

Aplicação de gráficos de Controle Estatístico de Processos para o monitoramento dos casos de meningite no município de Joinville

Applying Statistical Control Charts to monitor cases of meningitis in the city of Joinville

Elisa Henning (elisa.henning@udesc.br)

- Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Campus Universitário Prof. Avelino Marcante s/n. Bairro Zona Industrial Norte. 89219-710. Departamento de Matemática. Joinville, SC, Brasil.

Olga Maria Formigoni Carvalho Walter (olgaformigoni@gmail.com, UFSC, Santa Catarina, Brasil)

Custodio da Cunha Alves (custodio.alves@univille.br, UNIVILLE, Santa Catarina, Brasil)

Robert Wayne Samohyl (samohyl@yahoo.com, UFSC, Santa Catarina, Brasil)

Resumo: *O monitoramento e controle de epidemias permitem melhor atuação das autoridades sanitárias e a criação de políticas preventivas visando assegurar a saúde da população. A aplicação de gráficos de Controle Estatístico de Processos na saúde pública tem tido uma evolução crescente nos últimos anos. Este artigo tem por objetivo investigar e analisar a aplicação de gráficos de controle para medidas individuais no monitoramento das notificações dos casos de meningite no município de Joinville/SC. Além do gráfico de Shewhart popular pela sua simplicidade, são analisadas também as aplicações de um gráfico do tipo Shewhart modificado, um gráfico de Somas Acumuladas (CUSUM) e para finalizar o de Média Móvel Exponencialmente Ponderada (EWMA). Os dados analisados correspondem às notificações mensais no período entre janeiro de 2008 a dezembro de 2011 e tem origem no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). Todos os gráficos de controle utilizados mostraram-se viáveis para o monitoramento dos dados. O gráfico de controle do tipo Shewhart sinalizou pontualmente os meses de agosto e novembro de 2010 com maior quantidade de ocorrências. No mesmo ano, os gráficos CUSUM e EWMA indicaram tendência de aumento nos casos de meningite a partir de agosto. Em 2011 também ocorreu do aumento nos casos acontecer, principalmente no final no segundo semestre.*

Palavras-chave: Gráficos de controle; Medidas individuais; CUSUM; EWMA; Notificação de casos de meningite.

Abstract: *The monitoring and control of epidemics allows better performance of health authorities and the establishment of preventive policies to ensure the health of the population. The application of statistical process control charts in public health has been a growing trend in recent years. This paper aims to investigate and analyze the use of control charts for individual measurements in the monitoring of notifications of cases of meningitis in the city of Joinville, a city located in the state of Santa Catarina. Besides the Shewhart chart, popular for its simplicity, modified Shewhart-type chart, a graph of Cumulative Sums (CUSUM), and the Exponentially Weighted Moving Average (EWMA), applications are also analyzed. The*

data correspond to monthly reports for the period from January 2008 to December 2011, and has its origins in the Information System for Notifiable Diseases (SINAN). All control charts used were viable for monitoring data. The Shewhart and modified Shewhart control charts promptly signaled the months of August and November 2010 with the highest number of occurrences. In the same year, the CUSUM and EWMA charts indicated an upward trend in cases of meningitis from August. In 2011, there was also an increase in cases that occurred, especially late in the second half of the year.

Keywords: Control Charts; Individual measures; CUSUM, EWMA; Notification of cases of meningitis.

1. Introdução

Identificar se um número de casos ou óbitos de uma doença é mais elevado do que o que “seria” esperado configura-se um importante critério de detecção no início de um surto ou de uma epidemia. Assim, o conceito de epidemia remete a uma elevação repentina, temporária e significativa na incidência de uma doença, provocada por alterações de um ou mais fatores de estrutura epidemiológica. Ao se afirmar que o número de casos deve ser significativo, pressupõe-se que deva ser adotado um critério estatístico que permita dizer que o número observado ultrapassou a ocorrência habitual da doença (ALVES, 2004). Por esta razão, métodos estatísticos são aplicados para a modelagem de problemas desta natureza. E, embora não exista um padrão internacional que diga quando que a ocorrência deixa de ser normal para ser epidêmica, são utilizados diferentes métodos de controle, neste sentido, para doenças diversas (ALVES, 2004).

Para Sanches (1982) o aspecto puramente estatístico dos métodos deve ser restringido, mas de modo algum suprimido, sendo que a modelagem de doenças infecciosas deve ser utilizada de forma científica, direcionando a necessidade da sociedade dentro de um contexto de realidade social e econômica. Assim, além da abordagem quantitativa, ou seja, do número de casos de doenças ou de óbitos, é de fundamental importância o enfoque qualitativo, isto é, da representação da doença para a população (ALVES, 2004).

Neste sentido, considerando o aspecto quantitativo, uma opção apropriada para monitoramento contínuo de dados biológicos, como é caso de ocorrência de doenças, compreende a utilização de gráficos de controle estatístico de processo. Assim, neste artigo são aplicados, analisados e comparados em termos de desempenho, alguns gráficos de

controle, como alternativas para o monitoramento dos dados de uma doença de notificação compulsória, a meningite, no município de Joinville em Santa Catarina. Para tal finalidade, são investigados os dados correspondentes as notificações de ocorrência no período de 2008 a 2011, sendo aplicados os principais gráficos de controle para medidas individuais: Shewhart X, Somas acumuladas (CUSUM) e Médias Móveis Exponencialmente Ponderadas (EWMA).

De acordo com o Ministério da Saúde (2011) existem 45 doenças de notificação compulsória, ou seja, um registro, para que autoridades sanitárias competentes possam estar preparadas para um rápido controle destes eventos. Este controle é a base para a vigilância epidemiológica, que tem como objetivo identificar quando houver alguma mudança nas taxas de incidência destas doenças e assim informar quando, indicando possibilidades de surto ou epidemia.

O controle de doenças transmissíveis baseia-se em intervenções que são disparadas por meio de mecanismos de monitoramento. Estes mecanismos se caracterizam pela contabilização do número de casos ocorridos de determinada doença. Portanto é fundamental que um sistema de monitoramento seja suficientemente rápido em detectar o crescimento na incidência de uma doença, permitindo ativar ações de investigação e controle por parte dos gestores da saúde (FIGUEIRA *et al.*, 2011).

Os gráficos de controle estatístico de processo são cada vez mais utilizados no monitoramento de saúde para auxiliar tanto na compreensão, quanto na avaliação da estabilidade de processos, e, identificar as alterações que indicam melhoria ou agravamento do estado de saúde (WOODALL; ADAMS; BENNEYAN, 2012). Estas técnicas têm sido discutidas e aplicadas na área da saúde, principalmente na vigilância epidemiológica e controle de infecções hospitalares (SANCHES, 2000; ARANTES *et al.*, 2003; SONESSON; BOCK, 2003; BRAZ; ANDREOZZI; KALE, 2006; WOODALL, 2006; GOMES; OLIVEIRA; MINGOTI, 2011; FIGUEIRA *et al.*, 2001; MORAES, 2011).

Este trabalho tem a seguinte estruturação: na seção 2 apresenta-se uma breve visão da utilização de gráficos de controle em aplicações na área da saúde; a seção 3 fornece uma visão geral dos gráficos de controle. Na seção 4 estão os procedimentos metodológicos utilizados,

na seção 5 são apresentados e discutidos os resultados e para finalizar, na seção 6 são expostas as conclusões e considerações finais.

2. Aplicação de gráficos de controle em saúde

Os gráficos de controle de Shewhart foram propostos por Rich e Terry em 1946 pela primeira vez para o uso no estudo de epidemias (RICH; TERRY, 1946; ALVES, 2004). No entanto, os gráficos de controle só passaram a ser aplicados com maior frequência a partir da de 1990. Esta lenta transferência desta técnica para a saúde inclui a relutância do meio em aceitar uma abordagem vinda do processo produtivo industrial e que estes métodos não eram usuais nos livros mais populares de estatística médica (MOHAMMED, 2004).

No Brasil o gráfico de controle de Shewhart é amplamente utilizado, na vigilância de doenças (ALVES, 2004). Mas, não se tem registros de quando a utilização de gráficos de controle se tornou oficial no país. Todavia, acredita-se que é bem provável que tenham se consolidado e expandido sua utilização a partir de 1976, com a origem do Sistema Nacional de Vigilância Epidemiológica, ou no final dos anos 80, com a implementação dos Sistemas de Informação informatizados (ALVES, 2004).

Thor *et al.* (2007) realizaram um extenso estudo sobre aplicações do Controle Estatístico de Processo na saúde. Relatam que o Controle Estatístico de Processo foi aplicado em uma ampla gama de configurações e especialidades, em diversos níveis de organização e também, diretamente por pacientes, utilizando noventa e sete diferentes variáveis. O estudo focalizou benefícios, limitações, barreiras, e fatores que facilitam a aplicação desses métodos. O Controle Estatístico de Processo permitiu a diferentes setores gerir e melhorar os processos de saúde. Possibilitou também a pacientes com, por exemplo, asma ou diabetes *mellitus*, a gerenciar sua própria saúde. Todavia, ressaltam que a aplicação correta destes métodos não é necessariamente uma tarefa trivial. Os autores concluem que o Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma ferramenta versátil que pode ajudar as diversas partes interessadas para gerenciar mudança na saúde e melhorar a saúde dos pacientes.

A utilização de gráficos de controle para o acompanhamento de doenças é justificada pela premissa de que a “produção” das doenças pode ser considerada análoga à produção de

um processo industrial. Assim, ao se empregar uma ferramenta industrial na análise e acompanhamento de um processo biológico, supõe-se que algumas características desses dois processos sejam comparáveis. Uma destas características é a variabilidade das unidades amostrais, que no processo biológico é representada pela variabilidade do processo de produção da doença, e a utilização de limites máximo e mínimo de controle (ALVES, 2004).

Deste modo, esses diagramas refletem o programa de controle baseado nos bancos de dados existentes no Sistema de Vigilância de agravos no país, representando um método que permite um acompanhamento das informações recebidas constantemente. Em termos gerais, são aplicados para controle de doenças em situações de equilíbrio, onde há uma estabilidade espaço-temporal. Quando a frequência do evento é relativamente constante durante um período, a análise dos dados não necessita de maior sofisticação. Medidas como a média ou mediana, acompanhadas dos seus respectivos índices de dispersão são suficientes para sintetizar os eventos (ALVES, 2004).

O processo de vigilância em saúde pública é, também, um processo contínuo no tempo, com objetivo de monitorar algumas características relacionadas à ocorrência de doenças. Exemplificando têm-se as taxas médias de incidência, ou número médio de novos casos. Se esses valores se mantêm dentro de um intervalo de variação pré-fixado, a condição de saúde da população monitorada, em relação a essas doenças, é considerada sob controle estatístico, ou seja, estável. Propõe-se detectar possíveis alterações bruscas nos valores dessas médias e, quando detectadas, decidir se as mesmas ocorrem devido ao acaso ou não, nesse último caso, dando elementos para uma possível intervenção (SANCHES, 2000; ALVES, 2004).

No processo “de produção” de doenças, parte-se do pressuposto que ao se utilizar um gráfico de controle, pretende-se também utilizar um limite de alerta. Diferentemente do processo produtivo, não se pode voltar e corrigir o processo de produção da doença. Assim, nestas situações, tomam-se medidas preventivas da ocorrência de novos casos. Estas medidas são tomadas a partir do conhecimento prévio sobre a doença e da identificação de ligações frágeis na sua cadeia transmissiva. Como exemplo de medidas, estão os programas de vacinação (ALVES, 2004).

Além das alterações bruscas, é recomendável, para fins de estudo, também avaliar mudanças gradativas e persistentes, que possam evoluir para uma situação de um processo fora de controle estatístico. Assim, outros procedimentos estatísticos aplicados à análise de dados de vigilância em saúde pública têm sido citados na literatura (SANCHES, 2000) dentre eles o gráfico de controle de somas acumuladas CUSUM (ALVES, 2004). O gráfico CUSUM algumas vezes detecta condições fora de controle mais precocemente do que o gráfico de controle de Shewhart (FRISÉN, 1992).

No gráfico de controle CUSUM, pelas suas características, as probabilidades têm relação com o período imediatamente anterior, ou seja, por exemplo, janeiro depende do dezembro anterior. É uma forma diferente de se olhar a doença. Para algumas doenças essa primeira afirmativa é verdadeira, como para as doenças com sazonalidade marcante. Consiste na idéia da estabilidade do incremento, sendo assim, mais sensível à ocorrência de mudanças no comportamento da doença (SANCHES, 2000; ALVES, 2004).

Sanches (2000) apresenta o CUSUM aplicado ao número de ocorrências semanais de casos de meningite meningocócica nos anos de 1992 e 1994, na cidade do Rio de Janeiro. O objetivo era estudar o comportamento do número de casos semanais em 1994, tomando como referência a média aritmética e o desvio-padrão (σ) da distribuição de casos no ano de 1992. Para a construção do CUSUM, o autor fixa um $ARL_0=1000$, que implica que o valor esperado de uma situação fora de controle deverá ocorrer uma vez a cada mil semanas, ou seja, aproximadamente a cada 19,2 anos, sendo segundo o próprio autor, “uma exigência bastante forte”.

No CUSUM, as somas acumuladas são calculadas e impõem uma interrupção no processo sempre que ultrapassam um determinado valor, sendo o processo reinicializado. No estudo calculam-se essas somas sem interrupção do processo, demonstrando como ele se deteriora rapidamente, se ações corretivas não forem tomadas após esse alarme.

Sanches (2000) ainda destaca que no seu trabalho, “os parâmetros escolhidos foram por razões meramente estatísticas” e ressalta que “deveriam estar adequados às características e à história natural da doença”. Essa é uma dificuldade presente na vigilância de doenças.

Assim a ausência de um padrão da sua ocorrência poderia levar a afirmativas equivocadas. Para a construção desses métodos, entende-se que o ideal seria a construção de um modelo para cada doença especificamente.

Frisén (1992) aborda a possibilidade de diferentes riscos de falsos julgamentos envolvidos em procedimentos de alarme nos métodos de controle utilizados na vigilância em saúde pública. Afirma ainda que após a escolha do método, é importante saber todos os detalhes que são esperados. Além disso, é importante saber como interpretar os procedimentos de alarme do modelo.

Neste sentido, em seguida, são abordados os gráficos de controle aplicados neste estudo. Inicialmente é apresentada uma visão geral de um gráfico de controle e depois são descritos os gráficos com suas especificidades.

3. Visão geral de um gráfico de controle

O CEP possibilita monitorar as características de qualidade de interesse, assegurando sua manutenção dentro de limites preestabelecidos e indicando quando adotar ações corretivas para a melhoria. O CEP é operacionalizado através de gráficos de controle, com objetivo de acompanhar o desempenho de um processo a partir da definição de uma faixa de controle aceitável. Mas, um gráfico de controle pode também ser utilizado para analisar tendências e padrões que acontecem ao longo do tempo. Até pouco tempo, os gráficos de controle eram aplicados quase que exclusivamente para o monitoramento de processos industriais. Mas, cada vez mais, sua aplicação está sendo estendida para outras áreas (SAMOHYL, 2009).

Um gráfico de controle é composto por uma linha central (LC) que representa o valor médio da característica da qualidade correspondente à situação do processo sob controle e um par de limites de controle: um deles localizado abaixo da linha central denominado limite inferior de controle (LIC) e, outro situado acima da linha central, denominado limite superior de controle (LSC). Convencionalmente, ambos os limites ficam a uma distância de três erros-padrão da média ou alvo do processo ($\mu \pm 3\sigma$) (SAMOHYL, 2009).

O desenvolvimento de um gráfico de controle é separado em duas fases. A primeira, denominada de Fase 1, consiste em obter-se uma amostra representativa dos dados com o

objetivo de determinar os limites de controle, sendo em geral um estudo retrospectivo. Esta fase, que corresponde à estimação de parâmetros do processo, só deve ser encerrada quando se tem a certeza que o processo encontra-se estável e ajustado. Na Fase 2, as informações obtidas na Fase 1 são utilizadas no desenvolvimento de gráficos de controle para testar se o processo permanece sob controle quando as observações futuras são monitoradas (SMETI *et al.*, 2007; PEDRINI, 2009; COSTA; EPPRECHT, CARPINETTI, 2005).

Os gráficos de controle podem ser classificados em gráficos para variáveis ou para atributos. Os gráficos de controle para atributos se referem às características de qualidade que correspondem a contagens ou classificações, enquanto que os gráficos de controle para variáveis baseiam-se na medida das características de qualidade em uma escala contínua.

A eficácia de um gráfico de controle é medida pela rapidez com que este dispositivo detecta alterações no processo. Uma das medidas de desempenho estatístico de um gráfico de controle é o *Average Run Length* (ARL) que corresponde ao valor esperado de amostras até a sinalização de uma mudança. Para um bom gráfico, espera-se que tenha um valor alto para o ARL sob controle (ARL_0), ou seja, a probabilidade de emissão de um alarme falso, e que sinalize rapidamente quando uma mudança realmente ocorreu.

A aplicação dos gráficos de controle clássicos (para variáveis mensuráveis) supõe que os dados da característica da qualidade do processo sejam independentes e normalmente distribuídos. Se estas suposições não forem satisfeitas, o desempenho do gráfico de controle pode ser insuficiente, o que pode gerar um elevado número de alarmes falsos. A suposição mais importante relativa aos gráficos de controle é a independência das observações de um processo produtivo. Se a suposição de normalidade for violada num grau moderado, os gráficos de controle ainda funcionam razoavelmente, o que não acontece com a suposição de independência (MONTGOMERY, 2008).

3.1 Gráficos de Controle de Shewhart para Medidas Individuais ou Gráfico X

Os gráficos de controle utilizados para amostras de tamanho $n = 1$ são denominados gráficos para medidas individuais. Isso acontece geralmente quando não é possível obter amostras de tamanho maior que um (1), como em determinados processos químicos, por

exemplo. Para o desenvolvimento deste gráfico, a variabilidade é estimada a partir da amplitude móvel MR de duas observações sucessivas (VIEIRA, 1999). O cálculo do LSC, LC e LIC do gráfico de controle para valores individuais é representado pelas Equações 1, 2 e 3 respectivamente:

$$LSC = \bar{X} + \left(3 \frac{\overline{MR}}{d_2}\right) = \bar{X} + E_2 \overline{MR}; \quad (1)$$

$$LC = \bar{X}; \quad (2)$$

$$LIC = \bar{X} - \left(3 \frac{\overline{MR}}{d_2}\right) = \bar{X} - E_2 \overline{MR}, \quad (3)$$

em que $\overline{MR} = (1/m) \sum_{i=1}^m \overline{MR}_i$; $\overline{MR}_i = |x_i - x_{i-1}|$ para $i = 1, 2, \dots, n$ e $E_2 = 3/d_2$ é uma constante tabelada que depende do valor de m , o número de amostras. Usualmente o gráfico \bar{X} é acompanhado por um gráfico de Amplitudes Móveis MR, para monitorar a variabilidade. Todavia, alguns autores não o consideram efetivo (SMETI *et al.*, 2007), portanto optou-se por não aplicá-lo neste trabalho.

3.1.1 Regras sensibilizantes ou suplementares

Os gráficos de Shewhart são amplamente utilizados devido à sua simplicidade. No entanto, estes gráficos não têm memória, sendo pouco efetivos para a detecção de mudanças mais moderadas. As regras suplementares (ou sensibilizantes), aplicadas aos gráficos de Shewhart, procuram suplantar esta dificuldade, todavia reduzem a simplicidade e facilidade de utilização. Estas regras foram desenvolvidas com o propósito de acelerar a detecção de alterações no processo. Muitas delas tentam formalizar a percepção de que algo, no processo, possa estar fora de ordem (ROCHA, 2004; COSTA, EPPRECHT; CARPINETTI, 2004).

Algumas regras sensibilizantes para os gráficos de controle de Shewhart são listadas a seguir. As quatro primeiras são conhecidas como regras da *Western Electric*, pois foram sugeridas no *Western Electric Handbook*. A primeira regra listada corresponde ao sinal de ação padrão, não sendo uma regra sensibilizante (MONTGOMERY, 2008).

Deste modo, um processo é considerado fora de controle estatístico se um ou mais dos critérios abaixo forem verificados:

- i. um ou mais pontos fora do limite de controle;
- ii. dois ou três pontos consecutivos fora dos limites de alerta de dois σ ;
- iii. quatro ou cinco pontos consecutivos além dos limites de um σ ;
- iv. uma sequência de oito pontos consecutivos de um mesmo lado da linha central;
- v. seis pontos em uma sequência sempre crescente ou decrescente;
- vi. quinze pontos em sequência na zona C (um σ), tanto acima como abaixo da linha central;
- vii. quatorze pontos em uma sequência alternadamente para cima e para baixo;
- viii. oito pontos em uma sequência de ambos os lados da linha central com nenhum na zona C (um σ);
- ix. um padrão não usual ou não aleatório dos dados;
- x. um ou mais pontos perto de um limite de controle.

Todavia, é importante ressaltar que, a incorporação dessas regras implica no aumento do risco α , ou seja, pode haver um aumento no número de alarmes falsos.

3.2 Gráfico de controle tipo Shewhart modificado

O gráfico de controle do tipo Shewhart desenvolvido por Arantes *et al.* (2003), é baseado na suposição de que os dados tenham aderência à distribuição normal, o que pode não ser válido para processos de contagens. Especificamente para situações como a que se estuda a distribuição de Poisson ou binomial pode representar a distribuição exata da variável de interesse (GOMES; MINGOTTI; OLIVEIRA, 2011). Neste sentido, Arantes *et al.* (2003) propuseram uma modificação no gráfico de Shewhart, baseada na aproximação a uma distribuição de Poisson para a distribuição normal. Este gráfico apresenta uma linha central (LC), dois limites de controle e dois limites de alerta, sumarizados pelas Equações 4, 5, 6,7 e 8.

$$\text{Linha Central} \quad LC = \bar{x} \quad (4)$$

$$\text{Limite de Alerta Inferior} \quad LAI = \bar{x} - 2s \quad (5)$$

$$\text{Limite de Alerta Superior} \quad LAS = \bar{x} + 2s \quad (6)$$

$$\text{Limite de Controle Inferior} \quad LCI = \bar{x} - 3s \quad (7)$$

$$\text{Limite de Controle Superior} \quad LCS = \bar{x} + 3s \quad (8)$$

onde $s = \sqrt{\bar{x}}$ corresponde à estimativa do desvio padrão da variável, aqui aproximada pela distribuição de Poisson, onde a média e a variância se equivalem (GOMES; MINGOTTI, OLIVEIRA, 2011; ARANTES *et al.*, 2003). A estabilidade estatística das taxas analisadas é verificada por meio da ausência dos seguintes critérios (ARANTES *et al.*, 2003):

- i. amostras acima do LCS ou abaixo do LCI ;
- ii. duas ou três amostras consecutivas estão do mesmo lado da linha central, entre os limites de alerta e de controle;
- iii. nove observações do mesmo lado da LC ;
- iv. seis amostras apresentam aumentos ou decréscimos;
- v. quatorze amostras consecutivas se alternaram acima e abaixo da LC ;
- vi. quinze taxas consecutivas ficaram abaixo da LC .

A presença de qualquer um desses critérios indica a necessidade de investigar e reavaliar a vigilância epidemiológica, uma vez que o modo de distribuição das taxas de infecções descritas em cada critério teria pequena probabilidade de ocorrer ao acaso. Verifica-se que Arantes *et al.* (2003) consideram algumas das regras sensibilizantes, uma vez que do ponto de vista epidemiológico é importante detectar precocemente alguns comportamentos na série de dados. Destaca-se aqui a necessidade de identificar rapidamente uma tendência de aumento nos casos.

3.3 Gráficos de Controle de Soma Acumulada (CUSUM)

Os gráficos de Shewhart, para variáveis e atributos, alcançaram sucesso devido a sua simplicidade, onde a facilidade da regra de decisão se baseia apenas no exame do último ponto analisado: estando ele além dos limites de controle do gráfico, deve-se intervir no processo. Esta é também uma grande desvantagem, pois ignora qualquer informação passada dada pela sequência anterior de pontos. Isto torna o gráfico de Shewhart relativamente

insensível a pequenas mudanças no processo (MONTGOMERY, 2008). Como alternativa, tem-se o gráfico de controle das Somas Acumuladas (CUSUM) e o gráfico de controle da Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA), que são indicados para o monitoramento de processos sujeitos a pequenas e persistentes alterações.

O gráfico de controle CUSUM é considerado uma ferramenta indicada quando há interesse na detecção de pequenas e persistentes mudanças (MONTGOMERY, 2008). Este gráfico incorpora diretamente toda a sequência de informações demarcando as somas acumuladas dos desvios em relação ao valor-alvo ou valor nominal. Supondo que amostras de tamanho n são coletadas, \bar{x}_i é a média de j -ésima amostra, e μ é o valor desejado para a média do processo, a estatística CUSUM é formada demarcando a quantidade da Equação (9) junto à amostra i ,

$$C_i = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_o) = C_{i-1} + (\bar{x}_i - \mu_o) \quad (9)$$

onde C_i é a soma acumulada incluindo a j -ésima amostra, pois combina informações de diversas amostras. Se o processo permanece sob controle para o valor desejado μ_0 , as somas acumuladas definidas em (4) descrevem um passeio aleatório com média zero. Porém, se a média muda para algum valor acima, $\mu_1 > \mu_0$, então a tendência ascendente se desenvolverá na soma acumulada C_i . Reciprocamente, se a média muda para algum valor abaixo, $\mu_1 < \mu_0$, a soma acumulada C_i terá uma direção negativa. Por esta razão, se nos pontos demarcados aparecer uma tendência para cima ou para baixo, deve-se considerar isto como uma evidência de que a média do processo mudou e uma busca de causas assinaláveis deve ser realizada.

O procedimento CUSUM tem a propriedade de armazenar os valores das somas unilaterais acumuladas do processo analisado. A tomada de decisão, seguindo um sinal fora de controle em gráficos CUSUM é idêntica a qualquer procedimento dos gráfico de controle do tipo Shewhart. Os gráficos CUSUM são particularmente úteis em determinar quando uma causa assinalável ocorreu, voltando para trás no tempo e contando os períodos fora de controle desde o momento em que o processo sofreu uma modificação.

Assim, em um gráfico CUSUM padronizado para medidas individuais, as estatísticas C_i^+ e C_i^- são denominadas CUSUM superior e CUSUM inferior unilaterais, conforme Equações (10) e (11), com os valores iniciais $C_0^+ = C_0^- = 0$.

$$C_i^+ = \text{máx}[0, y_i - k + C_{i-1}^+]; \quad (10)$$

$$C_i^- = \text{máx}[0, -k - y_i + C_{i-1}^-], \quad (11)$$

onde $y_i = \frac{(X_i - \mu_0)}{\sigma}$; com X_i a j -ésima amostra (observação) do processo. Quando este está sob controle, X_i tem uma distribuição normal com média μ_0 e desvio padrão σ . Se um destes coeficientes excede o limite de controle H , o processo é considerado fora de controle. Nas Equações (10) e (11), k é denominado de valor de referência. Em geral, se recomenda que os parâmetros H e K sejam escolhidos de modo a fornecer bom desempenho do gráfico CUSUM, sendo que o valor razoável para H é cinco vezes o desvio padrão σ do processo.

Segundo a literatura, o gráfico CUSUM tem bom desempenho para o estudo de observações individuais. Como este gráfico é desenvolvido para observações independentes e cada valor da soma acumulada depende do valor da soma anterior, isto permite detectar sequências de períodos fora de controle. No acompanhamento de uma sequência do processo, o gráfico mostra exatamente onde saiu e quando voltou ao controle (GOMES; OLIVEIRA; MINGOTI, 2011).

3.4 Gráficos de Controle de Média Móvel Exponencialmente Ponderada (EWMA)

O desempenho do gráfico de Média Móvel Exponencialmente Ponderada (EWMA) é muito semelhante ao CUSUM e é também recomendado para observações individuais. Uma das principais diferenças entre o EWMA e o CUSUM, é que o primeiro é mais fácil de estabelecer e operar e outra é que o EWMA estabelece "peso" maior para informações mais atualizadas e peso menor para informações mais antigas (MONTGOMERY, 2008). Assim, o gráfico de controle EWMA é desenvolvido pela plotagem de z_i versus o número de amostras i (ou tempo), definido por:

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda) Z_{i-1}, \quad (12)$$

onde X_i é o valor observado mais recentemente, λ é o parâmetro que pondera a combinação, $0 < \lambda < 1$. Quanto menor for o λ mais fácil será para detectar pequenas mudanças no processo, usualmente é utilizado $\lambda = 0,05$, $\lambda = 0,1$ ou $\lambda = 0,2$. O valor inicial é o valor alvo do processo com $Z_0 = \mu_0$. Supondo que as observações x_i são variáveis aleatórias independentes com variância σ^2 , então a variância de z_i é dada por:

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \quad (13)$$

Para o cálculo do limites de controle são usadas as seguintes equações:

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i})}; \quad (14)$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i})}; \quad (15)$$

$$LC = \mu_0, \quad (16)$$

onde L é a amplitude dos limites de controle. Para o parâmetro L é frequente ser usado como igual a três (os limites 3σ) usuais (MONTGOMERY, 2008).

4. Procedimentos Metodológicos

A série de dados estudada corresponde aos dados mensais de notificação de ocorrências de meningite no município de Joinville no período de 2008 a 2011. Esses foram obtidos a partir de consulta ao *site* do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). O SINAN é um órgão nacional que tem como principal objetivo coletar, transmitir e disseminar os dados de agravos de notificação recolhidos rotineiramente pelo Sistema de Vigilância Epidemiológica das três esferas de governo: municipal, estadual e federal. O SINAN trabalha com uma rede informatizada, para ajudar o processo de investigação e fornecer os dados para análise das informações de vigilância epidemiológica das doenças de notificação compulsória. Seus dados podem ser utilizados como principal fonte de informação sobre a história natural de um agravo e para estimar sua magnitude como problema de saúde

na população (LEIMANN; KOIFMA, 2009).

Os dados analisados estão na Tabela 1, e correspondem aos casos de meningite de forma geral, não sendo especificadas em virais ou bacterianas.

Tabela 1. Dados de notificações de meningite no município de Joinville

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2008	11	14	11	16	16	12	12	12	18	16	16	9
2009	9	9	13	8	8	8	7	7	9	9	8	7
2010	9	9	11	9	16	8	14	22	19	14	24	16
2011	8	3	14	18	7	15	13	15	21	36	14	2

Fonte: SINAN (2012)

Na fase 1 são utilizados os dados entre janeiro de 2008 e abril de 2009. Para avaliar a fase 2, de monitoramento se utilizou as demais observações. O ARL_0 adotado foi de 370, o que significa que é esperado um alarme falso a cada 370 amostras. Para a aplicação dos gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais, CUSUM e EWMA, foi necessária a verificação da normalidade dos dados, realizada a partir de um gráfico de probabilidade normal e do teste Shapiro Wilk. A ausência de autocorrelação é verificada por meio dos gráficos das funções de autocorrelação amostral (FAC) e de autocorrelação parcial (FACP).

O tratamento estatístico dos dados foi realizado com auxílio do *software* R (R CORE DEVELOPMENT TEAM, 2011) e o pacote qcc (SCRUCCA, 2004).

5. Análise e Discussão dos Resultados

A Figura 1 apresenta a série temporal de casos notificados. Visualmente há impressão de uma leve redução nos casos em 2009, e aumento significativo no número de casos a partir de 2010, fato que se repetiu também em 2011. Os dados não apresentam autocorrelação significativa, conforme pode ser visualizado na Figura 2. E, de acordo com o gráfico de probabilidade normal (Figura 3) e o resultado do teste Shapiro Wilk (p -valor = 0,2475), os dados podem ser considerados normalmente distribuídos. Deste modo os gráficos de controle de Shewhart CUSUM e EWMA podem ser aplicados aos dados observados.

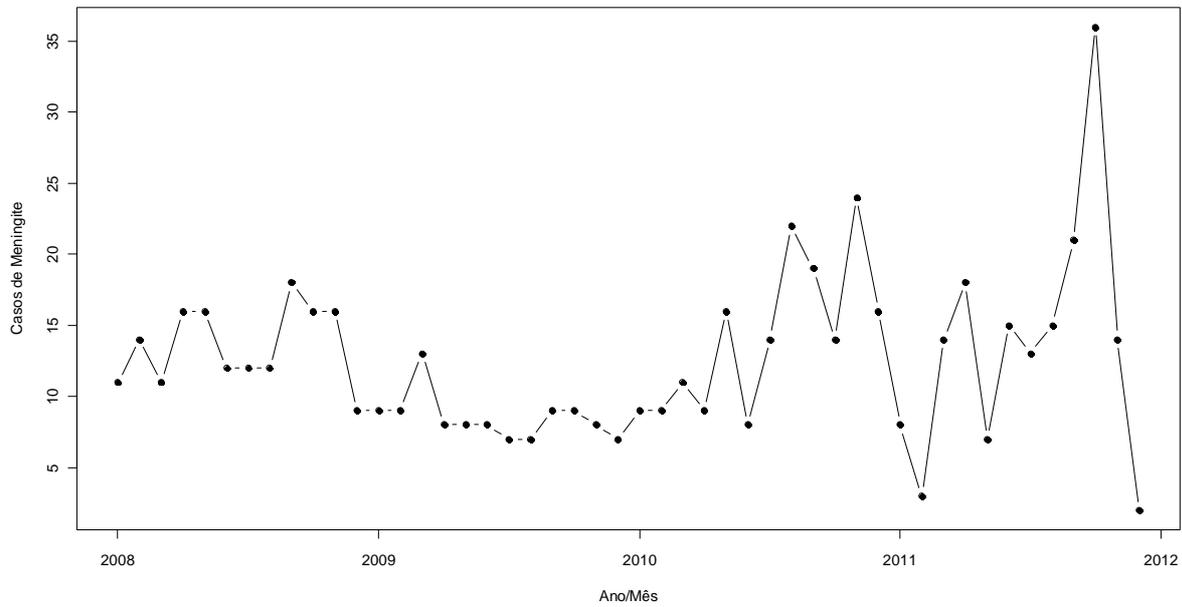


Figura 1. Notificações mensais de Meningite em Joinville no período de janeiro de 2008 a dezembro de 2011
Fonte: Autoria própria (2012)

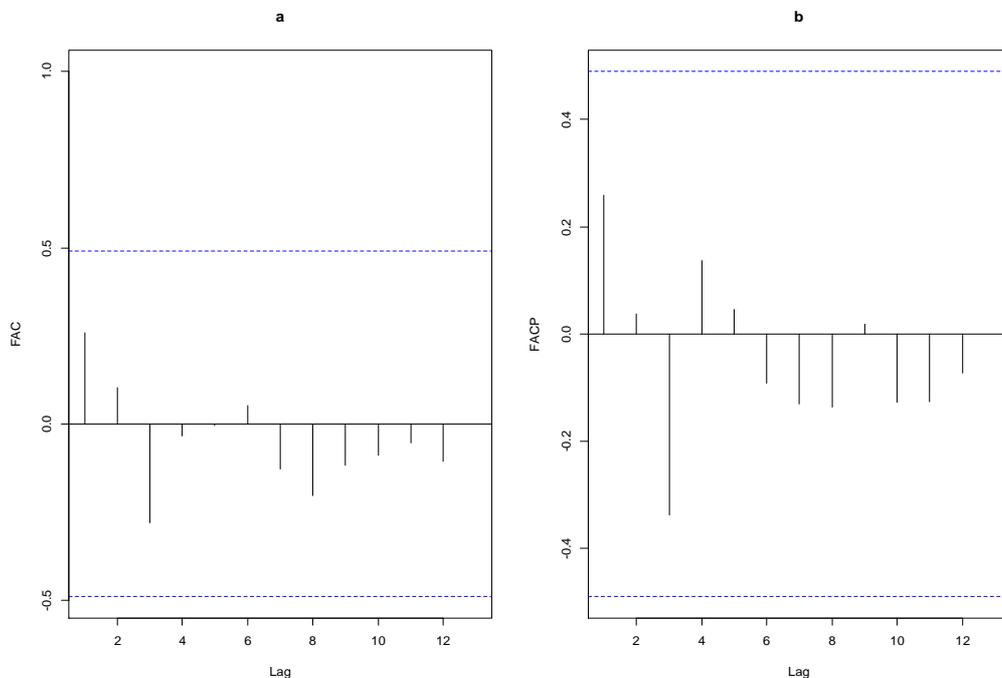


Figura 2. Gráfico da função de autocorrelação amostral (a) e função de autocorrelação amostral parcial (b)
Fonte: Autoria própria (2012)

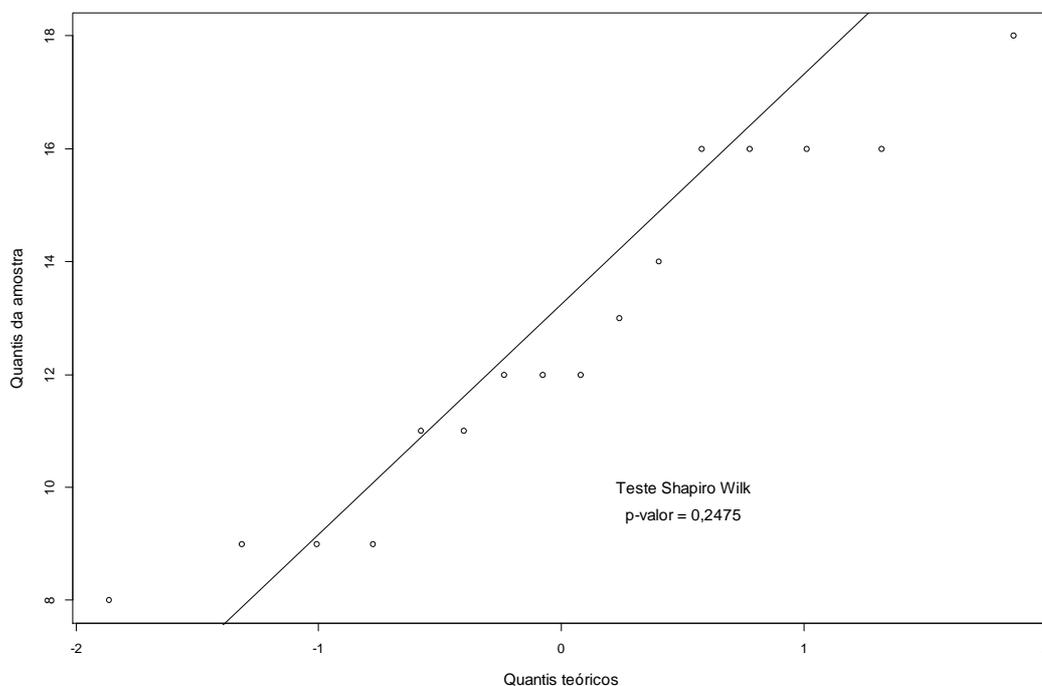


Figura 3. Gráfico de probabilidade normal para os dados da Fase 1.
Fonte: Autoria própria (2012)

O gráfico de Shewhart para medidas individuais é apresentado na Figura 4, onde se pode visualizar que o processo pode ser considerado sob controle estatístico. Assim, os limites calculados ($LSC = 19,53989$; $LIC = 5,710106$) podem ser aplicados no monitoramento.

O gráfico proposto por Arantes *et al.* (2003) está na Figura 5. Neste gráfico também pode ser visualizado que o processo pode ser considerado estável. Os limites calculados são $LAI = 5,518665$; $LAS = 19,73134$; $LSC = 23,2845$ e $LIC = 1,965497$.

A Figura 6, ilustra um gráfico CUSUM para os dados de meningite correspondentes a fase 1. Nesse gráfico o valor de $k = 0,5$, corresponde a uma mudança de cerca de um desvio padrão na média do processo e $h = 4,77$, a um ARL_0 aproximado de 370. Este mesmo gráfico (Figura 3) os dados também estão sob controle estatístico. Foi também desenvolvido um gráfico EWMA com $L = 3,0$ e $ARL_0 \approx 370$. Apesar do gráfico de controle EWMA da fase 1 não ter sido apresentado neste trabalho, este ratifica os resultados dos demais gráficos.

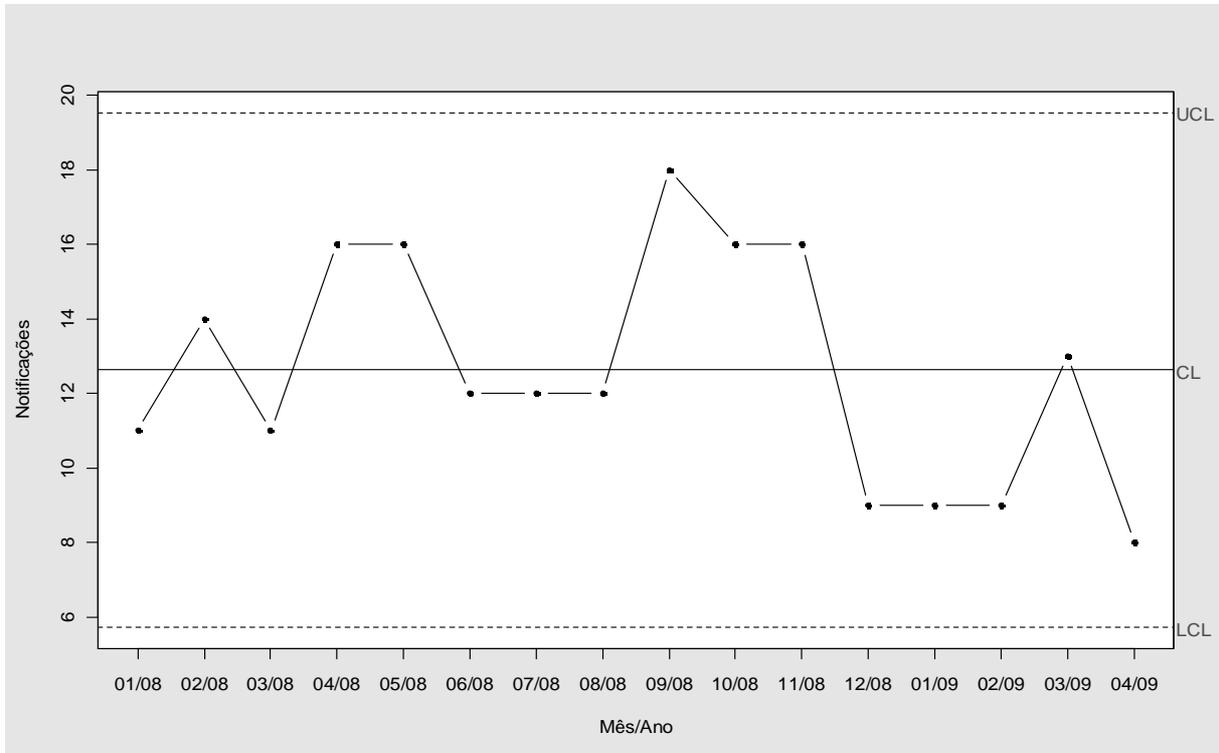


Figura 4. Gráficos de Controle X de Shewhart para os dados de notificação de meningite (Fase 1)
Fonte: Autoria própria (2012)

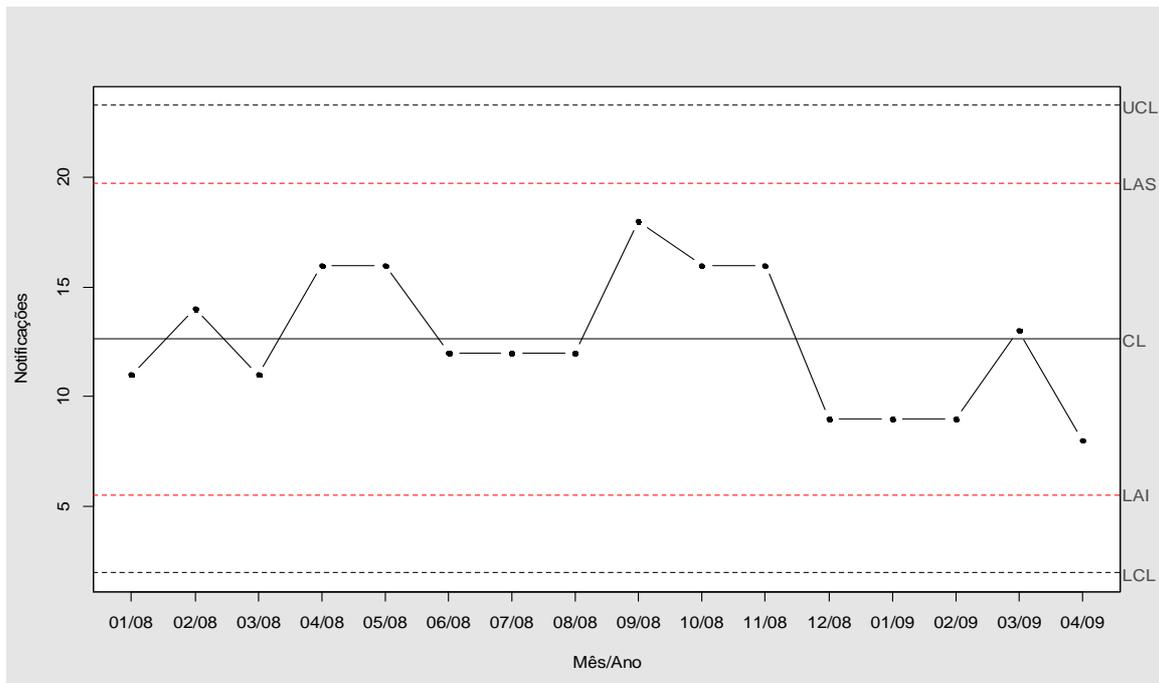


Figura 5. Gráfico de controle proposto por Arantes *et al.* (2003) - dados de notificação de meningite (Fase 1)
Fonte: Autoria própria (2012)

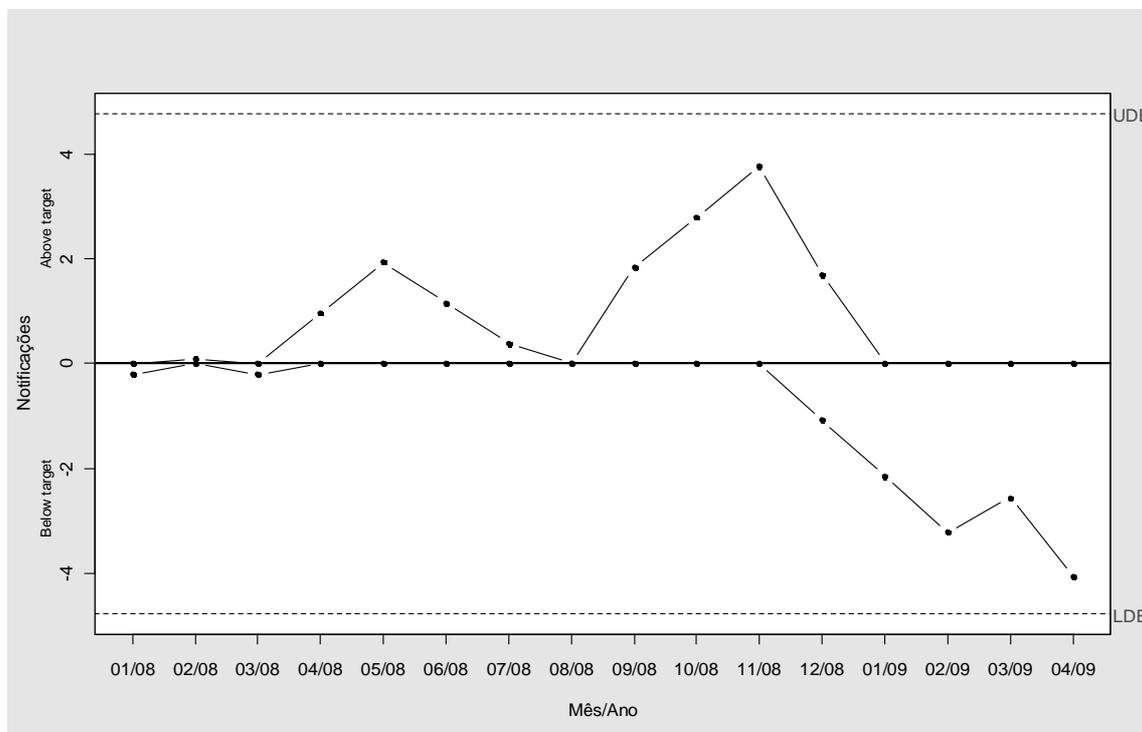


Figura 6. Gráfico de controle CUSUM para os dados de notificação de meningite (Fase 1)
Fonte: Autoria própria (2012)

Para a fase 2 (monitoramento) são utilizados os demais dados da Tabela 1. Na Figura 7, está o gráfico de Shewhart para medidas individuais. Para melhor compreensão os dados correspondentes às duas fases estão presentes. A análise realizada focalizando principalmente um aumento de número de casos significa que é mais preocupante em termos de saúde pública.

Pode-se observar, no gráfico (Figura 7) que este sinaliza uma situação fora de controle estatístico no mês de agosto de 2010, voltando a ultrapassar o limite superior em novembro do mesmo ano. Já em 2011 houve queda no início do ano, e o maior número de casos ocorreu nos meses de setembro e outubro. Os pontos na cor laranja correspondem às regras sensibilizantes (ou suplementares) que complementam este gráfico, dando informações sobre alguns padrões que possam indicar que algo esteja ocorrendo. Apesar de estas regras não serem consideradas nesta análise em virtude de aumentar o número de alarmes falsos, estas não dão informações sobre uma eventual tendência de aumento de casos, sugerida pelo gráfico da série temporal.

De acordo com documento emitido pela Diretoria de Vigilância Epidemiológica (DIVE, 2012) da Secretaria de Estado da Saúde do Estado de Santa Catarina a macrorregião Nordeste (que comporta o município de Joinville) atingiu em 2010 a maior incidência da doença, comparada aos anos anteriores, o que colocou esta região em destaque pela alta frequência deste agravo nos últimos anos.

O gráfico Shewhart modificado por Arantes *et al.* (2003), pode ser visualizado na Figura 8 tem um ponto entre os limites de alerta e controle. Indica assim, algum problema já em setembro de 2010.

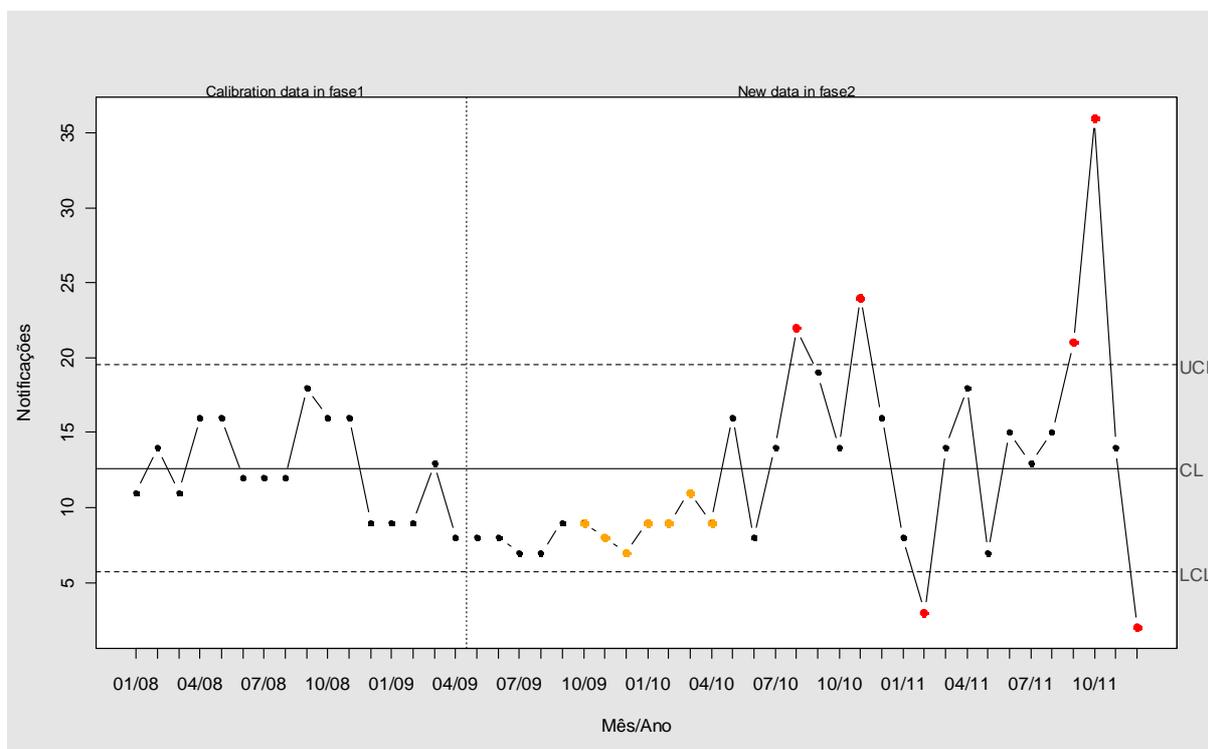


Figura 7. Gráfico de controle X de Shewhart para os dados de notificação de meningite (Fase 1 e Fase 2)
Fonte: Autoria própria (2012)

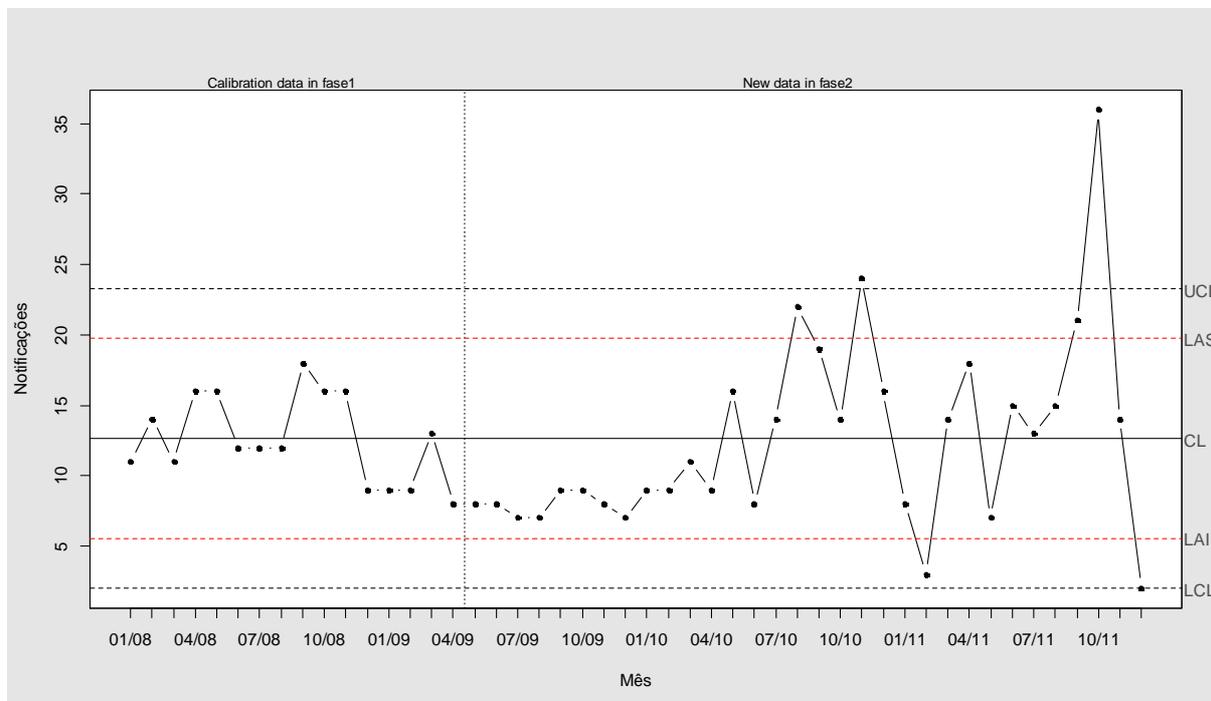


Figura 8. Gráfico proposto por Arantes *et al.* (2003) para os dados de notificação de meningite (Fase 1 e Fase 2)
Fonte: Autoria própria (2012)

A Figura 9 ilustra um gráfico CUSUM bilateral. Este retorna a informação de que houve uma redução nos casos a partir de agosto de 2009.

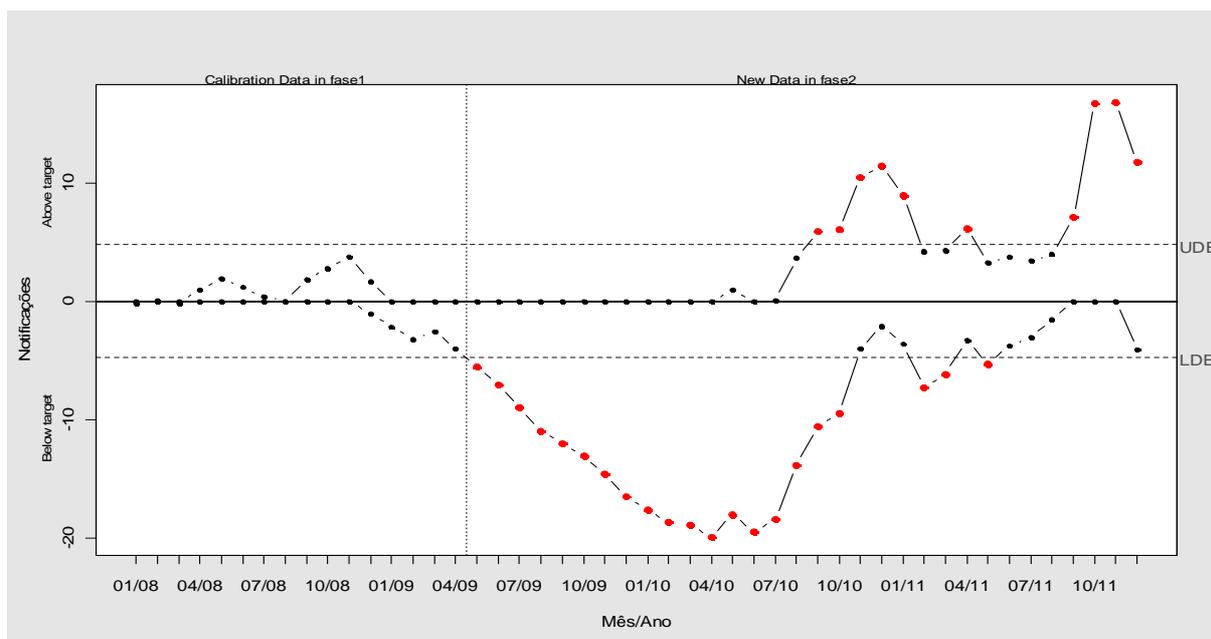


Figura 9. Gráfico de controle CUSUM para os dados de notificação de meningite (Fase 1 e Fase 2)
Fonte: Autoria própria (2012)

Como se pode observar o gráfico CUSUM já relacionado a um possível aumento de casos, sinaliza uma situação fora de controle estatístico em agosto de 2010, não retornando a condição de controle neste mesmo ano. Em 2011, o aumento do número de casos de notificações concentra-se principalmente no segundo semestre, apresentando tendência de crescimento e uma possível queda moderada para o início de 2012. Há, portanto evidências, de que o número de casos notificados de meningite aumentou a partir do segundo semestre de 2010 e 2011.

O gráfico EWMA da Figura 10 sinaliza um pouco mais tarde, na amostra de número 35 (novembro de 2010). A mesma constatação obtida pela análise do gráfico de controle Shewhart, que permite ainda acompanhar a tendência de aumento ao longo de 2010. Além disso, na Figura 10 pode ser visualizada a fase 1 do gráfico EWMA. Ressalta-se que a redução do número de casos notificados em 2009, assim como no gráfico CUSUM também é evidente no gráfico EWMA. Em 2011, além do aumento do número de casos em novembro, como ocorreu em 2010, também se verifica que no mês de outubro as notificações dos casos de meningite apresentaram-se fora de controle estatístico.

Assim, conclui-se que todos os gráficos apontam para algum problema ao final de 2010 e 2011. Em termos de desempenho, para as situações de projeto, o gráfico de Shewhart modificado, foi o que sinalizou primeiro. No entanto, não apresentou qualquer indicativo de tendência crescente, comportamento que foi sinalizado pelos gráficos CUSUM e EWMA, a partir desse mesmo período de análise.

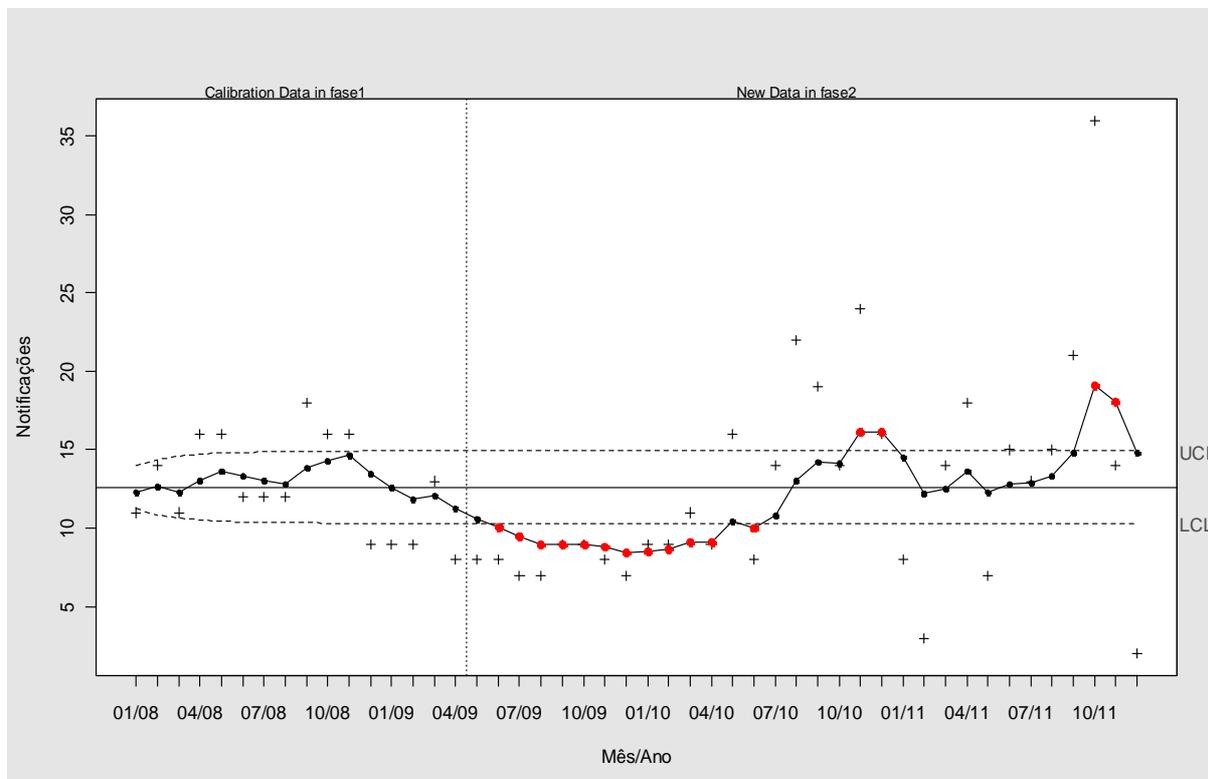


Figura 10. Gráfico de Controle EWMA para os dados de notificação de meningite (Fase 1 e Fase 2)
Fonte: Autoria própria (2012)

6. Conclusões e considerações finais

Este trabalho teve como objetivo principal investigar e analisar o desempenho dos gráficos de controle para medidas individuais, Shewhart X , CUSUM, EWMA e CUSUM no monitoramento das notificações dos casos de meningite no município de Joinville, no estado de Santa Catarina. Cada um desses gráficos tem suas especificidades. Os gráficos EWMA e CUSUM possuem procedimentos alternativos mais apropriados que os tradicionais gráficos de Shewhart para detectar pequenas alterações, enquanto os gráficos de Shewhart são mais apropriados para detectar grandes mudanças na média do processo. Dependendo da magnitude de mudança qualquer um desses gráficos pode ser uma opção para monitorar dados desta natureza, possibilitando assim auxiliar no direcionamento no planejamento e execução de ações na saúde pública. É importante salientar ainda, que a implementação de qualquer gráfico de controle que se considere, pressupõe uma escolha adequada para aplicação dessa ferramenta, uma vez que a sua eficiência depende em parte desta escolha.

De acordo com a análise deste trabalho, cabe dar prosseguimento ao monitoramento para verificar se esta tendência de elevação do número de notificações no final dos próximos anos se manterá e investigar quais os motivos quem realmente tem levado a este aumento. Como plano de ação, inicialmente sugere-se campanhas como propagandas veiculadas por meios de comunicação para incentivar a população e verificar se a meta de vacinação contra meningite estipulada está sendo alcançada.

Algumas recomendações podem ser deixadas para a continuidade desse trabalho. O planejamento dos gráficos CUSUM neste trabalho envolveu a utilização de parâmetros comumente sugeridos pela literatura. O valor de $ARL_0 = 370$, padrão em diversos estudos, é questionado por Gorr e McKay (2004). Assim, seria adequado investigar valores para os parâmetros dos gráficos (Shewhart, CUSUM e EWMA) específicos para o processo analisado, ou seja, valores de ARL_0 , k , h e λ , utilizados para tratar especificamente do problema de notificação dos casos de meningite. Recomenda-se inclusive a análise da curva *Receiver Operating Characteristic* (ROC), pois permite auxiliar a avaliar o problema em termos da probabilidade de detecção, ou taxa de verdadeiros positivos, e na probabilidade de falsos alarmes, ou taxa de falsos positivos.

Outra opção, em termos de gráfico, é investigar a aplicação de um CUSUM e EWMA para dados com distribuição de Poisson. Além disso, gráficos combinados Shewhart-CUSUM ou Shewhart-EWMA também são opções a serem investigadas, uma vez que permites sinalizar alterações de magnitudes diversas.

Referências

- ALVES, R. G. **Utilidade do Diagrama de Controle de Doenças na Previsão e Controle de Epidemias**. 2004. 116f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) - Faculdade de Medicina e Núcleo de Estudos de Saúde Coletiva / Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- ARANTES, A.; CARVALHO, E. S.; MEDEIROS, E. A. S.; FARHAT, C. K. MANTESE, O. C. Uso de diagramas de controle na vigilância epidemiológica das infecções hospitalares. **Revista de Saúde Pública**, v.37, n. 6, p. 768-774, 2003.
- BRAZ, R. M.; ANDREOZZI, V. L.; KALE, P. L. Detecção precoce de epidemias de malária no Brasil: uma proposta de automação. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 15, n. 2, p. 21-33, 2006.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. São Paulo: Atlas, 2005.

DIVE - Diretoria de Vigilância Epidemiológica, Estado de Santa Catarina, Secretaria de Estado da Saúde, Superintendência de Vigilância em Saúde. Meningites. Disponível em: http://www.dive.sc.gov.br/conteudos/imunizacao/Downloads/Informes_Tecnicos/Meningites_em_Geral_e_Doenca_Meningococica.pdf. Acesso em: 15 jan. 2012.

FIGUEIRA, P. A. *et al.* Notificação do Número de Casos de Hepatite no Estado do Pará via Gráficos de Controle. In: 56a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria e 14o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica, Maringá, Brasil, 2011. **Anais...** Maringá, 2011.

FRISÉN, M. Evaluations of methods for statistical surveillance. **Statistics in Medicine**, v.11, n. 11, p.1489 – 1502, 1992.

GOMES, I. C.; OLIVEIRA, C. L.; MINGOTI, S. A. A novel experience in the use of control charts for the detection of nosocomial infection outbreaks. **Clinics**, v. 66, n. 10, p.1681-1689, 2011.

GORR, W. L.; MCKAY, S. A. **Application of Tracking Signals to Detect Time Series Pattern Changes in Crime Mapping Systems**, In: Geographic Information Systems and Crime Analysis, edited by F. Wang. Hershey, PA: Idea Group Publishing, 2004. Disponível em: <http://www.heinz.cmu.edu/research/134full.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2012.

LEIMANN, B. C. Q.; KOIFMAN, R. J. Sistemas de informação oficiais de meningite criptocócica, Estado do Rio de Janeiro. **Revista de Saúde Pública**, v. 43, n. 4, p. 717-720, 2009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Portaria nº 104, de 25 de janeiro de 2011. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt0104_25_01_2011.html. Acesso em: 28 fev. 2012.

MOHAMMED, M. A. Using statistical process control to improve the quality of health care. **Qual Saf Health Care**. n.13, p. 243-245, 2004.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6th ed. John Wiley & Sons Inc., Hoboken: New Jersey, 2008.

MORAES, R. M. Análise da Distribuição Espacial de Endemias a partir de Ferramentas de CEQ. In: XI Safety, Health and Environment World Congress. Santos, Brasil, 2011. **Anais...**Santos, 2011. Disponível em: http://www.de.ufpb.br/~ronei/Moraes2011AnaliseDistribuicaoEspacial_Endemias_CEQ.pdf . Acesso em: 13 jan. 2012.

PEDRINI, D. C. **Proposta de um método para a aplicação do gráfico de controle de regressão no monitoramento de processos**. 122f. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2011. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 02 abr. 2011.

RICH, W. H; TERRY, M. C. The industrial control chart applied to the study of epidemics. **Public Health Reports**, v. 61, n. 42, p. 1501–1511, 1946.

ROCHA, R. Implementação de sistema gerencial, com avanços em controle estatístico, em laboratório de nutrição animal. 2004. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico de Qualidade**. Elsevier: Rio de Janeiro, 2009.

SANCHES, O. Princípios básicos de procedimentos estatísticos aplicados na análise de dados de vigilância em saúde pública: uma revisão. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 16, n. 2, p. 317-333, 2000.

SANCHES, O. **Modelos Matemáticos em doenças transmissíveis**. In: MORAES, J. C. Métodos de Estudo do processo epidêmico. Escola Nacional de Saúde Pública: Rio de Janeiro, 1982. p 251-293.

SCRUCCA, L. qcc: An R package for quality control charting and statistical process control. **R News**, v. 4, n.1, p.11-17, 2004.

SINAN - Sistema de Informação de Agravos de Notificação. Ministério da Saúde. Disponível em: <http://dtr2004.saude.gov.br/sinanweb/index.php>. Acesso em: 28 fev. 2012.

SMETI, E. M. *et al.* An approach for the application of statistical process control techniques for quality improvement of treated water. **Desalination**, v. 213, p. 273-281, 2007.

SONESSON, C.; BOCK, D. A review and discussion of prospective statistical surveillance in public health. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 166, n. 1, p. 5-21, 2003.

THOR, J. *et al.* Application of statistical process control in healthcare improvement: systematic review. **Qual Saf Health Care**, v.16, n. 5, p. 387–399, 2007.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

WOODALL, W. H. The use of control charts in health care monitoring and public health surveillance. **Journal of Quality Technology**, v. 38, n. 2, p. 89-134, 2006.

WOODALL W. H.; ADAMS B. M.; BENNEYAN J. C. The Use of Control Charts in Healthcare. In: FALTIN, F. W.; KENETT, R.; RUGGERI, F. **Statistical Methods in Healthcare**. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2012.