture and HSE values already available in the management of the organizations. This paper presents a proposal for a Six Sigma Road Map and its application in the analysis of the typical recordable accident rate, called TART, in an E&P off shore energy company unit. Accidents frequency and severity rates are analyzed for the years 2005 and 2007 through the tools of U control charts, confidence intervals, hypotheses tests and boxplot graphics. Statistically significant improvements were found for the TART along these years.

**Key words:**

Six Sigma, Road Map, Safety, Control Charts, Statistical Inference.

## 1. Introdução

A segurança e a saúde das pessoas e o respeito ao meio ambiente se tornam valores de uma organização quando diretrizes de SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde) são implementadas para alcançar estes fins. Estas diretrizes devem contemplar a liderança pelo exemplo, o atendimento à legislação e a elaboração e cumprimento de procedimentos que atendam às boas práticas da indústria. A implementação destas diretrizes forma uma cultura de SMS e precisa ser avaliada objetivamente. No entanto, a tradução da implementação destas diretrizes em resultados quantitativos não pode, e nem deve, ser direta ou linear.

No caminho para a excelência em SMS, um limite se apresenta quando os indicadores de SMS e as taxas de acidentes e doenças ocupacionais ficam aquém do esperado, com uma expectativa apenas assintótica de atingir os tetos estabelecidos. Nestes casos, a integração do método Seis Sigma à gestão da SMS, como contemplado neste trabalho, abre novas perspectivas para as organizações que têm metas desafiadoras.

Os limites dos programas de implementação de procedimentos visando à redução de acidentes e doenças ocupacionais já haviam sido identificados quando, nos anos 90 do século passado, várias empresas no Brasil e no mundo iniciaram a implementação do programa Seis Sigma para a melhoria de seus processos. Nesse momento, as certificações na área da qualidade formavam a base para o controle e a melhoria contínua dos processos. A melhoria radical apresentada pela General Electric e Motorola através dos projetos Seis Sigma indicou o caminho para uma nova etapa na racionalização dos processos produtivos. A extensão desta abordagem para a área de segurança, saúde e meio ambiente é viável. Como apresentado neste artigo para a área de segurança do trabalho, a aplicação de técnicas estatísticas seguindo o *Road Map* (mapa de percurso) Seis Sigma permite gerar análises mais precisas, e com caráter não intuitivo, que servem para suportar ações de controle ou melhoria.

Este artigo apresenta uma aplicação das cartas de controle e técnicas de inferência estatística na área de segurança do trabalho. O objetivo é avaliar as tendências de melhoria, regressão ou estabilização do processo de geração de acidentes ao longo dos anos. Para tanto, são utilizadas as Taxas de Acidentes Registráveis Típicos (TART) em uma Unidade operacional de E&P (Exploração e Produção de petróleo e gás) de uma empresa de energia.

Deve-se chamar a atenção para o fato de que a inclusão das cartas de controle em certas etapas do *Road Map* tem um significado especial para a área de SMS. Conceituar como objeto de monitoramento os processos de gestão de SMS, mesmo durante a implantação de novos procedimentos, permite modificar positivamente toda a gestão desses processos. Eles passam a ser vistos como processos cuja qualidade pode ser gerenciada permanentemente de uma forma objetiva.

A Seção 2 introduz o *Road Map* do método Seis Sigma proposto por Rios (2008). O *Road Map* utiliza a Trilogia de Juran como base e estabelece uma trilha para a aplicação do método Seis Sigma na área de SMS. Ainda na Seção 2, são sumariamente apresentados os ciclos constituintes do *Road Map* e discutidas suas aplicações.

Na Seção 3, o *Road Map* é detalhado para focar a análise da TART na etapa de Verificação (*Check*) do ciclo SDCA. Ainda nesta seção são discutidos a composição e cálculo da TART assim como o processo de geração de acidentes e doenças e os conceitos de causas comuns e especiais.

A Seção 4 apresenta as cartas de controle  $U$  e  $U_p$  como ferramentas de acompanhamento e análise da TART na etapa de Verificação (*Check*) do ciclo SDCA.

Na Seção 5, ainda na etapa de Verificação (*Check*) do ciclo SDCA, realiza-se a aplicação das técnicas estatísticas: carta de controle, teste de hipóteses, intervalos de confiança e gráficos boxplot, para análise da TART. Em função dos resultados encontrados nesta análise, discutem-se os próximos passos a serem seguidos: aplicação da etapa de Ação Corretiva do ciclo SDCA ou encaminhamento para projetos de melhoria com a aplicação do DMAIC.

A Seção 6 apresenta uma análise crítica da metodologia proposta e sua pertinência. Esta seção também compara a metodologia proposta com a comumente utilizada hoje através da Taxa de Frequência de Acidentes Com Afastamento (TFCA).

Por fim, a Seção 7 apresenta a conclusão do trabalho.

## **2. O Road Map do método Seis Sigma integrado à gestão de SMS**

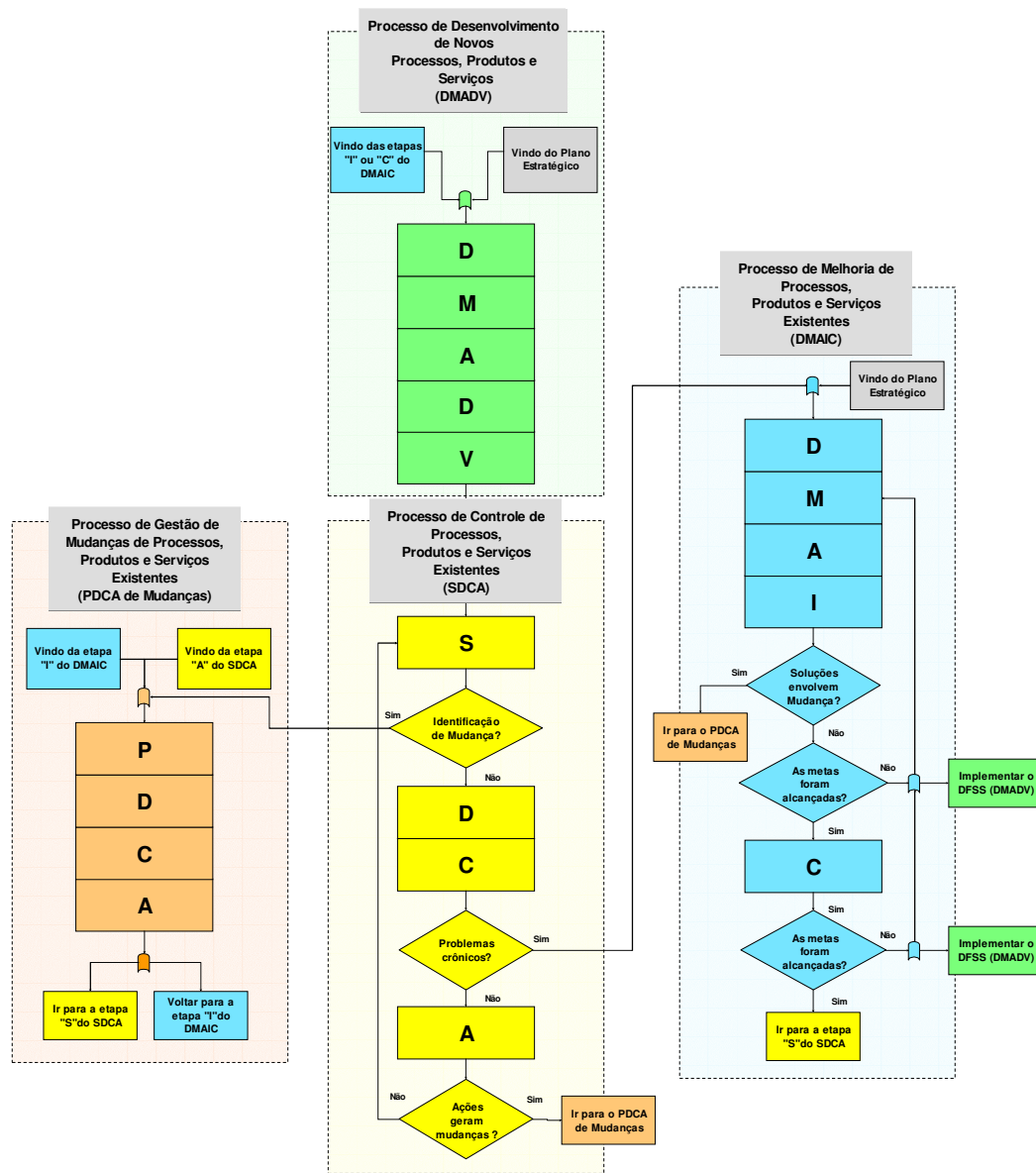
O *Road Map* do método Seis Sigma integrado à gestão de segurança, meio ambiente e saúde é composto pelos ciclos DMADV (*Define, Measure, Analyse, Design, Verify*), SDCA (*Sustain, Do, Check, Act*), DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) e PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) de Mudanças. A gestão de SMS passa pela integração destes ciclos tal qual proposto na Trilogia de Juran (1986), como desenvolvida por Defeo e Barnard (2004).

No Seis Sigma, o ciclo DMADV é utilizado para o desenvolvimento otimizado de novos processos, produtos e serviços e o ciclo DMAIC para a melhoria radical dos processos existentes. Estes ciclos são divididos em etapas e sub-etapas que compreendem o uso de ferramentas da qualidade e técnicas estatísticas de modo ordenado e sequenciado. Uma vez obtidos os resultados planejados através do DMADV e do DMAIC, o novo processo é entregue à Gestão da Rotina representada pelo ciclo SDCA. O SDCA tem como missão manter o processo sob controle e fomentar sua melhoria contínua (melhoria incremental).

Para completar o desenho do mapa da gestão do processo Seis Sigma do ponto de vista de SMS, soma-se o ciclo PDCA de Gestão de Mudanças. Segundo Dennison (1994), a Gestão de Mudanças estabelece procedimentos para análise e aprovação de pequenas mudanças ou acréscimos em instalações já existentes. O PDCA de Gestão de Mudanças deste *Road Map* entende como mudança qualquer alteração - pequena ou grande, permanente ou temporária, em instalações, tecnologia ou pessoas - que modifique os riscos ou a confiabilidade do processo. O processo de Gestão de Mudanças faz parte das boas práticas de SMS e está em normas como o PSM (*Process Safety Management*) da OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) e das práticas recomendadas API (*American Petroleum Institute*) 75 e 750.

O *Road Map* da Figura 1 apresenta o PDCA de Gestão de Mudanças e sua inter-relação com os demais processos Seis Sigma. A necessidade de mudanças no processo projetado (DMADV) pode ser identificada durante a Gestão da Rotina (SDCA) ou em projetos de melhoria (DMAIC). Portanto, a Gestão de Mudanças não pertence unicamente ao processo de rotina ou de melhoria e, por sua importância, a Figura 1 a apresenta em separado dos demais processos. No PDCA de Mudanças são analisados e tratados os riscos de mudanças inseridas nos giros dos ciclos SDCA e DMAIC. Como já salientado, o giro do ciclo PDCA de Mudanças deve ser realizado antes da implementação de quaisquer alterações permanentes ou temporárias no processo. Neste sentido, é importante salientar que as mudanças em procedimentos operacionais, do ponto de vista de como são realizadas as tarefas pelas pessoas, devem ser identificadas e tratadas por técnicas de análise de riscos no quadro dos ciclos DMADV, SDCA e DMAIC e não no PDCA de Gestão de Mudanças.

Rios (2008) apresenta graficamente o *Road Map* do método Seis Sigma integrado à gestão de SMS através da Figura 1. Esta integração permite observar a inter-relação dos processos de planejamento tático (desenvolvimento de novos processos, produtos e serviços - DMADV), de controle e melhoria contínua (SDCA), de melhoria radical (DMAIC) e de mudanças em tecnologia, equipamentos e pessoas (PDCA de Mudanças).

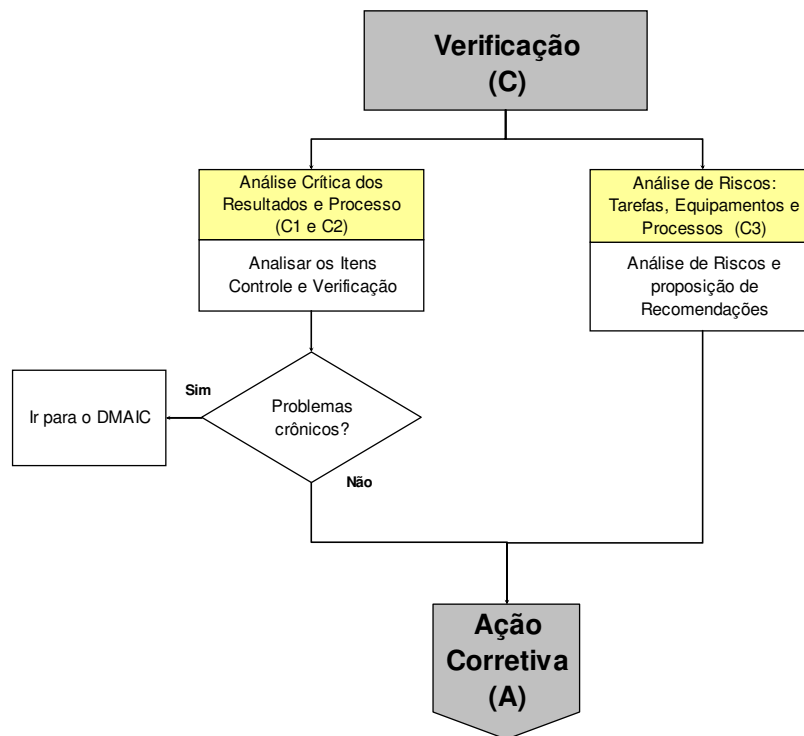


**Figura 1** – Road Map do método Seis Sigma integrado à gestão de SMS.  
 Fonte: Rios, 2008, p. 77.

**3. Detalhamento do Road Map para o estudo da Taxa de Acidentes Registráveis Típicos (TART) na etapa de Verificação (Check) do SDCA**

Neste artigo, a aplicação do Road Map está focada na relação entre os ciclos SDCA e DMAIC. Trata-se de saber se, dentro do período de análise dos dados do indicador Taxa de Acidentes Registráveis Típicos (TART), o Road Map continua no processo de controle e melhorias incrementais (SDCA) ou passa para a melhoria radical (DMAIC). A Figura 2 apresenta a etapa C (Verificação – Check) do SDCA onde, na sub-etapa “Análise crítica dos resultados e processo”, é realizada a análise crítica do item de controle representado pelo indicador TART.

A Taxa de Acidentes Registráveis Típicos (TART) é aqui estudada como um “item de controle”. Werkema (1995) define “itens de controle” como indicadores que medem a qualidade intrínseca, o custo, a entrega, a segurança do produto e o moral dos trabalhadores. Itens de controle medem, portanto, o efeito, o resultado de um processo: deste modo, um processo é gerenciado através dos seus itens de controle. O item de controle “TART” mede a segurança das pessoas no seu processo de trabalho.



**Figura 2** – Road Map do método Seis Sigma integrado à de gestão de SMS: A etapa de Verificação do SDCA. Fonte: Rios, 2008, p. 96.

A Figura 2 indica que, caso se verifique que o indicador analisado (TART) esteja fora de controle no período estudado, a etapa A (Ação Corretiva – *Act*) do SDCA deve ser executada. Nesta etapa, são tomadas medidas para a estabilização do indicador garantindo assim a sua previsibilidade e maior robustez ao longo do tempo. Por outro lado, caso a TART esteja sob controle, porém sem melhoria estatisticamente significativa (problemas crônicos), a Figura 2 encaminha para a realização de projetos de melhoria Seis Sigma através do ciclo DMAIC. A Tabela 1 condensa a avaliação da Etapa de Verificação (C) – sub-etapa Análise Crítica dos Resultados (C1) do SDCA, introduzindo as ferramentas de SMS e Seis Sigma aplicáveis e os produtos esperados desta sub-etapa.

**Tabela 1 – Road Map do método Seis Sigma integrado à de gestão de SMS: A etapa de Verificação (C) do SDCA – Sub-etapa de Análise Crítica dos Resultados (C1).**

Fonte: Rios, 2008, p. 96.

Etapas	Sub-etapas	Atividades		Ferramentas de SMS	Ferramentas do Processo de Controle e Seis Sigma	Produtos da atividade
<b>C: Verificação</b>	1	Análise Crítica dos Resultados (C1)	Analisar os Itens de Controle	.Análise crítica dos resultados do processo (saídas: produtos e sub-produtos): avaliação dos Itens de Controle.  <b>Itens de Controle:</b> 1) <b>Indicadores de Resultado da gestão de SMS.</b> <b>Exemplo:</b> .Taxas de acidentes e doenças;  2) <b>Itens de Controle das saídas do processo (produtos e sub-produtos).</b> <b>Exemplo:</b> .Registro de acidentes e incidentes.	.Cartas de Controle; .Intervalos de Confiança; .Teste de Hipóteses; .Boxplots; .Gráfico Sequencial; .Gráficos de Pareto; .Métricas do Seis Sigma.	.Análise de tendências dos resultados do processo e/ou CEP.  .Identificação e análise preliminar das anomalias geradas pelo processo: Acidentes e doenças (análise segundo padrão): ir para Etapa "A", Sub-etapa 1 (A1).  .CEP: a) <b>Fora de controle</b> (causas especiais): ir para Etapa "A", sub-etapa 2 (A2); b) <b>Sob controle</b> (apenas causas comuns - problemas crônicos): ir para o DMAIC.

A Figura 2 e a Tabela 1 oferecem um mapa de percurso para a análise crítica do indicador representado pela taxa TART referente a uma Unidade de produção *off shore* da empresa de energia em estudo, denominada Unidade 1. As ferramentas utilizadas são as cartas de controle para atributos (Carta U e  $U_p$ ), os intervalos de confiança, os testes de hipóteses e o gráfico boxplot. Procura-se saber se houve melhoria estatisticamente significativa na taxa entre os anos de 2005 e 2007.

### 3.1. Composição e cálculo da Taxa de Acidentes e Doenças Registráveis Típicos (TART)

A Taxa de Acidentes e Doenças Registráveis Típicos (TART) se compõe dos acidentes com e sem afastamento típicos e das doenças ocupacionais com a força de trabalho. Estão excluídos desta taxa os acidentes com impacto ao meio ambiente e ao patrimônio além dos acidentes com lesão com pessoas da comunidade. Os acidentes com e sem afastamento também são classificados por classe. As classes 1, 2, 3 ou 4 representam a gravidade das consequências dos acidentes nas pessoas. Quanto maior o número da classe do acidente, maior a gravidade do mesmo. A seguir, estão classificados os possíveis tipos de acidentes e doenças registráveis típicos para a composição da taxa TART, baseados no padrão de classificação de acidentes da Petrobras S.A.:

a) Acidentes sem afastamento:

Classe 1: Primeiros Socorros;

Classe 2: Tratamento Médico; Restrição para o Trabalho;

Classe 3: Múltiplos acidentados com lesão sem afastamento.

b) Acidentes com afastamento:

Classe 3: Incapacidade Temporária; Incapacidade Permanente Parcial ( $\leq 200$  dias a Debitar);

Classe 4: Incapacidade Permanente Total ( $> 200$  dias a debitar); Queimaduras físicas ou químicas; Morte.

A taxa TART é calculada conforme equação abaixo:

$$\text{TART} = \left( \frac{n \circ \text{ART} \times 10^6}{\text{HHER}} \right) \quad (1)$$

ART = Acidentes Registráveis Típicos e doenças ocupacionais com lesão na força de trabalho;  
HHER = Horas-Homem de Exposição ao Risco no período considerado (mensal).

O número de acidentes e doenças registráveis típicos por mês e o respectivo HHER mensal foram pesquisados no banco da empresa de energia em estudo.

### 3.2. O processo de geração de acidentes e doenças

Os acidentes e doenças podem ser considerados como sub-produtos de um processo de produção, assim como os resíduos sólidos, as emissões atmosféricas e os efluentes.

A população de acidentes e doenças decorrente de um processo contínuo de produção (por exemplo, uma plataforma de produção de petróleo) é formada por todos os acidentes do passado (início da operação da instalação), presente e futuro (até a desativação da instalação). Cada HHER (Horas-Homem de Exposição ao Risco) representa oportunidades de acidentes e doenças. Nos processos contínuos, os acidentes e doenças formam uma população infinita pois abrangem todos os possíveis eventos que o processo pode gerar dentro de seu período de operação. Estes eventos não podem ser contabilizados nem caracterizados a priori porque o processo muda. Esta mudança pode ser caracterizada pela variação da média da taxa de acidentes e de seu desvio-padrão ao longo do tempo. Pode-se ter, no decorrer dos meses e anos de operação de uma instalação, a existência de vários “processos” produtivos distintos geradores de acidentes e doenças (TAKALA, 1999).

Anderson (2002) define população infinita como aquela que envolve um processo contínuo que torna impossível a contagem de cada elemento da população. No entanto, esta população infinita pode ser caracterizada através de amostragens. Anderson indica que uma amostra aleatória simples retirada de uma população infinita deve satisfazer às seguintes condições:

1. Cada elemento selecionado vem da mesma população;
2. Cada elemento é selecionado de forma independente.

Neste estudo, são estudadas as taxas TART dos anos 2005 e 2007 e as amostras de tamanho  $n_1$  e  $n_2$  são oriundas de duas distribuições independentes com parâmetros  $\sigma_1^2$ ,  $\mu_1$  e  $\sigma_2^2$ ,  $\mu_2$ , respectivamente.

Para que um processo seja caracterizado, é necessário que o mesmo esteja sob controle. De outro modo, pode-se estar medindo e avaliando vários processos distintos. As causas que atuam em um processo, gerando variação ao longo do tempo, se dividem em especiais e comuns.

### 3.3. Causas Especiais e Comuns

Um conceito fundamental para o entendimento e aplicação do Controle Estatístico de Processo (CEP) através das Cartas de Controle é o de causas especiais (ou assinaláveis) e causas comuns (aleatórias). As causas especiais e comuns são as responsáveis pelo nível de perdas de um processo representado pelas medidas de tendência central (média) e de variação (desvio padrão). A seguir, estas causas são definidas a partir de Besterfield (1990), Werkema (1995) e Rath e Strong (2006).

1) Causas Comuns (aleatórias):

- a) Representam as variações aleatórias de todos os dias (numerosas e de diferentes níveis de importância) e difíceis de identificar em um processo;
- b) Fazem parte da variação natural do processo: são inerentes ao processo pois o mesmo foi projetado com este nível de perdas (Processo de Planejamento da Trilogia de Juran);
- c) Produzem níveis previsíveis de variabilidade ao longo do tempo: diz-se que o processo está “estável” ou “sob controle”;

## APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE NA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

- d) Pedem ações de melhoria para sua redução: a redução ou eliminação das causas comuns envolve melhoria na capacidade do processo (redução da média e desvio padrão do processo). Neste sentido, a redução das causas comuns é geralmente mais difícil e demorada pois, para removê-las, é necessário melhorar o processo (6Ms: Matéria-Prima, Máquina, Método, Mão de Obra, Medição e Meio Ambiente);
  - e) Causas comuns de variação são inevitáveis;
  - f) Fontes de variação devido às causas comuns: matéria prima, equipamentos, procedimentos de operação, manutenção e inspeção e a mão de obra em operação normal, tal como foram projetados (intencionalmente ou não) para o processo.
- 2) Causas Especiais (assinaláveis):
- a) Representam variações assinaláveis (não aleatórias) que não estão normalmente presentes no processo (pouco numerosas e de grande magnitude) e são mais fáceis de identificar;
  - b) Não fazem parte da variação natural do processo: uma situação particular faz com que o processo se comporte de forma diferente do usual (anomalia no processo);
  - c) As causas especiais geram um distúrbio no processo: vão e vêm de forma esporádica e aparecem sob circunstâncias particulares;
  - d) Produzem níveis imprevisíveis de variabilidade ao longo do tempo: diz-se que o processo está “instável” ou “fora de controle”;
  - e) Pedem ações de controle para sua eliminação: a eliminação das causas especiais pede correção ou volta ao estado natural do processo;
  - f) Fontes de variação devido às causas especiais: pode-se citar a chegada de um novo operador, equipamento com defeitos, descumprimento de procedimentos, procedimentos inexistentes para a tarefa ou processo, calibração inadequada de instrumentos de medição, matéria prima fora das especificações.
- 3) Causas Comuns versus Causas Especiais:
- a) Processo apresenta apenas Causas Comuns (processo sob controle):
    - Os altos e baixos das taxas plotadas são inerentes ao processo formando padrões aleatórios (variação aleatória ou natural);
    - O processo (ou sistema) deve ser melhorado como um todo (6Ms);
    - Segundo Deming (1986), a causa e a resolução deste estado do processo é de responsabilidade da gerência (liderança) que estabelece a rotina de trabalho (sistema). Segundo Besterfield (1990), de 80% a 85% dos problemas da qualidade são de responsabilidade da gerência (liderança). Apenas 15% a 20% destes problemas são de responsabilidade do nível operacional;
    - Para melhorar o processo, reduzindo a variação devido às causas comuns, devem ser realizadas ações de melhoria. No Seis Sigma, as ações de melhoria são realizadas através do DMAIC (melhoria de processos existentes).
  - b) Processo apresenta Causas Especiais (processo fora de controle):
    - Os pontos além dos Limites de Controle e outros padrões não-aleatórios das taxas plotadas são distúrbios no processo (variação não-aleatória);
    - O processo (ou sistema) não precisa ser melhorado como um todo. Deve haver correção pontual (volta à normalidade) no processo com análise das causas, identificação e ação de controle em alguns dos 6Ms. Há indicação que os procedimentos existentes não são seguidos ou existem lacunas no sistema de gestão que demandam novos procedimentos de controle. A atuação nas causas especiais pode gerar pequenas melhorias (melhorias incrementais);
    - Para que o processo fique estável e previsível (sob controle), é necessário reduzir a variação devido às causas especiais. Para tanto, devem ser realizadas ações de controle para a volta à normalidade do sistema. No Seis Sigma, as ações de controle são realizadas através do SDCA (controle de processos existentes).



#### **4. As Cartas de Controle U e $U_p$ : contagem de eventos (acidentes) em áreas desiguais de probabilidade de ocorrência**

Segundo Besterfield (1990), as cartas de controle são fotografias do processo ao longo do tempo. A carta de controle distingue a variação aleatória (natural) da não-aleatória em um processo. A ocorrência de variação não-aleatória deve-se às causas especiais: diz-se que o processo está instável ou fora de controle. Nas cartas de controle, os pontos fora dos limites de controle ou apresentando padrões não aleatórios fornecem evidência da instabilidade do processo. Neste sentido, as cartas de controle indicam quando e onde um problema ocorreu.

A carta de controle a ser aplicada neste artigo é a Carta U: carta de controle para a contagem de não conformidades em áreas desiguais de oportunidade.

A Carta U é uma carta de controle para atributos. Atributos são características da qualidade que podem ou não estar conforme às especificações (BESTERFIELD, 1990). Quando uma pessoa sofre um acidente ou adoece, pode-se considerar o acidente ou a doença como uma não conformidade. A Carta U se presta ao estudo da taxa TART através da contagem de eventos (acidentes e doenças) em áreas desiguais de probabilidade de ocorrência (HHER do mês).

A Carta U baseia-se em uma distribuição de Poisson para a contagem de eventos independentes em áreas de oportunidade. Segundo Besterfield, a distribuição de Poisson estabelece duas condições aplicáveis à Carta U:

- A contagem média de não conformidades deve ser muito menor que o número total de possíveis não conformidades;
- As ocorrências de não conformidades são independentes entre si.

No entanto, a análise da TART através da Carta U não distingue a gravidade dos acidentes ou doenças. O conceito aqui utilizado é que uma mesma causa básica pode gerar acidentes ou doenças com diferentes gravidades (consequências). Dentro de um mesmo processo ou para uma determinada tarefa, a variação encontrada na gravidade das lesões é uma questão de probabilidade ou sorte (SALAZAR, 2006). A Pirâmide de Bird complementa este conceito atribuindo probabilidades para a ocorrência de eventos com diferentes gravidades. Os mesmos desvios em relação aos padrões estabelecidos geram, em ordem decrescente de probabilidade, incidentes e acidentes de menor e maior gravidade. Portanto, a plotagem da taxa mensal TART na Carta U oferece uma análise da frequência de ocorrência de todos os acidentes e doenças gerados em um processo.

Por outro lado, a análise da TART ponderada na Carta  $U_p$  aplica pesos para os acidentes e doenças com diferentes tipos de gravidade. Aqui, está sendo avaliada a gravidade dos acidentes e doenças gerados por cada processo. Por exemplo, o trabalho em áreas administrativas apresenta acidentes com efeitos menos graves que aqueles em sistemas pressurizados ou em eletricidade. Neste sentido, a utilização da Carta  $U_p$  pode ser útil no mapeamento das Unidades, processos ou tarefas críticas em relação às consequências dos acidentes e doenças.

A Carta U e a Carta  $U_p$  são complementares porque possibilitam uma análise de frequência versus gravidade dos processos e tarefas. O uso do Controle Estatístico de Processo (CEP) na análise dos acidentes e doenças é importante pois permite distinguir o efeito de causas comuns e especiais atuantes nos processos. A eficácia no atingimento das metas é potencializada através da percepção da necessidade de ações de controle (problemas esporádicos – causas especiais) daquelas de melhoria (problemas crônicos – causas comuns).

Besterfield (1990), Pyzdek (2003) e Montgomery (2004) discutem a utilização da Carta  $U_p$  sob o nome de Carta de Depreciações (*Demerit Chart*) em que os pesos indicam a gravidade dos eventos. Besterfield indica o peso 1 para não conformidades menores, peso 3 para não conformidades maiores e peso 9 para as críticas. Este autor também se refere a um quarto tipo de classificação denominada catastrófica, porém sem indicar o peso correspondente. Pizdek utiliza os pesos 1, 5 e 10 para a sua sequência hierárquica. Por fim, Montgomery elenca quatro classes de defeitos: classe A ou muito sérios com peso 100, classe B ou sérios com peso 50, classe C ou moderadamente sérios com peso 10 e classe D ou menores com peso 1. De acordo com o número

## APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE NA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

de classificações exigidas para os tipos de acidentes e com os autores acima citados, os pesos propostos para a Carta  $U_p$  de acidentes são dados abaixo:

- Primeiros Socorros: peso 1;
- Tratamento Médico: peso 5;
- Restrição ao trabalho: peso 10;
- Incapacidade Temporária: peso 10;
- Incapacidade Permanente Parcial: peso 25;
- Incapacidade Permanente Total: peso 50;
- Morte: peso 100.

A Carta U é construída de acordo com as equações 2, 3 e 4 e a Carta  $U_p$  de acordo com as equações 5, 6 e 7:

$$\bar{u} = \frac{\sum_1^{it} n_{ij}}{\sum_1^{jt} t_j} \quad (2)$$

$$LSC = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{t_j}} \quad (3)$$

$$LIC = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{t_j}} \quad (4)$$

$$\bar{u}_p = \frac{\sum_1^{kt} \sum_1^{jt} p_k \times q_{jk}}{\sum_1^{jt} t_j} \quad (5)$$

$$LSC = \bar{u}_p + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}_p}{t_j}} \quad (6)$$

$$LIC = \bar{u}_p - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}_p}{t_j}} \quad (7)$$

onde:

- $\bar{u}$  = Taxa média;  $\bar{u}_p$  = Taxa média ponderada;
- LSC: Limite Superior de Controle; LIC: Limite Inferior de Controle.
- $u_j = n_{ij} / t_j$  : Taxa pontual mensal plotada na Carta U: número de eventos (acidentes e doenças) por Unidade de inspeção (tempo =  $HHER/10^6$ ) onde “j” representa um mês e “i” o número de acidentes e doenças no mês;
- $p_k$  = Peso para as categorias de acidentes ( $k = 1, 5, 10, 25, 50$  ou 100);
- $q_{jk}$  = Contagem de anomalias (nº de Acidentes Registráveis) do Tipo k observados no mês j;
- $t_j$  = nº de Homem-Hora Exposto ao Risco ( $HHER/10^6$ ) no mês j;
- $j_t$  = número total de meses;
- $k_t$  = número de tipos de anomalias.

Esta forma de calcular os limites de controle, baseada no afastamento por três desvios padrão estimados, é aqui empregada pela sua maior simplicidade. Nas cartas U, por não levar em conta a assimetria da distribuição de Poisson, ela conduz a limites inferiores muito baixos. Além disso, quando se junta ocorrências de diferentes tipos, os limites podem, ao contrário, ser muito próximos. A ponderação pode corrigir ou acentuar este efeito, dependendo da relação entre o vetor de pesos e o de desvios-padrão das respectivas observações. Jones et al. (1999) mostram como diferentes formas de cálculo dos limites resultam em grande variação no número de pontos fora dos limites. Os resultados aqui obtidos contribuem para a investigação desse fato. O uso combinado das cartas U e Up aqui proposto facilita a avaliação das diferenças nas dispersões dos diferentes tipos de ocorrências e dos seus efeitos no cálculo dos limites de controle.

A Tabela 2 apresenta o número de acidentes por classe para a Unidade 1 entre os anos 2005 e 2008.

**Tabela 2** – Acidentes por classe para a Unidade 1 do E&P (Janeiro 2005 a Dezembro 2008)

Ano	Mês	Primeiros Socorros (Peso = 1)	Tratamento Médico (Peso = 5)	Incapacidade Temporária (Peso = 10)	Restrição (Peso = 10)	Incapacidade Permanente Parcial (Peso = 25)	Incapacidade Permanente Total (Peso = 50)	Morte (Peso = 100)	Soma Freq: Carta U	Soma*P Gravid: Carta Up
2005	jan/05	19	8	1	11				39	179
	fev/05	16	7		4	1			28	116
	mar/05	22	4	1	4			1	32	192
	abr/05	20	8		4	1			33	125
	mai/05	30	5	5	7				47	175
	jun/05	17	4	1	5		1		28	147
	jul/05	24	3		4				31	79
	ago/05	22	3	2	4				31	97
	set/05	19	7	3	2				31	104
	out/05	29	4		5				38	99
	nov/05	29	2	1	6				38	109
	dez/05	17	3	4	1				25	82
2006	jan/06	29	2	1	5				37	99
	fev/06	29	6	1	5				41	119
	mar/06	22	3	2	3				30	87
	abr/06	18	4	1	5				28	98
	mai/06	9	3	1	2				15	54
	jun/06	25	5						30	50
	jul/06	14	5	1	2				22	69
	ago/06	18	2	1	3				24	68
	set/06	12	2	1	4				19	72
	out/06	13	9	1	3				26	98
	nov/06	15	5		1				21	50
	dez/06	15	3		2				20	50
2007	jan/07	16	8	1	4				29	106
	fev/07	23	6		2				31	73
	mar/07	16	6		3				25	76
	abr/07	15	11		3				29	100
	mai/07	16	2	2	4				24	86
	jun/07	14	3	2	2	1			22	94
	jul/07	11	4		1				16	41
	ago/07	15	8		1			1	25	165
	set/07	5	2						7	15
	out/07	8	6		4				18	78
	nov/07	13	3						16	28
	dez/07	10	5	1	1				17	55
2008	jan/08	23	2		1				26	43
	fev/08	13	6			1			20	68
	mar/08	12	4		2				18	52
	abr/08	12	7	3	2				24	97
	mai/08	9	4	2	1				16	59
	jun/08	24	3		1				28	49
	jul/08	11	2						13	21
	ago/08	12	3	2	2				19	67
	set/08	20	2		1				23	40
	out/08	14	6		1				21	54
	nov/08	9	5		1				15	44
	dez/08	19	7						26	54

## 5. Aplicação de técnicas estatísticas para análise da TART e discussão dos resultados

### 5.1. Construção das Cartas de Controle U e $U_p$

#### 1) Fase de estudo para as Cartas U e $U_p$ (2005 a 2007):

Nesta fase são calculadas as taxas pontuais de cada mês, a taxa média e os limites de controle de acordo com as equações 2 a 7, utilizando os dados da Tabela 2. As cartas apresentadas neste artigo foram desenvolvidas através do aplicativo Minitab (Figuras 3 e 4).

#### 2) Fase de estudo por estágios para as Cartas U e $U_p$ (2005 a 2007):

Aqui as cartas desenvolvidas na fase anterior são apresentadas em estágios representados pelos anos de estudo. Os estágios permitem a visualização isolada das médias e limites de controle de cada ano de estudo (Figuras 5 e 6).

#### 3) Fase de estudo por estágios revisada para as Cartas U e $U_p$ (2005 a 2007):

Quando pontos fora de controle são observados nas cartas de controle por estágios, deve-se investigar e identificar as causas especiais que deram origem a esta situação e promover ações corretivas. Em seguida, estes pontos devem ser eliminados das cartas e nova média e limites de controle são calculados. Na Figura 5, a Carta U não apresenta pontos fora de controle nos anos de estudo 2005 e 2007 e, portanto, não é necessária a sua revisão. Já na Figura 6, Carta  $U_p$  apresenta vários pontos fora de controle nos anos 2005 e 2007. Estes pontos são retirados para gerar a Figura 7 onde a Carta  $U_p$  apenas apresenta taxas de acidentes mensais com variação aleatória. Com apenas causas comuns agindo no processo de geração de acidentes, pode-se iniciar o processo de inferência estatística da TART dos anos 2005 e 2007.

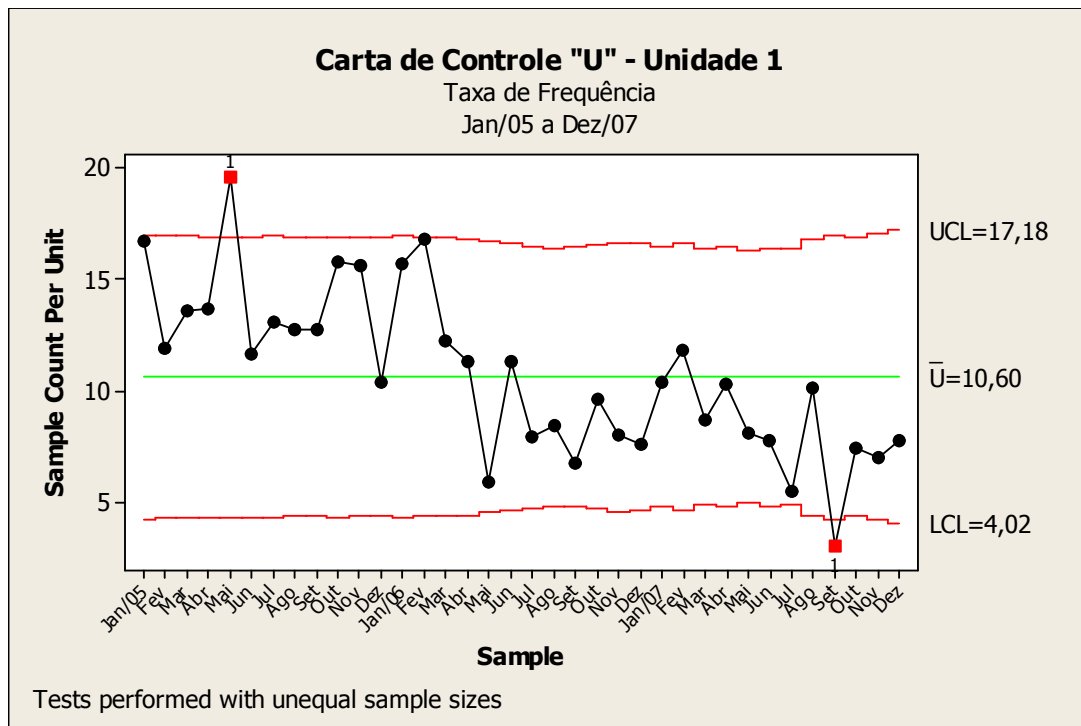


Figura 3 – Carta U da fase de estudo (2005 a 2007).

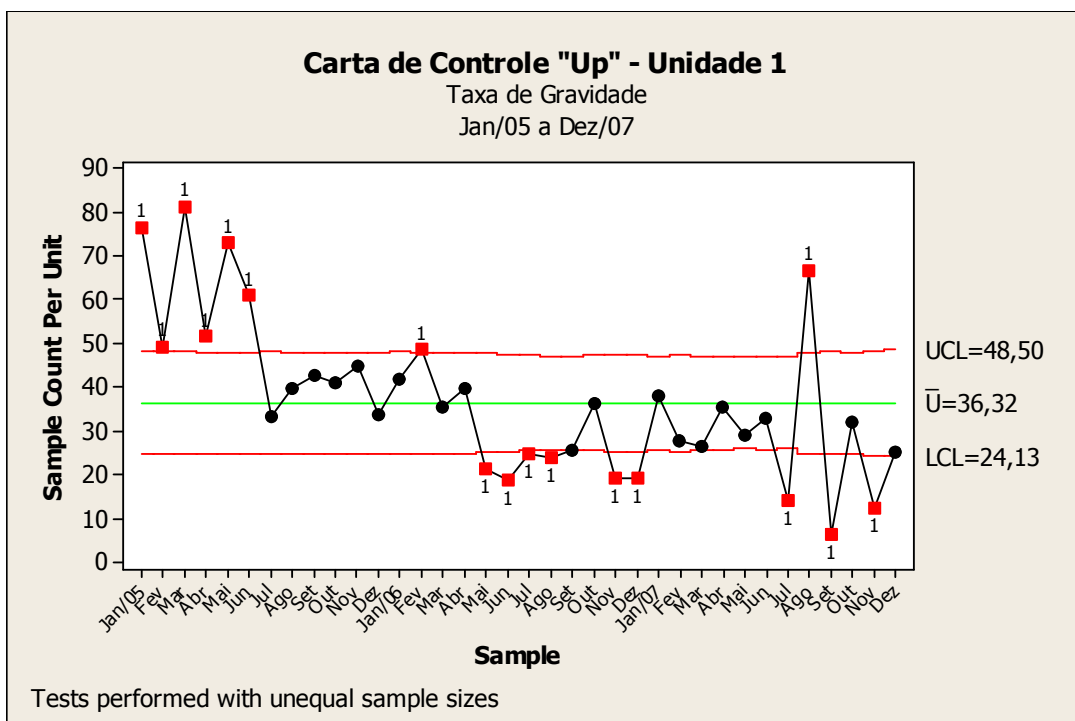


Figura 4 – Carta  $U_p$  da fase de estudo (2005 a 2007).

Uma análise visual das Figuras 3 e 4 mostra que entre os anos 2005 e 2007 há uma redução tanto na frequência quanto na gravidade das taxas de acidentes típicos. As Figuras 5 e 6 representam as Figuras 3 e 4 em forma de estágios, divididos nos anos 2005, 2006 e 2007.

Deste modo, fica mais clara a evolução ocorrida na média e nos limites de controle da TART. A Figura 7 replica a Figura 6 sem os pontos fora de controle dos anos de comparação 2005 e 2007.

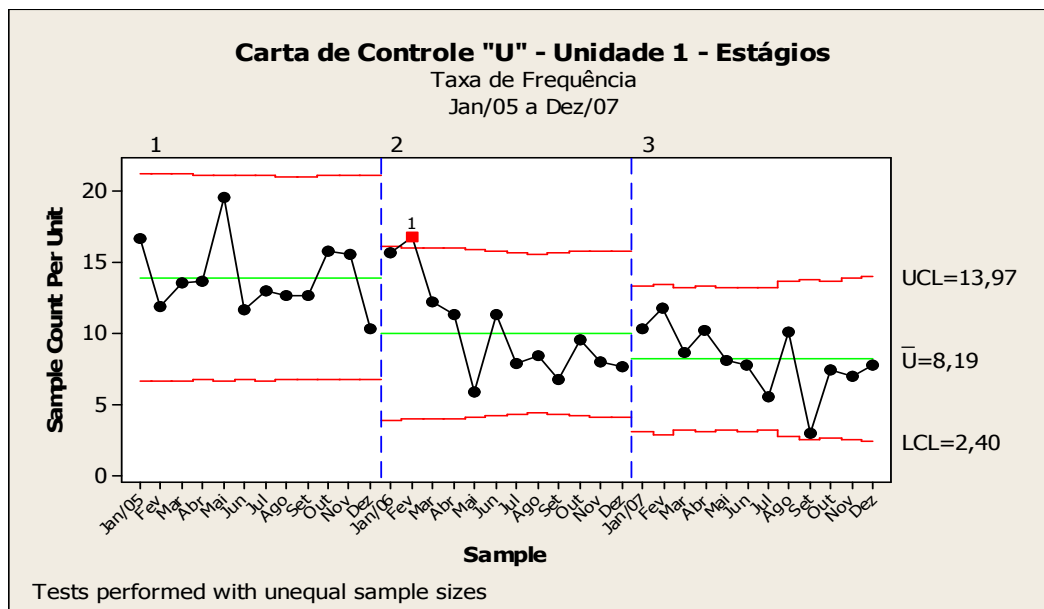


Figura 5 – Carta U da fase de estudo por estágios (2005 a 2007).

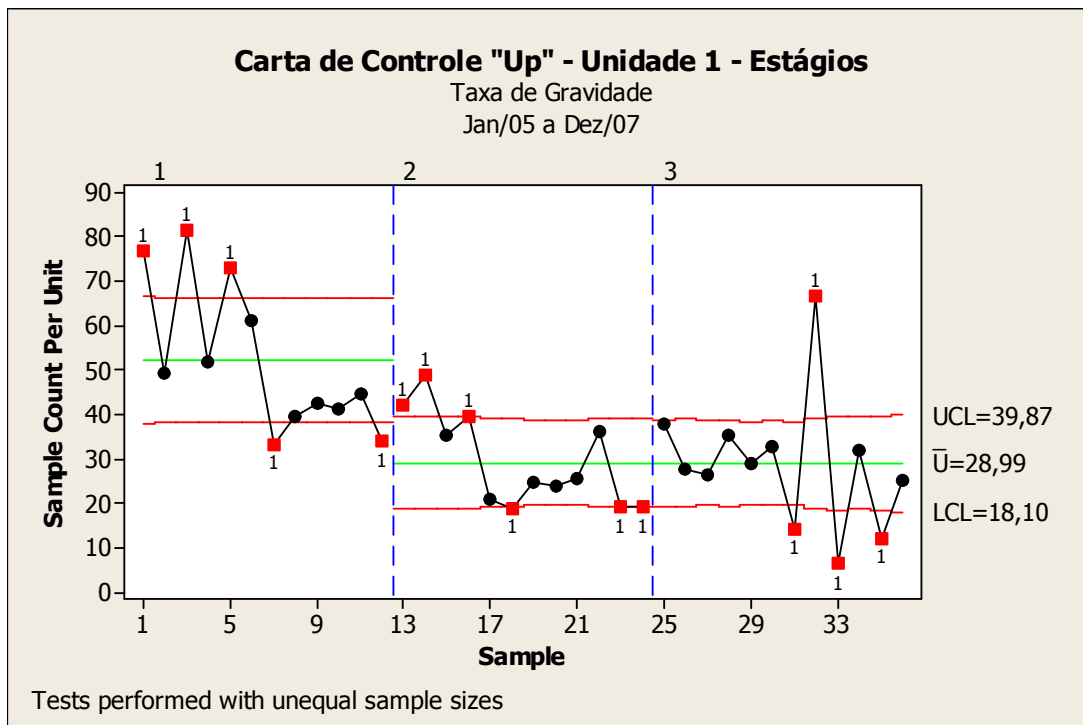


Figura 6 – Carta  $U_p$  da fase de estudo por estágios (2005 a 2007).

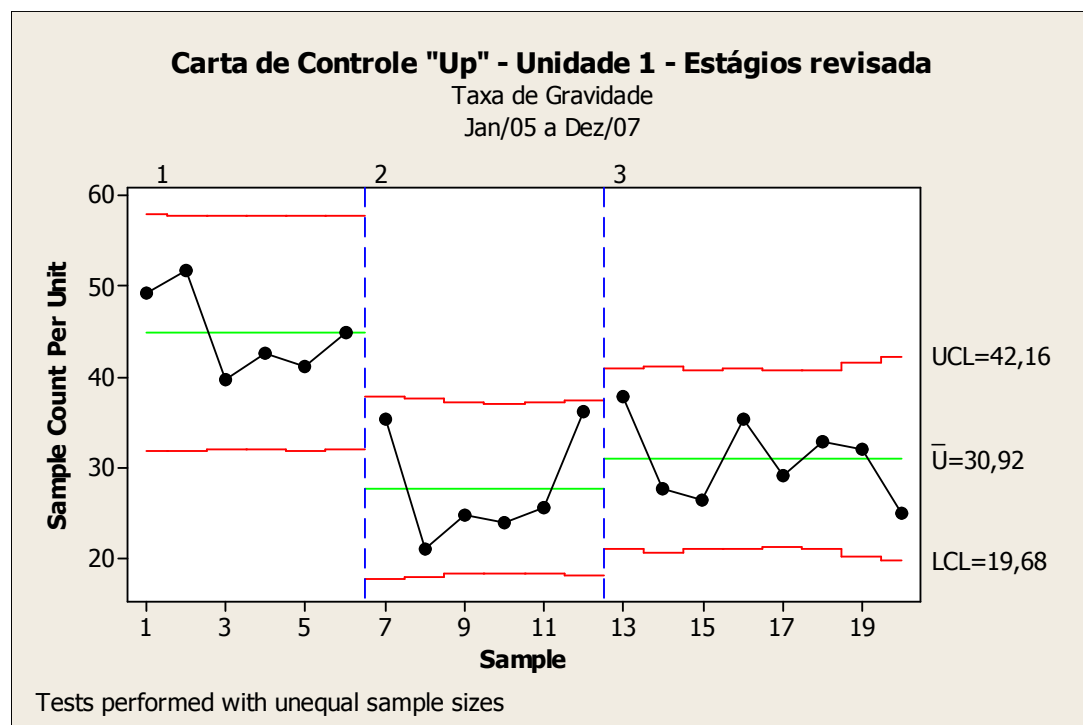
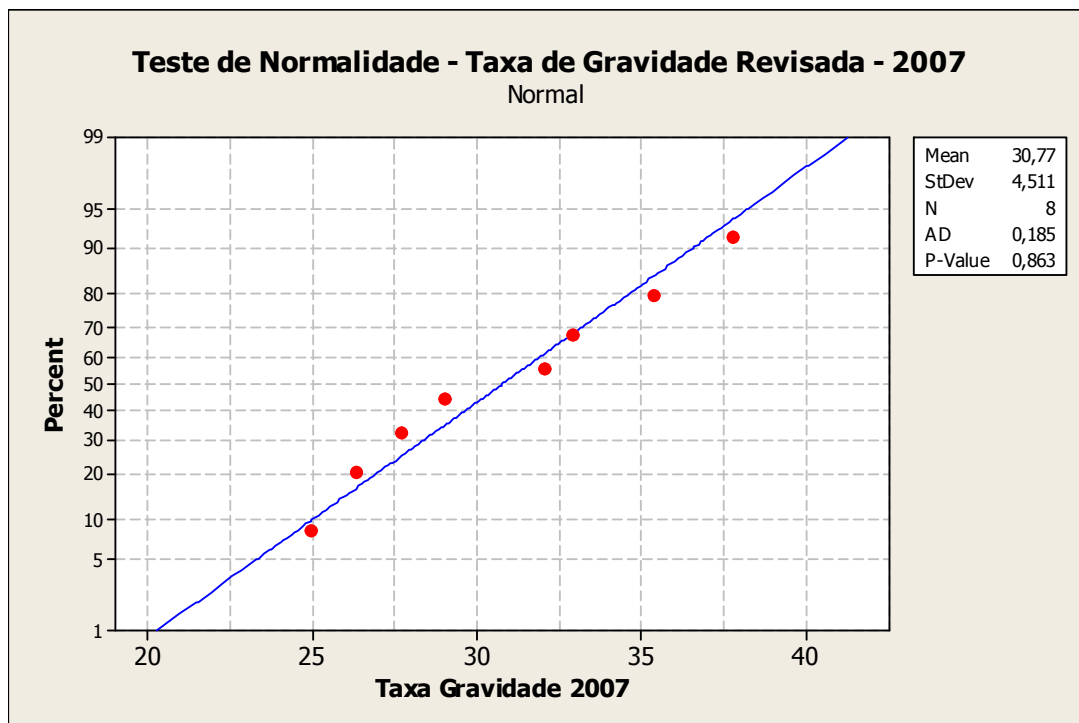


Figura 7 – Carta  $U_p$  da fase de estudo por estágios com apenas causas comuns (2005 a 2007).

## 5.2. Teste de Normalidade

Graficamente, através das cartas de controle U e  $U_p$ , foi verificado que há melhoria das taxas de frequência e gravidade entre os anos 2005 e 2007 para a Unidade 1. No entanto, para realizar uma análise que demonstre que a diferença visualizada é estatisticamente significativa, é necessário utilizar técnicas de inferência como intervalos de confiança e testes de hipóteses. Para trabalhar com estas técnicas, como o tamanho da amostra levantada em cada um dos anos de estudo é inferior a 30, não se pode remeter ao Teorema Central do Limite e considerar, a priori, estes dados aproximadamente normais. A normalidade é uma pré-condição para a utilização das equações dos intervalos de confiança e testes de hipóteses para pequenas amostras com a distribuição t de Student.

A Figura 8 apresenta o teste de Normalidade realizado no software Minitab, com o teste de Anderson-Darling, para a taxa de gravidade do ano 2007 da Figura 7 (8 pontos em 2007). Aceita-se a hipótese de normalidade pois o p-valor de 0,863 é superior ao nível de significância  $\alpha$  utilizado de 0,05.



**Figura 8** – Teste de Normalidade da taxa de gravidade revisada do ano 2007.

## 5.3. Inferência estatística sobre as Taxas de Acidentes Típicos Registráveis (TART) dos anos 2005 e 2007:

Para responder quantitativamente à questão se há melhoria estatisticamente significativa das taxas TART de frequência e gravidade entre os anos 2005 e 2007, são realizados testes da hipótese nula  $H_0$ , de igualdade das médias, contra a alternativa  $H_a$  de média inferior em 2007. A rejeição de  $H_0$  significa evidência estatística de que os dois processos geradores de acidentes e doenças representados pelas taxas médias TART dos anos 2005 e 2007 são diferentes e  $\mu_1 - \mu_2 > 0$ .

## APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE NA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

A Hipótese de Pesquisa (hipótese alternativa -  $H_a$ ) é dada formalmente abaixo:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 > 0$$

onde:

- $H_0$  é a hipótese de nenhuma diferença entre os processos do ano 2005 e 2007. Não houve melhoria significativa entre os dois anos para os acidentes com pessoas. Não houve melhoria na segurança;
- $H_a$  é a hipótese de que existe diferença entre os processos dos anos 2005 e 2007. Houve melhoria na segurança;

Montgomery (2004, p. 75) apresenta as equações para o teste  $t$  combinado para duas amostras, caso da pequena amostra ( $n < 30$ ), com variâncias desconhecidas e  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (equações 8 e 9) e os intervalos de confiança para a diferença das médias (equação 10).

Segundo Drumond (1996), para podermos usar estas equações devemos antes atender às seguintes condições: o processo deve estar sob controle estatístico, a distribuição com que se trabalha deve ser aproximadamente normal e as amostras devem ser independentes. Como foi visto nas seções anteriores, pode-se considerar atendidas estas condições.

Regra de decisão: rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando:

$$t_t = \frac{(\bar{u}_1 - \bar{u}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} > t_{\alpha/2; \nu} \quad (8)$$

onde

$$\nu = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 + 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 + 1}} - 2 \quad (9)$$

Intervalos de confiança para a diferença das médias:

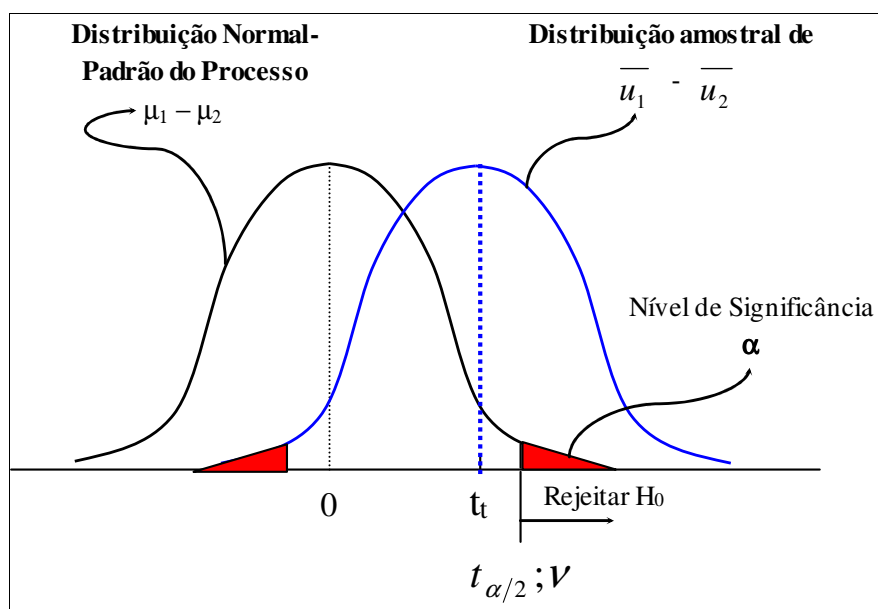
$$\bar{u}_1 - \bar{u}_2 \pm (t_{\alpha/2; \nu}) \times \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} \quad (10)$$

onde:

- Média da distribuição do processo  $\mu_1 - \mu_2 = 0$ ;
- $t_t$ : Estatística de Teste = média da distribuição amostral de  $\bar{u}_1 - \bar{u}_2$ : é o número de desvios-padrão que  $\bar{u}_1 - \bar{u}_2$  está da média da distribuição normal-padrão com média zero;
- $t_{\alpha/2; \nu}$ : Valor Crítico que fornece uma área  $\alpha/2$  nas extremidades da distribuição normal-padrão de probabilidade. Este valor crítico é obtido na tabela da Distribuição  $t$  de Student, com grau de liberdade  $\nu$  e  $S_1^2$  diferente de  $S_2^2$  (variâncias diferentes).  $\nu$  é dado pela equação 7.

A Figura 9 representa graficamente o teste de hipóteses estudado.





**Figura 9** – Teste de Hipóteses: comparação das TART de 2005 e 2007.  
 Fonte: Rios, 2008, p. 117.

A Tabela 4 apresenta o resultados do teste de hipóteses para a TART dos anos 2005 e 2007 a partir dos dados das Figuras 5 e 7 e da Tabela 2.

**Tabela 4** – Testes de hipótese para as TART de frequência e gravidade dos anos 2005 e 2007.

Testes de Hipótese	Dados TART 2005 e 2007
<b>Taxas de Frequência: Teste T (para a Figura 5)</b>	$t_t = 5,74 > 2,087$ $(t_t > t_{0,025; 24})$ Rejeitar $H_0$
<b>Intervalo de Confiança:</b>	$ICf_{2005-2007}(\bar{u}_1 - \bar{u}_2; 95\%)$ [3,71 ; 7,89] Rejeitar $H_0$
<b>Taxas de Gravidade: Teste T (para a Figura 7)</b>	$t_t = 5,624 > 2,160$ $(t_t > t_{0,025; 13})$ Rejeitar $H_0$
<b>Intervalos de Confiança:</b>	$ICp_{2005-2007}(\bar{u}_1 - \bar{u}_2; 95\%)$ [8,66 ; 19,46] Rejeitar $H_0$

#### 5.4. Conclusões para o teste de hipótese para a TART de frequência e gravidade

Os resultados na Tabela 4 permitem afirmar, com um nível de confiança de 95%, que a hipótese nula de igualdade das médias das taxas TART dos anos de 2005 e 2007 pode ser rejeitada e validada ( $H_a: \mu_1 - \mu_2 > 0$ ). Ou seja: as médias da taxa TART de frequência e gravidade não são estatisticamente iguais e há melhoria entre os anos 2005 e 2007 pois a TART de frequência de 2007 é significativamente menor que a de 2005.

#### 5.5. Análise através dos gráficos Boxplot

O Boxplot mostra graficamente a relação entre as taxas TART dos anos 2005 e 2007, com dados que geraram as Figuras 5 e 7. Os pontos no centro das caixas representam as taxas médias e os lados inferior e superior dos retângulos representam, respectivamente, o primeiro e o terceiro quartis dos dados coletados para os anos 2005 e 2007. Pode-se verificar graficamente que as taxas médias de frequência (Figura 10) e gravidade (Figura 11) sofreram uma redução significativa entre os anos estudados.

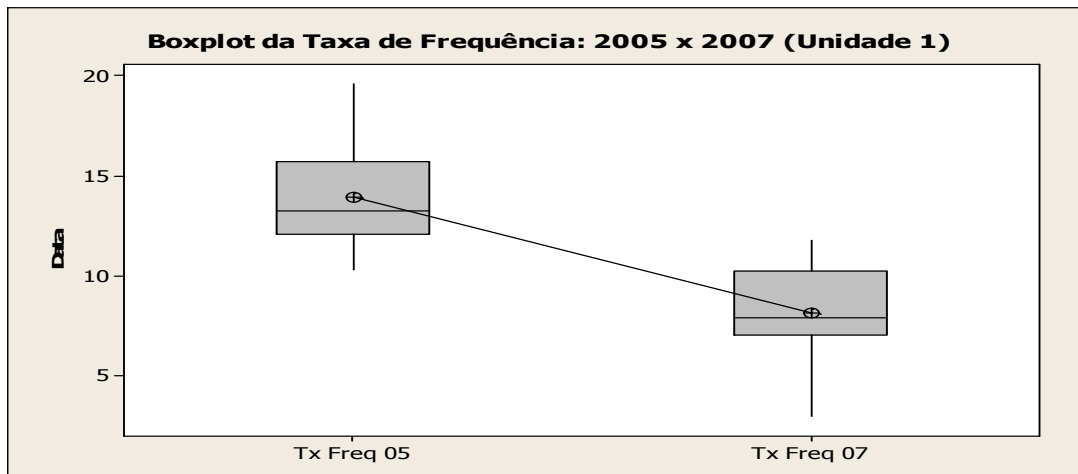


Figura 10 – Boxplot da TART de frequência (2005 e 2007).

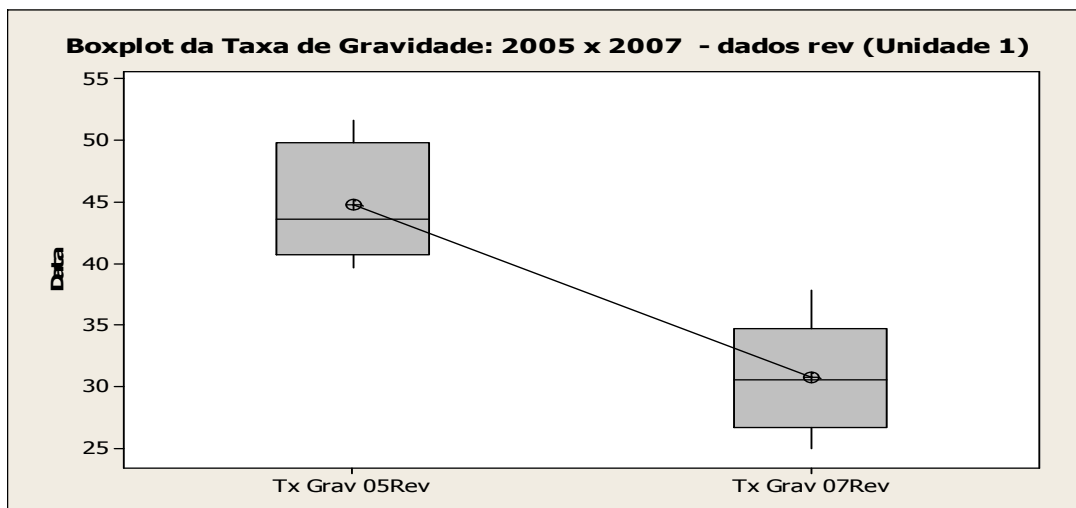


Figura 11 – Boxplot da TART de gravidade (2005 e 2007).

### 5.6. Ações decorrentes da análise das Cartas de Controle U e U<sub>p</sub>

No quadro do Seis Sigma, as cartas de controle devem levar às seguintes seguintes decisões, de acordo com a Figura 2 (etapa de Verificação do SDCA):

1) Processo fora de controle (atuação de causas especiais):

Os pontos fora de controle encontrados na etapa de Verificação (*Check*) são uma ocasião para levantar as causas especiais e devem gerar ações corretivas dirigidas à estabilização do processo na etapa de Ações Corretivas (*Act*) do SDCA. Nesta etapa, é importante que os acidentes sejam classificados pelas atividades de trabalho ou condições que os geraram e estas enquadradas em sub-atividades. Isto possibilita encontrar as causas especiais mais facilmente. Abaixo, segue um modelo de classificação das causas dos acidentes:

- Movimentação de cargas;
- Sistemas pressurizados;
- Trabalhos em altura;
- Eletricidade e áreas classificadas;
- Trabalhos em espaços confinados;
- Trabalhos de caldeiraria;
- Trabalho com produtos químicos;
- Deslocamento das pessoas no horário de trabalho;
- Arrumação e limpeza deficientes;
- Falta de / uso inadequado / inadequação do EPI para a tarefa;
- Falha no uso de ferramenta de trabalho.

O conhecimento de variáveis como a localização geográfica e o turno complementam os dados da classificação sugerida. Abaixo, segue exemplo de interpretação dos pontos fora de controle da Carta U<sub>p</sub> da Figura 6 para os meses de março e maio 2005.

O mês de março 2005 apresenta uma fatalidade em uma plataforma de produção com trabalho em sistema pressurizado (lançador e receptor de pig). As causas especiais identificadas são a deficiência no projeto do equipamento (falta de válvula de alívio de pressão) assim como a falta de demarcação da área de risco para o operador quando da abertura da portinhola do lançador/receptor de pig. No mesmo mês, um acidente de incapacidade temporária ocorre em trabalho em altura. Neste caso, a causa especial apresenta-se na forma de uma manutenção não planejada em tarefa sem procedimento formal (limpeza de dessalinizadora).

No mês de maio 2005, cinco incapacidades temporárias envolvem movimentação de cargas, trabalhos em altura e sistemas pressurizados. Também nestes casos, a causa especial se apresentou na forma de uma lacuna nos procedimentos operacionais juntamente com falha na análise de riscos a ser realizada antes da tarefa.

Os pontos fora de controle avisam sobre lacunas no sistema de gestão. Antes de tornarem-se acidentes, estas lacunas podem ser percebidas através dos desvios das boas práticas de trabalho e dos quase-acidentes ocorridos. Exemplos de caracterização de causas especiais são a falta de procedimentos operacionais ou sua inadequação, falta de manutenção nas instalações ou sua inadequação, projeto não seguro de ferramentas e equipamentos e falha no exercício de supervisão do processo.

A Tabela 3 apresenta as atividades, ferramentas Seis Sigma e de SMS para a etapa de Ação Corretiva do SDCA sugerida por Rios (2008). A identificação das causas especiais e sua correção permitem retirar pontos da carta de controle e avaliar a média e desvio padrão do processo apenas com causas comuns. Com o processo estabilizado em sua variação natural, a melhorias estatisticamente significantes não podem ser realizadas apenas com ações corretivas pontuais como visto para os meses de março e maio 2005.

APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE NA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

**Tabela 3 – Etapa de Ação Corretiva do SDCA: Atividades, ferramentas e produtos.**

Fonte: Rios, 2008, p. 170.

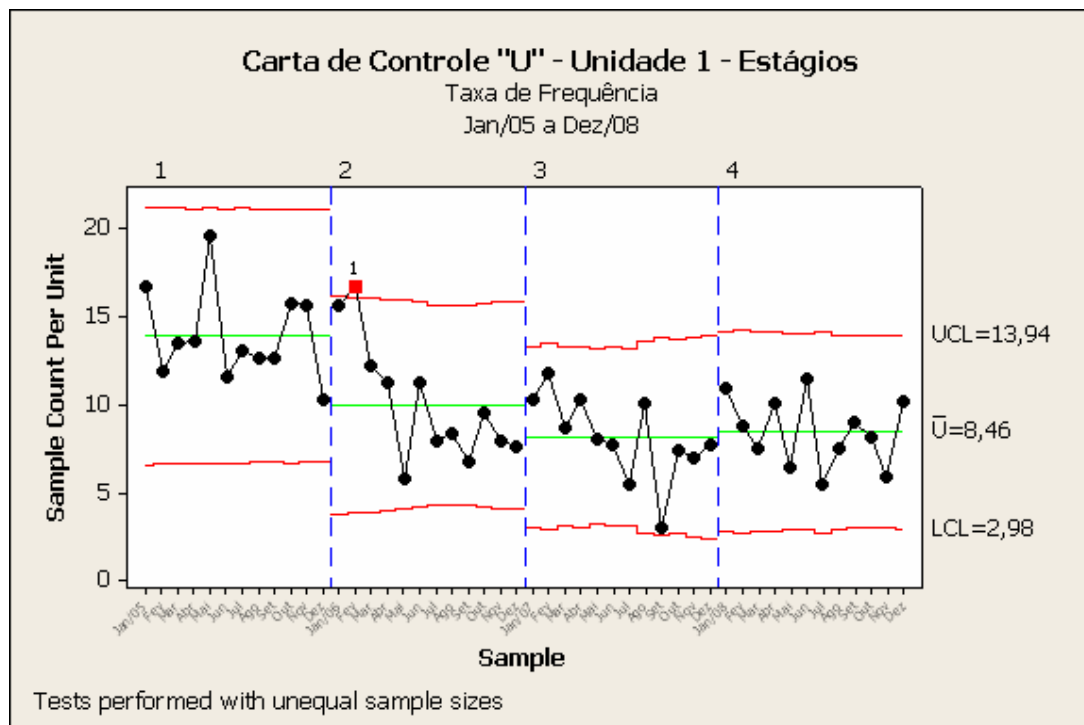
Etapas	Sub-etapas	Atividades	Ferramentas de SMS	Ferramentas do Processo de Controle e Seis Sigma	Produtos da atividade	
<b>A: Ação Corretiva</b>	1	Investigação e Ações Corretivas para Acidentes, Doenças, Incidentes, Desvios e Não Conformidades (A1)  Vindo de C1 e C2	Análise, ação corretiva e abrangência:  .Investigação pontual e ações corretivas; .Análise de abrangência das ações corretivas para demais processos e localidades quando aplicável.	.Registro de não conformidades; .Registro de acidentes, incidentes e desvios; .Visita ao local do evento; .Entrevistas; .Linha do Tempo; .Árvore de Falhas; .Árvore dos Porquês.	.Plano de Ação (5W1H); .Análise das idéias geradas pelas pessoas através do Programa de Sugestões; .Implementação e priorização das ações corretivas em condições inseguras através do Kanban; .Poka-yoke.	<b>Implementação de:</b> .Ações corretivas pontuais e abrangentes para as causas raiz.
	2	CEP: Investigação e Ações Corretivas para condição "Fora de controle" (A2)  Vindo de C1 e C2	.Análise e identificação das causas especiais; .Análise, identificação e ações de controle para as causas raiz associadas para: a) Indicadores de Resultado e Processo; b) Itens de Verificação.	.Visita ao local do evento; .Entrevistas; .Árvore dos Porquês.	.Diário de Bordo das Cartas de Controle; .Brainstorming; .Diagrama de Causa e Efeito; .Plano de Ação (5W1H); .Análise das idéias geradas Programa de Sugestões; .Auditoria de desvios focada nas causas especiais dos acidentes; .Implementação e priorização das ações corretivas em condições inseguras através do Kanban; .Poka-yoke.	<b>Identificação das causas especiais e das causas raiz associadas;</b> <b>Implementação de:</b> .Ações de controle para as causas raiz; <b>Processo sob-controle.</b>
	3	Implementação das Recomendações das Análises de Riscos (A3)  Vindo de C3	.Implementação das Recomendações.	.Recomendações das Análises de Risco.	.Plano de Ação (5W1H); .Análise das idéias geradas pelas pessoas através do Programa de Sugestões; .Implementação e priorização das ações corretivas em condições inseguras através do Kanban; .Poka-yoke.	<b>Implementação de:</b> .Recomendações das Análises de Riscos.
	4	Padronizar as correções realizadas no processo (em função de A1, A2 e A3)		<b>Revisão dos procedimentos das tarefas críticas através da VCP:</b> .Padrão de Execução com APP da Tarefa; .Lista de Verificação.  <b>Revisão dos Estudos de Riscos dos equipamentos e processos críticos:</b> .APR, HAZOP e FMEA.  <b>Revisão do PPRA/PCMSO.</b>	.Poka-Yoke.	.Documentação das soluções implementadas; .Aumento da robustez do processo (Poka-Yoke).
	5	Treinar todos os envolvidos nos novos padrões (em função de A1, A2 e A3)		.DDSMS (Lições ponto-a-ponto).	.Treinamento em sala de aula; .Treinamento no trabalho.	.Capacitar a força de trabalho nos procedimentos revisados.
	6	Definir e implementar plano de controle para o processo (monitoramento e ações corretivas)		.Inspeções Planejadas de SMS; .Auditorias Comportamentais.	.Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção; .Plano para coleta de dados; .Folha de Verificação; .Amostragem; .Carta de Controle; .Histograma; .Índices de Capacidade; .Métricas do Seis Sigma; .Auditoria do uso dos procedimentos .Revisão do Plano de Manutenção.	.Manter e consolidar os ganhos obtidos no processo de controle.

2) Processo sob controle (atuação apenas de causas comuns):

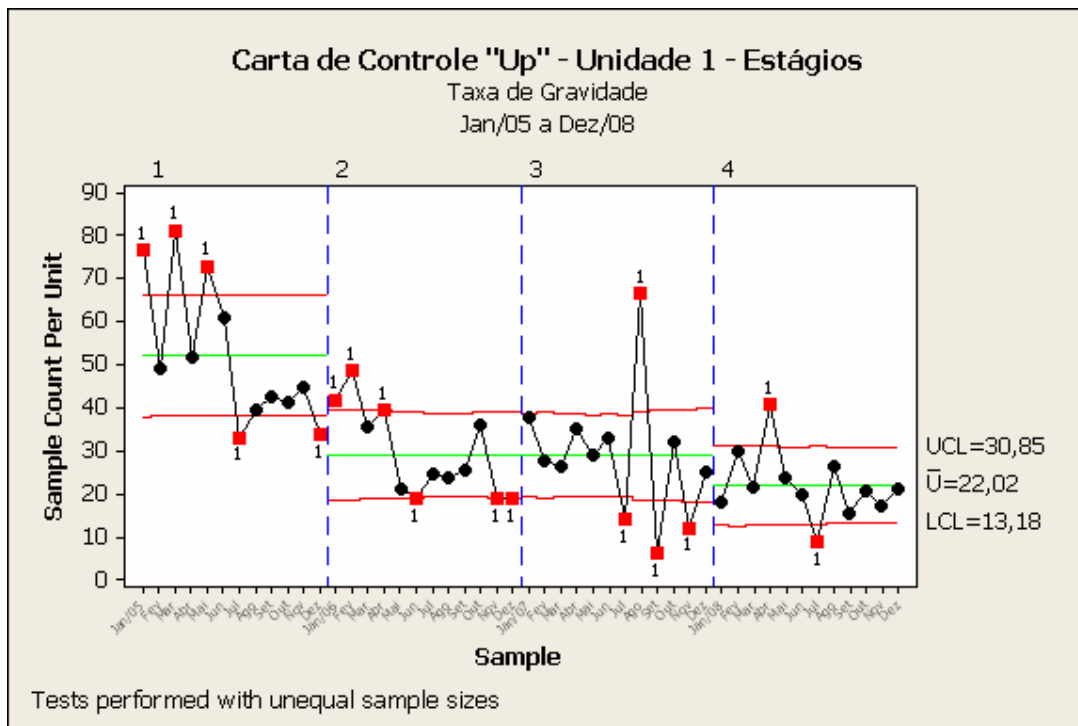
Encerrada a etapa de identificação das causas especiais e promovidas as ações corretivas correspondentes, pode-se partir para o gerenciamento das causas comuns. Nesta etapa, o monitoramento do processo é orientado para dois objetivos:

- Verificar se este estado atende às metas do plano estratégico ou corresponde aos limites econômicos da organização. Nesta condição, manter o processo sob controle através do ciclo SDCA;
- Caso seja obtido um processo sob controle, mas que não atenda às metas do plano estratégico, desenvolver projetos de melhoria dentro do ciclo DMAIC até que seja atingido o nível de qualidade desejado para o processo.

Como a meta para acidentes não pode ser diferente de zero, deve ser empreendido um trabalho de controle e melhoria contínua no SDCA simultaneamente a projetos de melhoria no DMAIC. As Figuras 12 e 13 apresentam as Cartas U e  $U_p$  da Unidade 1 atualizadas com os meses de janeiro a dezembro de 2008. Pode-se verificar graficamente que a média da TART de frequência manteve os níveis obtidos em 2007 e a TART de gravidade obteve redução estatisticamente significante entre 2007 e 2008 (p-valor = 0,001).



**Figura 12** – Carta U atual por estágios (Janeiro 2005 a Dezembro 2008).



**Figura 13** – Carta  $U_p$  atual por estágios (Janeiro 2005 a Dezembro 2008).

## 6. Análise crítica do estudo

O método proposto para análise e ações em relação à Taxa de Acidentes Registráveis Típicos através das cartas de controle e inferência estatística possibilita avaliar melhorias estatisticamente significativas com nível de confiança de 95%. Além disso, tomadas de decisão sobre o processo podem gerar ações distintas caso atuem causas especiais (ações através do SDCA) ou apenas causas comuns (ações através do DMAIC).

Comumente, a análise da taxa de acidentes é realizada através do TFCA (Taxa de Frequência de Acidentes com Afastamento). Conforme indica sua sigla, o TFCA apenas computa os acidentes com afastamento: incapacidades temporárias, incapacidades permanentes parciais ou totais e as mortes. Um dos problemas encontrados na análise através do TFCA é a baixa quantidade de dados (número de acidentes) que empobrece seu tratamento estatístico. Outra dificuldade é que vários acidentes graves são remetidos para a classificação “Restrição ao trabalho” quando a lesão do acidentado lhe permite trabalhar em funções outras que sua função original. A Tabela 2 apresenta a magnitude do número de acidentes classificados sob esta rubrica. Portanto, a análise estatística proposta através das TARTs de frequência e gravidade permitem uma visão mais completa do processo gerador de acidentes em determinada Unidade de produção.

Finalmente, fica claro através do estudo realizado para a TART da Unidade 1 que houve melhoria estatisticamente significativa entre os anos 2005 e 2007. A liderança tomou medidas que reduziram a média e a variação das taxas de acidentes o que, é importante salientar, requer a implementação de ações de melhoria consistentes nos 6Ms e nos processos críticos da Unidade. No ano de 2008, a taxa de frequência de acidentes permaneceu estável e novas melhorias foram implementadas gerando redução na taxa de gravidade da Unidade.

## 7. Conclusão

O sistema de gestão de Segurança, Meio Ambiente e Saúde deve estar baseado em diretrizes que forneçam a base para sua construção. Liderança e responsabilidade, avaliação e gestão de riscos, gestão de mudanças e gestão de emergências são algumas destas diretrizes. Estas diretrizes devem ser implementadas e aperfeiçoadas ao longo do tempo através de projetos de melhoria. Estes projetos solidificam o SMS como valor, implementando seus procedimentos críticos e ações de melhoria. Juntamente com as certificações e o cumprimento à legislação, a implementação das diretrizes de SMS cumpre um papel de sedimentação e aprofundamento desta linha de atuação que é a implementação de procedimentos e a criação do valor SMS.

O *Road Map* do método Seis Sigma integrado à gestão de Segurança, Meio Ambiente e Saúde se insere no aprofundamento da gestão científica nesta área e utiliza como base a cultura organizacional e o valor SMS lastreado nas melhores práticas da indústria e na maturidade dos elementos das diversas normas de SMS. O Seis Sigma busca a melhoria radical dos processos, produtos e serviços e gera ações baseadas em fatos e dados com o uso intensivo de técnicas estatísticas e ferramentas da qualidade estruturadas em um mapa de percurso. As ferramentas apresentadas no quadro do *Road Map* são exemplos do modo como a estatística pode guiar e priorizar ações eficazes dentro do quadro do SDCA e DMAIC.

Este artigo discute a utilização das técnicas estatísticas carta U e  $U_p$ , teste de hipóteses, intervalos de confiança e gráficos *boxplot* dentro do quadro do *Road Map* Seis Sigma. Estas técnicas são utilizadas na área de segurança do trabalho para uma análise quantitativa da Taxa de Acidentes Registráveis Típicos (TART). O resultado da análise empreendida determina se devem ser realizadas ações corretivas no quadro do SDCA ou ações de melhoria no quadro do DMAIC.

No estudo da Unidade 1 de uma empresa de energia *offshore*, a aplicação destas técnicas mostrou melhoria estatisticamente significativa entre os anos 2005 e 2007 para a TART considerando a frequência de ocorrência dos acidentes (Carta U) e a gravidade dos mesmos (Carta  $U_p$ ).

O *Road Map* do método Seis Sigma integrado à gestão de Segurança, Meio Ambiente e Saúde deve ser implementado para estabilizar o processo através da eliminação das causas especiais e para reduzir os efeitos das causas comuns ou aleatórias atuantes no processo. Seu uso deve fornecer meios eficazes para a redução das taxas de frequência e gravidade dos acidentes que ocorrem no processo produtivo.

**Agradecimentos.** Somos gratos aos revisores da revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento pelas sugestões de aperfeiçoamento recebidas, assim como ao CNPq e à CAPES pelo apoio.

## Referências

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J. & Williams, T. A. (2005). *Estatística aplicada à administração e economia*. Thompson, São Paulo.
- Besterfield, D. H. (1990). *Quality control*. Prentice Hall, New Jersey.
- Defeo, J. & Barnard, W. (2004). *Juran's Institute Six Sigma: breakthrough and beyond*. McGraw-Hill, New York.
- Deming, E. W. (1990). *Qualidade: a revolução da Administração*. Marques Saraiva, Rio de Janeiro.
- Dennison, M. S. (1994). *OSHA and EPA: process management requirements: a practical guide for compliance*. Van Nostrand Reinhold, New York.

## APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE NA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

- Drumond, F. B., Werkema, M. C. C. & Aguiar, S. (1996). *Análise De Variância: comparação de várias situações*. Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte.
- Jones, L. A., Woodall, W. H. & Conerly, M. D. (1999) Exact Properties of Demerit Control Charts, *Journal of quality Technology*, 31, 2, 207-216.
- Juran, The Quality Trilogy: a universal approach to managing for quality. *Quality Press*, V. 19, 19-24.
- Montgomery, D. C. (2004). *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. LTC, Rio de Janeiro.
- Petrobras (2007). Padrão PB-PP-0V3-00001-A. *Classificação, investigação, análise, documentação e divulgação de anomalias de SMS*.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- Rath & Strong (2006). *Six Sigma pocket guide*. Rath and Strong, Lexington, Massachusetts.
- Rios, V. C. (2008). Proposta do Road Map do método Seis Sigma integrado à Gestão de Segurança, Meio Ambiente e Saúde – Uma aplicação na área de E&P da Petrobras. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense (UFF), Centro Tecnológico.
- Salazar, N. (2006). Applying the Deming philosophy to the safety system. *Professional Safety*, 52-57.
- Shankar, V. J. Milton, J. and F. Mannerring, F. Modeling accident frequencies as zero-altered probability processes: an empirical inquiry. *Accident Analysis and Prevention*, 29, 829–837
- Takala J. (1999) Global Estimates of Fatal Occupational Accidents, *Epidemiology*, 10, 640-646.
- Werkema, M. C. C. (1995). *As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos*. Desenvolvimento Gerencial, Belo Horizonte.