

Contribuição do gráfico de controle de somas acumuladas na assistência e segurança do paciente com base no monitoramento da incidência de bactérias multirresistentes em uma unidade de terapia intensiva**Contribution of the cumulative sum control chart in patient assistance and safety based on monitoring the incidence of multi-resistant bacteria in an intensive care unit**

DOI:10.34119/bjhrv3n4-269

Recebimento dos originais:08/07/2020

Aceitação para publicação:19/08/2020

Isabela Pereira RodriguesMestre do Programa de Pós-Graduação de Medicina Tropical
Universidade de Brasília

Endereço: QE 01 conjunto L casa 104 – Guará 1 Brasília DF

E-mail: isabelarodrigues67@gmail.com

Osiris Turnes¹Doutora em Engenharia de Produção pela UFSC
Universidade de Brasília

Endereço: SQSW 303 Bloco I Apto. 207 Brasília DF

E-mail: osiris@unb.br

Alaíde Francisca de CastroMestre em Enfermagem
Universidade de Brasília

Endereço: SGAN 605 Avenida L2 Norte Brasília

E-mail: castroalaide@gmail.com

RESUMO

Introdução: Promover a proteção e a segurança do paciente nos hospitais é uma estratégia que desencadeia ações de prevenção para melhorar a qualidade de vida dos pacientes e dos profissionais diretamente envolvidos. Os programas de vigilância hospitalar se ocupam, principalmente, da detecção tempestiva de sinais de alerta para evitar surtos. Nesse contexto, o gráfico de controle *Cumulative Sum Chart* (CUSUM) ou Gráfico de Somas Acumuladas é uma ferramenta estatística que auxilia a detecção de eventos epidêmicos de Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS). Ele também pode ser utilizado pelos serviços de vigilância em saúde como uma estratégia na identificação precoce de surtos bacterianos. Objetivo: O objetivo desta pesquisa é ressaltar a contribuição do gráfico CUSUM para a assistência e a segurança do paciente, como ferramenta auxiliar na identificação de um provável início de surto de Bactérias Multirresistentes (BMR), em uma Unidade de Terapia

¹ Professora aposentada do Departamento de Estatística da Universidade de Brasília (UnB). Atua como colaboradora na Comissão de Controle de Infecção do Hospital Universitário de Brasília (HUB)

Intensiva de adultos (UTI) do Hospital Universitário de Brasília, Brasil. Método: Estudo retrospectivo sobre a frequência de ocorrências de BMR. Os Dias entre Resultados Positivos (DERP) foram quantificados e tratados estatisticamente para a elaboração dos gráficos. Resultados: Os gráficos CUSUM, selecionados para os agentes *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina e *Klebsiella pneumoniae*, sinalizaram, com clareza, possíveis mudanças de estado no processo epidêmico. Na discussão, foi dada atenção aos efeitos do controle de infecção e à vulnerabilidade dos pacientes internados na UTI. Conclusão: Ficou evidenciado que o gráfico CUSUM é capaz de identificar precocemente o descontrole do processo de vigilância em saúde, podendo a equipe assistencial intervir por meio de ações de prevenção na transmissão cruzada das IRAS.

Palavras chave: Unidade de Terapia Intensiva (UTI), Gráfico de Controle CUSUM, Dias entre Resultados Positivos, Bactérias Multirresistentes, Proteção e segurança do paciente.

ABSTRACT

Introduction: Promoting patient protection and safety in hospitals is a strategy that triggers preventive actions to improve the quality of life of patients and directly involved professionals. Hospital surveillance programs focus mainly on detecting warning signs and epidemic events. In this context, the CUSUM control chart (Cumulative Sum Chart) is a statistical tool which helps in the detection of epidemic events of healthcare-related infections. It can be used as a strategy, in early identification of bacterial outbreaks, by Health Surveillance Services. **Objective:** The aim of this article is to highlight the contribution of the tabular cumulative sum control chart in patient care, as an auxiliary tool to identify the onset of epidemics of multidrug-resistant bacteria in the intensive care unit for adults at the University Hospital of Brasilia, Brazil. **Method:** A retrospective study on the frequency of occurrences of BMR is performed. The days between positive results were quantified and treated statistically for the elaboration of the charts. **Results:** Cumulative sum control charts for methicillin resistant *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae* clearly illustrate situations in which the chart highlights possible changes in the state of the epidemic process. In the discussion, attention was focused on the effects of infection control and on the vulnerability of Intensive Care Unit (ICU) inpatients. **Conclusion:** It becomes evident that the CUSUM graph is able to identify any slight early deviation in the process, and the assistance team can intervene in preventive actions in the cross transmission of healthcare related infections.

Keywords: Intensive Care Unit (ICU), Cumulative sum control chart, days between positive cultures, multidrug-resistant bacteria, patient protection and safety.

1 INTRODUÇÃO

Em hospitais, os programas de vigilância têm como principal foco detectar, precocemente, sinais de alarme e de eventos epidêmicos, indicando qualquer variação fora do normal. Para demonstrar diferenças significativas na ocorrência desses agravos em diferentes períodos de tempos, usualmente são utilizadas análises estatísticas como uma ferramenta de qualidade na vigilância epidemiológica⁸. Ou seja, o estudo do comportamento

epidemiológico das infecções em hospitais faz-se necessário, por um lado, para que sejam identificadas situações em que há alteração das ocorrências e verificar se elas estão variando dentro dos limites esperados ou não³³; por outro, para a segurança do paciente, “representa uma problemática amplamente discutida no cenário mundial, principalmente pela alta incidência de eventos adversos nas instituições de saúde.”³¹ Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS), por exemplo, ocorrem por múltiplos fatores e constituem uma ameaça à segurança do paciente, pois se trata de uma das fontes de eventos adversos evitáveis³². O entendimento desses fatores baliza a elaboração de ações preventivas, especialmente em Unidades de Terapia Intensiva (UTI), onde se encontram os pacientes mais fragilizados e vulneráveis. Essas ações podem ser: externas ao serviço, organizacionais, relacionadas à equipe assistencial ou associadas a algum dano que possa ocorrer ao paciente. Nesse contexto, compete à Comissão de Controle de Infecções Hospitalares (CCIH) dar suporte ao cuidado assistencial a ser prestado, incluindo medidas para cada situação específica e, quando necessário, mudanças no sistema, em movimentos de melhoria contínua da qualidade. Entre as ações externas ao serviço, encontram-se os programas de vigilância e de monitoramento das IRAS. No Hospital Universitário de Brasília (HUB), a utilização do gráfico de controle *Cumulative Sum Chart* (CUSUM) é uma das estratégias utilizadas nessa vigilância.^{27,28} Esse gráfico é um recurso de apoio à equipe multiprofissional, na implementação das medidas de precaução de contato e de redução das IRAS. A cada sinal de alerta que o gráfico registra, a equipe assistencial pode reorientar a estratégia de prevenção, reforçando as medidas de precaução para reduzir a infecção cruzada. Esse procedimento corretivo deve ser acionado tempestivamente para que se possa, efetivamente, reduzir, gerenciar ou controlar qualquer ocorrência que, no futuro, venha a causar algum dano ao paciente. Os gráficos de controle ainda sinalizam informações sobre o estado atual do processo de vigilância, constituindo-se, assim, em uma das mais importantes ferramentas da qualidade. Além disso, modelos adequados, como o gráfico CUSUM, indicam sinais precoces de possíveis epidemias.¹⁹ O gráfico CUSUM é recomendado para o monitoramento e o aperfeiçoamento do processo de vigilância epidemiológica.

Desde o surgimento dos gráficos de controle, pioneiramente desenvolvidos por Shewhart³⁰ em 1931, numerosas e relevantes foram as publicações sobre o uso do Controle Estatístico de Processos (CEP) em epidemiologia.^{3,4,6,7,12,14,17,20} Os autores dessas publicações tanto se ocuparam da utilização de vários tipos de gráficos de controle na área

da saúde, como discutiram suas propriedades e a respectiva teoria e planejamento. Três deles^{6,7,20} salientaram o gráfico CUSUM, os de Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA) e/ou os de Média Móvel (MA). Em 2006, Woodall³⁵ fez uma revisão dos tipos de gráficos de controle utilizados na área da saúde. Em 2012, Woodall et al.³⁶ apresentaram “uma visão geral de usos comuns do Controle Estatístico de Processos na área da saúde e algumas diretrizes para a escolha de gráficos apropriados para diversas aplicações”, ressaltando as propriedades dos gráficos CUSUM e EWMA. Da mesma forma, ainda em 2012, Unkel et al.³⁴ dedicaram um tópico de seu artigo ao uso do gráfico CUSUM para detectar a deflagração de doenças infecciosas. Em 2014, Sasikumar et al.²⁹ revisaram o gráfico CUSUM e suas aplicações na área da saúde e, mais recentemente, em 2018, Qu et al.²⁴ avaliaram o gráfico CUSUM exponencial na detecção de desvios em tempos entre eventos.

O objetivo do presente trabalho é ressaltar a contribuição do gráfico de controle CUSUM como ferramenta auxiliar na detecção precoce do início de surtos de Bactérias Multirresistentes (BMR) no ambiente hospitalar, com vistas à proteção e à segurança dos profissionais da saúde envolvidos e dos pacientes internados. As infecções hospitalares fazem parte dos possíveis eventos adversos que ocorrem em uma UTI¹¹, e as IRAS constituem, em média, 20% de todas as infecções diagnosticadas nos pacientes hospitalizados.¹³

Esta pesquisa baseou-se em um estudo sobre Dias entre Resultados Positivos (DERP), realizado na UTI do HUB, cujos dados se referem ao período janeiro de 2001 a dezembro de 2011.²⁶ Esse estudo retrospectivo respeitou as recomendações do Conselho Nacional de Saúde, número 196/96 – Diretrizes e Normas Reguladoras de Pesquisas Envolvendo Seres Humanos. O respectivo projeto, registrado sob o número CEP-FM 055/2011, foi aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília (UnB) em 21/11/2011.

Para incluir todos os resultados positivos para BMR, infecção ou colonização, a variável Dias entre Eventos (DEE), encontrada na literatura⁴, passou aqui a ser denominada Dias entre Resultados Positivos (DERP). Essa terminologia foi adotada porque, sob o aspecto epidemiológico, tanto os pacientes colonizados como os infectados por BMR têm potencial de disseminação de BMR nas unidades de internação.²⁵ Foram considerados, também, os casos relativos a pacientes transferidos de outros hospitais por falta de leitos nas respectivas UTIs.² Os exemplos a seguir ilustram o significado da variável DERP: se uma

cultura positiva for registrada no dia 5 de setembro e a outra, no dia 23 seguinte, DERP será igual a 18. Se ocorrerem dois resultados positivos num mesmo dia, DERP será igual a zero.

O gráfico de controle aqui explorado continua sendo usado na UTI adulto do HUB, e os resultados têm se mostrado satisfatórios, no que tange à prevenção de surtos de BMR na UTI desse hospital. Além disso, a análise estatística, que envolve a elaboração dos gráficos, guarda a memória do processo, permitindo, no mínimo, a detecção de dois tipos de mudanças no comportamento dos DERP: as epidemiológicas e as originadas de eventos extraordinários, como: mudança de espaço físico, falta de matéria-prima no laboratório, falha nas anotações dos resultados dos exames laboratoriais, resultados falso-positivos, entre outros. Diante dos bons resultados obtidos, deu-se início, em 2006, a um programa de expansão do uso dessas ferramentas gráficas para auxiliar a vigilância em outras unidades do hospital.

2 MÉTODO

Com vistas ao acompanhamento e ao controle estatístico da variável DERP das referidas BMR na UTI do HUB, concluiu-se pela utilização do gráfico CUSUM, por ele se mostrar o mais adequado à identificação precoce de epidemias, entre outras qualidades. O planejamento, o desenvolvimento e a interpretação desse gráfico foram realizados na sequência das seguintes etapas operacionais:

- 1) Formação do banco de dados com base na identificação das datas das ocorrências de resultados positivos para BMR. Análise estatística, usando inicialmente uma tabulação e técnicas gráficas para maximizar a obtenção de informações ocultas na estrutura dos dados. Seleção dos agentes mais frequentes;
- 2) Conversão dos dados na variável de interesse, DERP. Elaboração de sumários estatísticos para os diversos agentes encontrados. Identificação dos modelos probabilísticos, com a finalidade de utilizar o tipo de gráfico apropriado e obter o planejamento adequado.
- 3) Ajuste dos parâmetros do gráfico de controle CUSUM para alcançar a melhor combinação entre o número de falsos alarmes e o de alarmes verdadeiros, conforme a metodologia de Hawkins & Olwell.¹⁵
- 4) Interpretação dos gráficos das BMR e análise dos resultados.

2.1 GRÁFICO DE CONTROLE CUSUM

O gráfico de controle CUSUM, proposto por Page²² em 1954, opera acumulando desvios do valor esperado de um processo. Ele foi desenvolvido, inicialmente, para monitorar a média de uma variável normalmente distribuída. Em 1985, Lucas¹⁸ criou procedimentos CUSUM para outros tipos de distribuição, como o da família das exponenciais, desenvolvida por Hawkins & Olwell¹⁵ em 1998. Essa foi a abordagem adotada no presente estudo. O planejamento detalhado do gráfico CUSUM para variáveis distribuídas segundo a família das exponenciais encontra-se em anexo.

2.2 CRITÉRIOS DE DECISÃO

- 1) Enquanto os pontos do gráfico se localizarem sobre o valor esperado da estatística CUSUM, o processo é considerado sob controle;
- 2) Um sinal de alerta é deflagrado quando um ou, no máximo, dois pontos se afastarem para baixo do valor esperado;
- 3) Quando um ponto for registrado fora do limite inferior de controle, há evidências de que o processo está fora de controle;
- 4) A mesma interpretação é dada quando surgir uma longa sequência decrescente de pontos.

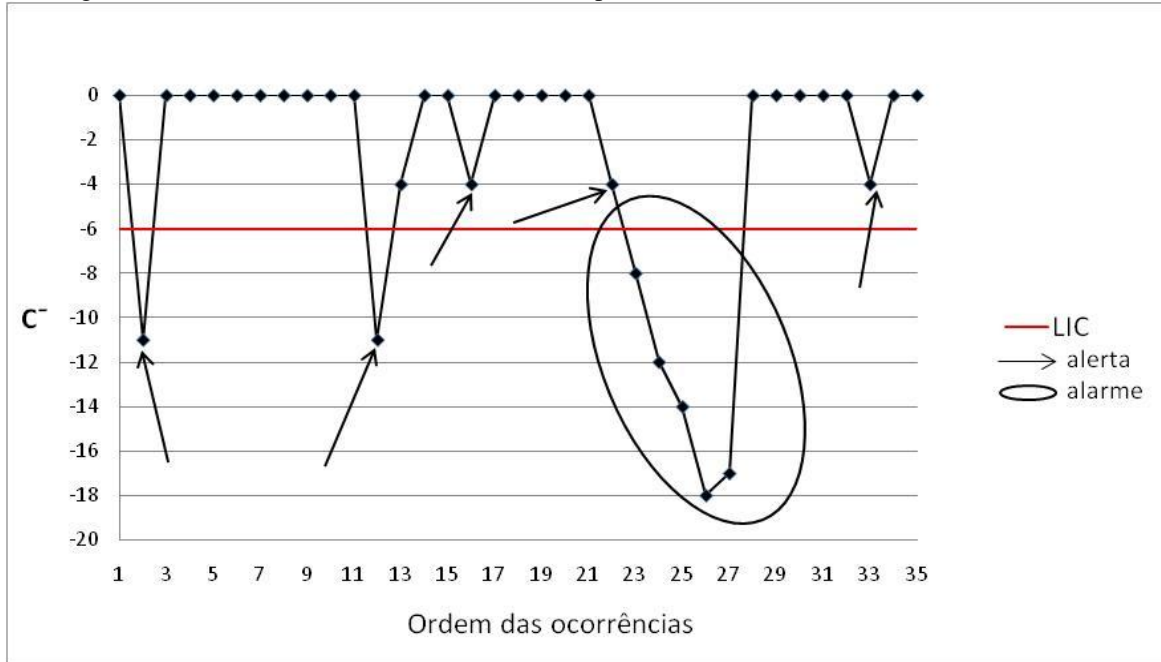
3 RESULTADOS

Após os ajustes necessários, 453 isolados de BMR foram analisados estatisticamente. As principais bactérias identificadas foram: *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA; 24,50%), *Acinetobacter baumannii* (20,53%), *Pseudomonas aeruginosa* (16,56%), *Klebsiella pneumoniae* (16,11%), *Staphylococcus epidermidis* (8,61%) e *Enterobacter* SP (5,08%). Esse grupo representou 91,39% dos isolados. Este trabalho se restringiu ao comportamento da variável DERP relativa às bactérias MRSA e *K.pneumoniae*, que se mostraram suficientes para caracterizar o desempenho do gráfico CUSUM.

Adicionalmente, foi realizado um estudo para identificar o tipo de distribuição que melhor se ajustava a cada conjunto de dados obtidos, aplicando-se os testes de Anderson-Darling e Cramér-von Mises e respectivos P-valores.¹⁰ Com base nos resultados, o planejamento do gráfico de controle das BMR foi desenhado de acordo com a metodologia de Hawkins & Olwell¹⁵, citada no item Métodos.

As Figuras 1 e 2 mostram o gráfico para MRSA e para *K. pneumoniae*. A eficiência dos dois gráficos, representada pelo número médio de pontos registrados até a ocorrência de um alarme (ARL_0 e ARL_1), aparece logo abaixo das respectivas legendas.

Figura 1: Gráfico de controle CUSUM dos DERP para MRSA na UTI adulto do HUB (2007-2011)



Fonte: Rodrigues et al.

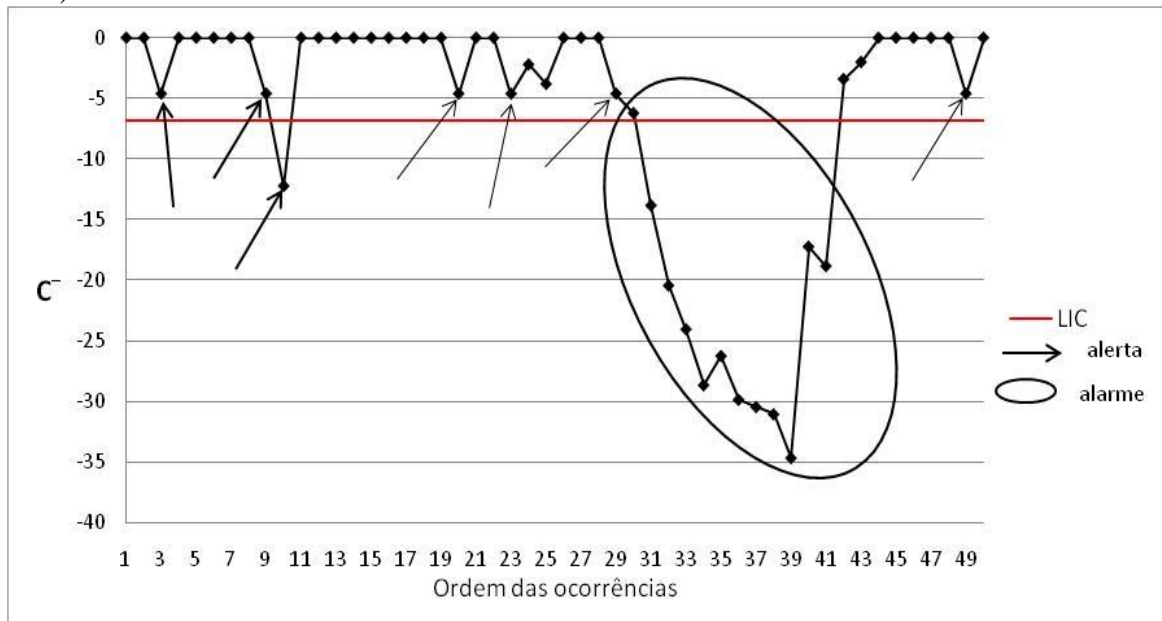
Legenda: Flecha: sinal de alerta; elipse: sequência indesejável de ocorrências de MRSA.

LIC: limite inferior de controle; gráfico de controle C^- : valor observado da estatística CUSUM; DERP: dias entre resultados positivos; MRSA: *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina; UTI: unidade de terapia intensiva; HUB: Hospital Universitário de Brasília; ARL_0 : número médio de ocorrências até a sinalização de um alarme falso; ARL_1 : número médio de ocorrências até a sinalização de um alarme verdadeiro.

Medidas de desempenho do gráfico: $ARL_0 = 10$ ocorrências e $ARL_1 = 1,3$ ocorrências

As flechas na Figura 1 indicam cinco sinais de alerta. Uma sequência indesejável de culturas positivas para MRSA ocorreu entre junho e julho de 2010 (observações 21-27). A penúltima flecha aponta a ocorrência onde a mudança no processo provavelmente iniciou. A elipse mostra os casos subsequentes que não foram evitados. Numericamente, foram registrados intervalos de 7,7,7,9,7 e 12 dias entre resultados positivos, mostrando uma longa tendência decrescente.

Figura 2: Gráfico de controle CUSUM dos DERP para *Klebsiella pneumoniae* na UTI adulto do HUB (2009-2011)



Fonte: Rodrigues et al.

Legenda: Flecha: sinal de alerta; elipse: sequência indesejável de ocorrências de *Klebsiella pneumoniae*.

LIC: limite inferior de controle; C^- : valor observado da estatística CUSUM; DERP: dias entre resultados positivos; UTI: unidade de terapia intensiva; HUB: Hospital Universitário de Brasília; ARL_0 : número médio de ocorrências até a sinalização de um alarme falso; ARL_1 : número médio de ocorrências até a sinalização de um alarme verdadeiro.

Medidas de desempenho do gráfico: $ARL_0 = 10$ ocorrências e $ARL_1 = 2,5$ ocorrências

As flechas na Figura 2 indicam sete situações de alerta. A sexta flecha é acompanhada por uma elipse que mostra uma longa sequência de curtos espaços de tempo entre resultados positivos para *K. pneumoniae* entre junho e julho de 2011 (ver ocorrências 29-39). Numericamente, foram intervalos de 3,6,0,1,4,3,10,4,7,7 e 4 dias entre resultados positivos, revelando um decréscimo acentuado na curva de C^- .

4 DISCUSSÃO

O gráfico CUSUM planejado para o presente estudo teve bom desempenho (vide os valores dos ARL s abaixo das Figuras 1 e 2), confirmando a assertiva de que o método adotado, de Hawkins & Olwell¹⁵, é uma boa alternativa quando se trata de prevenir a ocorrência de surtos de BMR em ambiente hospitalar. O comportamento do patógeno MRSA (Figura 1) mostrou que, no período de junho a julho de 2010, houve um surto. No entanto, como todos os isolados eram de *swabs* de controle, ele ficou caracterizado como surto não infeccioso. Dessa forma, fica claro que houve falhas na vigilância naquele período, pois as intervenções foram tardias. Tão importante quanto o registro de casos novos em

tempo real é a resposta imediata ao problema por parte da equipe de profissionais da UTI, pois em última instância, a segurança e a proteção ao paciente se concretizam na ponta, onde realmente pode se dar a interrupção da transmissão por meio de medidas preventivas eficazes.

Entre as medidas de prevenção, a higienização das mãos é reconhecida como a prática mais importante na redução da transmissão de micro-organismos nos serviços de saúde.²¹ Nesse sentido, o Programa de Segurança do Paciente, criado pela Organização Mundial da Saúde em 2004, entre várias ações, implantou, em 2005, o primeiro desafio global para segurança do paciente, sob o lema “Uma Assistência Limpa é uma Assistência mais Segura”. O foco é a prevenção das IRAS, particularmente por meio da higienização das mãos. Mais recentemente, essa prática foi inserida entre as seis metas internacionais de segurança, como a de número 5, com a finalidade de “Reduzir o risco de infecções associadas aos cuidados em saúde”.¹ Com efeito, essa meta tem como objetivo, entre outros, o de prevenir e controlar as infecções hospitalares por meio da correta higienização das mãos.

Outra medida essencial para evitar as transmissões cruzadas são as precauções, padrão e adicionais. E entre as adicionais, as precauções de contato são aquelas implementadas em situações de BMR.⁹ Esses temas têm sido objeto de campanhas em unidades de saúde para conscientização dos profissionais, visando melhorar, cada vez mais, o atendimento assistencial.

Os dados de *K. pneumoniae* revelaram um cenário diferente (Figura 2) quanto às variações de ocorrências desse agente. Foram observados dois momentos de alteração da curva: o primeiro, em abril de 2010, e o segundo, em junho e julho de 2011, numa longa sequência de espaçamentos curtos, com intervalos de 3, 6, 0, 1, 4, 3, 10, 4, 7, 7 e 4 dias entre resultados positivos. Esse episódio ocorreu concomitantemente ao surto de carbapenêmicos do tipo KPC que estava em andamento no Distrito Federal, período no qual a UTI de adultos já vinha realizando, com bastante rigor, as culturas de vigilância para acompanhamento do surto em evidência. Naquela época, esse germe ainda não estava sendo monitorado com o auxílio do gráfico de CUSUM. Mesmo assim, o sistema de vigilância da CCIH identificou que todos os casos resultavam de culturas de vigilância, caracterizando um surto do tipo não infeccioso, isto é, de pacientes colonizados. A utilização desse gráfico poderia ter sido vantajosa na ocasião, porque teria sinalizado um alerta (apontado pela flecha) assim que surgiram as primeiras ocorrências.

Quanto às equipes de vigilância e de atendimento ao paciente, levando em conta a relação entre os resultados obtidos, a posterior análise do comportamento das curvas e as possíveis decisões a serem tomadas, suas ações podem ser resumidas da seguinte forma:

1) quando o gráfico apontar um estado de alerta, a equipe de vigilância deve ficar de sobreaviso para evitar intervenções tardias que podem ocasionar danos irreversíveis ao paciente. Recomenda-se verificar se as medidas de precaução de contato estão sendo cumpridas. Os cuidados com a limpeza das superfícies, a disponibilidade e o uso adequado das EPIs, entre outros insumos, devem também ser objeto de especial atenção²³.

2) quando o gráfico indicar uma situação de alarme, medidas urgentes e enérgicas precisam ser adotadas pelos profissionais envolvidos. Há necessidade de atenção especial e de forte adesão aos protocolos institucionais de precaução, para que um surto não se estabeleça.

A contribuição do gráfico de controle CUSUM ficou evidenciada pelos achados atuais. O uso dessa ferramenta para monitorar eventos na área de saúde, tais como as ocorrências de BMR, é vantajoso quando comparado a outros tipos de gráfico. Além disso, favorece a implementação de medidas corretivas, com o objetivo de sustar a disseminação dos agentes infecciosos entre os pacientes internados. Uma boa gestão de riscos pode minimizar os eventos adversos na prática assistencial. Os resultados do presente trabalho são consistentes com os de outros estudos realizados na área.

5 CONCLUSÃO

Os resultados da aplicação do gráfico de controle CUSUM neste estudo tornaram evidente que esse instrumento pode ser recomendado para monitorar os dias entre resultados positivos para BMR em ambiente hospitalar de UTI.

A análise individual dos gráficos correspondentes à MRSA e à *K. pneumoniae* revelou iminentes irrupções de casos. Assim sendo, infere-se que a implementação do gráfico CUSUM, como ferramenta de qualidade na vigilância epidemiológica, conduz melhor as tomadas de decisão, quando associadas às características epidemiológicas locais. Dito isso, pode-se recomendar o uso desse esquema para monitorar e para controlar as ocorrências de BMR. Entretanto, a pronta reação da equipe de vigilância ao sinal gerado pelo gráfico é um elemento-chave para interromper a transmissão, impedindo possíveis danos ao paciente. Enfim, a aplicação de estratégias no controle e na prevenção da disseminação das bactérias multirresistentes pode evitar consequências funestas e contribuir

tanto para a proteção dos pacientes, como para a dos profissionais diretamente envolvidos. A sistemática aqui utilizada, que se restringiu a dados obtidos da UTI do HUB, pode ser estendida a outras unidades de internação e até abranger esse hospital por inteiro. No entanto, essa extensão depende de interações multidisciplinares e da aderência, ao programa, por parte dos profissionais de saúde envolvidos. Sua aplicação inclui o projeto inicial de criação de um fluxo adequado de ações para a implementação do monitoramento estatístico, num esforço para aperfeiçoar a qualidade no atendimento à comunidade. Finalmente, recomendam-se estratégias de retroalimentação associadas ao controle estatístico para aperfeiçoar o desempenho do processo e tornar a vigilância mais ágil.

REFERÊNCIAS

- 1 Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Assistência Segura: uma reflexão teórica aplicada à prática. 2013. [acesso em 26 jul 2020]; Disponível em: <https://portal.anvisa.gov.br/documents/33852/3507912/caderno+-+Assistência+Segurar+-+Uma+Reflexao+Teorica+ Aplicada+a+Pratica/97881798-cea0-4974-9d9b-077528ea1573>
- 2 Azevedo AP, Nobre GPT, Dantas TA, Silva MLF, Muniz JÁ, Assis RP, Medeiros MIF. Fatores que interferem no desempenho da utilização de leitos de unidade de terapia intensiva (UTI). *Braz. J. Hea. Rev* 2020; 3(4): 7421-7438.
- 3 Benneyan JC. Statistical quality control methods in infection control and hospital epidemiology. Part I: Introduction and basic theory. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 1998a; 19:194–214.
- 4 Benneyan JC. Statistical quality control methods in infection control and hospital epidemiology. Part II: Chart use, statistical properties, and research issues. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 1998b; 19: 265–283.
- 5 Brooks D, Evans DA. An approach to the probability distribution of CUSUM run length. *Biometrika*. 1972. [acesso em 26/07/2020]; 59(3):539-549. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/20biomet/59.3.539>
- 6 Brown SM, Benneyan JC, Theobald DA, Sands K, Kahn MT, Potter-Bynoe GA, Stelling JM, O'Brien TF, Goldmann DA. Binary cumulative sum and moving averages in nosocomial infection cluster detection. *Emerging Infectious Diseases* 2002; 8: 1426–1432.
- 7 Burns CM, Bennett CJ, Myers CT, Ward M. The use of CUSUM analysis in the early detection and management of hospital bed occupancy crises. *Medical Journal of Australia* 2005; 183: 291–294.
- 8 Center for Disease Control and Prevention (CDC) (US). Guidelines for investigating cluster of health events. *MMWR*. 1990; 39:1-22.
- 9 Center for Disease Control and Prevention (CDC)(US). Guideline for isolation precautions: preventing transmission of infectious agents in healthcare settings 2007. [acesso em 26 jul 2020] Disponível em: www.cdc.gov/infectioncontrol/guilines/isolation/index.html
- 10 Conover WJ. (1998) *Practical nonparametric statistics*. New York: John Wiley and Sons.
- 11 Cruz FF, Gonçalves RP, Raimundo SR, Amaral MS. Segurança do Paciente na UTI: uma revisão da literatura. *Revista Científica FacMais* 2018; XII(1):167-187.
- 12 Curran ET, Benneyan JC, Hood J. Controlling methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: a feedback approach using annotated statistical process control charts. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2002; 23: 13–18.

13 Ferreira LL, Azevedo LMN, Salvador PTCO, Morais SHM, Paiva RM, Santos VEP, Nursing care in healthcare associated infections: a scoping review. *Revista Brasileira de Enfermagem* [online] 2019. [acesso em 26/07/2020];72(2):476-83. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7167-2018-0418>.

14 Gustafson TL. Practical risk-adjusted quality control charts for infection control. *American Journal of Infection Control* 2000; 28: 406–414.

15 Hawkins DM and Olwell DH. Cumulative sum charts and charting for quality improvement. New York: Springer-Verlag; 1998.

16 Hawkins DM, Olwell DH Cumulative sum charts and charting for quality improvement. New York: Springer-Verlag; 1998. Cap. 10. ANYGETH.EXE. [Programa na internet] [acesso em 11/08/2020] Disponível em: <http://www.stat.umn.edu/cusum/software.htm>.

17 Ismail NA, Pettitt AN, Webster RA. ‘Online’ monitoring and retrospective analysis of hospital outcomes based on a scan statistic. *Statistics in Medicine* 2003; 22: 2861–2876.

18 Lucas JM. Counted data CUSUM’s. *Technometrics* 1985; 27:129-144.

19 Montgomery DC. Introduction to statistical quality control. New York: John Wiley and Sons;2004.

20 Morton AP, Whitby M, McLaws ML, Dobson A, Mc Elwain S, Looke D, Stackelroth J, Sartor A. The application of statistical process control charts to the detection and monitoring of hospital acquired infections. *Journal of Quality in Clinical Practice* 2001; 21:112–117.

21 Mota EC, Barbosa DA. Higienização das mãos: uma avaliação da adesão da prática dos profissionais de saúde no controle das infecções hospitalares. *Rev. Epidemiol.Control Infect* 2014; 4(1): 12-17.

22 Page ES. Continuous Inspection Schemes. *Biometrika* 1954; 41: 100–115.

23 Paim R, Lorenzini E. Estratégias para prevenção da resistência bacteriana. *Rev Cuid* 2014; 5(2):757-64.

24 Qu, L, Khoo MBC, Castagliola P, He Z. Exponential cumulative sums chart for detecting shifts in time-between-events. *International Journal of Production Research* 2018 [acesso em 26/07/2020] ; 56 (10):3683-3698. <http://doi.org/10.1080/00207543.2017.1412523>.

25 Ribas RM, Gontijo Filho PP, Cezário RC et al. Fatores de risco para colonização por bactérias multirresistentes em pacientes críticos, cirúrgicos e clínicos em um hospital universitário brasileiro. *Rev. Méd. Minas Gerais*. 2009;19:193-197.

26 Rodrigues IP, Método Estatístico para Detecção de Surto de Bactérias Multi Resistentes em Pacientes da Unidade de Terapia Intensiva de Adulto do Hospital Universitário de Brasília Dissertação [Mestrado em Medicina Tropical] - Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília; 2012.

- 27 Rodrigues IP, Turnes O, Silveira CAN. Surveillance analysis and monitoring of multidrug-resistant bacteria incidence in an intensive care unit: the role of cumulative sum control charts. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research* 2015; 23(1): 217-229.
- 28 Rodrigues IP, Turnes O, Castro AF. Monitoramento da incidência de bactérias multi-resistentes em uma unidade de terapia intensiva: o papel do gráfico de controle de somas acumuladas (CUSUM) na assistência e segurança do paciente. *Congresso Internacional da Rede Brasileira de Enfermagem e Segurança do Paciente 1, 2016, Campinas-SP. Anais, 2016.*
- 29 Sasikumar R and Devi SB. Cumulative sum charts and its healthcare applications; a systematic review. *Sri Lankan Journal of Applied Statistics* 2014; 15(1): 47-56.
- 30 Shewhart WA. *Economic control of quality manufactured product.* New York:Van Nostrand; 1931.
- 31 Silva AMR, Bim LL, Bim FL, Sousa AFL, Domingues PCA, Nicolussi AC, et al. Patient safety and infection control: bases for curricular integration. *Rev Bras Enferm [Internet].* 2018 [acesso em 26/07/2020] ;71(3):1170-7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7167-2017-0314>.
- 32 Sinésio MCT, Magro MCS, Carneiro TA, Silva KGN Fatores de risco às infecções relacionadas à assistência em unidades de terapia intensiva.. *Revista Cogitare Enfermagem* 2018; 23(2): e53826.
- 33 Tauil MC, Coelho RA, Tauil PL. Infecção hospitalar no Hospital Universitário de Brasília, 1997-2004: diagrama de controle. *Comun Ciênc Saúde* 2006; 17:17-25.
- 34 Unkel S, Farrington CP, Garthwaite PH, Robertson C, Andrews N. Statistical methods for the prospective detection of infections disease outbreaks: a review. *Journal of the Royal Statistical Society* 2012; 175(1):49-82. Series A
- 35 Woodall WH. Use of control charts in health care monitoring and public health surveillance. *Journal of Quality Technology* 2006; 38: 89–104.
- 36 Woodall WH, Adams BM, Benneyan JC, VISN 1 Engineering Resource Center: the use of control charts. In: F. Faltin, R. Kenett, F. Ruggeri (eds). *Healthcare in Statistical Methods in Healthcare.* Local: Wiley; 2012. p.256-265.

ANEXO

Planejamento do Gráfico para Variáveis Distribuídas Segundo a Família das Exponenciais

Uma função densidade de qualquer membro da família exponencial (com um único parâmetro θ) pode ser escrita como:

$$F(y | \theta) = \exp\{(a(y)B(\theta) + c(y) + d(\theta))\}, \quad (1)$$

onde : $a(\cdot)$, $b(\cdot)$, $c(\cdot)$ e $d(\cdot)$ são funções conhecidas; θ é o parâmetro, e y , a variável aleatória.

Para testar se o processo se desviou do parâmetro θ_0 (sob controle) para θ_1 (fora de controle), analisa-se o comportamento da variável *score* Z_i , definida como:

$$Z_i = \ln\left(\frac{f_1(Y_i)}{f_0(Y_i)}\right) = a(y_i)\{b(\theta_1) - b(\theta_0)\} + \{d(\theta_1) - d(\theta_0)\}. \quad (2)$$

Com auxílio dessa variável obtém-se um intervalo de decisão recursivo D_n , que sinaliza quando $D_n > A$, uma constante de corte do modelo.

Dados o valor observado X_n e o “valor de referência” k , a estatística a ser registrada no gráfico é a seguinte:

$$C_n^+ = \frac{D_n}{b(\theta_1) - b(\theta_0)} = \max(0, C_{n-1}^+ + X_n - k),$$

(3) quando $b(\theta_1) - b(\theta_0) > 0$

E se $b(\theta_1) - b(\theta_0) < 0$, (3) fica igual a

$$C_n^- = \frac{D_n}{b(\theta_1) - b(\theta_0)} = \min(0, C_{n-1}^- + X_n - k). \quad (4)$$

O valor de k é totalmente determinado em função dos parâmetros do processo sob-controle e fora de controle.

O processo é dito fora de controle se

$$C_n^+ > h^+ = \frac{A}{b(\theta_1) - b(\theta_0)} \text{ ou } C_n^- > h^- = -\frac{A}{b(\theta_1) - b(\theta_0)}, \text{ com } C_0^+ = C_0^- = 0.$$

A dedução detalhada, das fórmulas aqui apresentadas, encontra-se em¹⁵ Hawkins & Olvell (1998) páginas 139/140.

Os parâmetros h^+ e h^- são chamados de “intervalos de decisão” e determinados em função do número médio de amostras desejado (quando o processo está sob-controle) até a sinalização (sigla *ARL*, do inglês *Average Run Length*). Existem vários métodos para determinar o valor do *ARL*, e um deles consiste na modelagem introduzida por⁵ Brooks & Evans (1972). De um modo geral, é desejável ter valores altos de *ARL*, quando o processo

está sob-controle (denominado ARL_0), e valores baixos de ARL quando o processo está fora de controle (conhecido como ARL_1). Em outras palavras, segundo¹⁵ Hawkins & Olwell (1998), “para se planejar um esquema de controle CUSUM, primeiramente seleciona-se o valor fora de controle para o qual se deseja máxima sensibilidade. Isto determina o valor de referência k ”. Então, seleciona-se o ARL_0 para atingir o desempenho desejado. Uma vez determinados esses dois valores (k e ARL_0), segue-se o valor do intervalo de decisão h , que pode ser obtido seguindo as etapas do programa ANYGETH.EXE, desenvolvido pelos mesmos autores,¹⁶ disponível na internet. Teoria pormenorizada sobre os gráficos de controle CUSUM pode ser encontrada em¹⁵ Hawkins & Olwell (1998).