

Uma abordagem não-paramétrica da função de intensidade: uma aplicação em acidentes do trabalho

Lupércio F. Bessegato – UFMG/EST – lupercio@est.ufmg.br

Enrico Antonio Colosimo – UFMG/EST – enricoc@est.ufmg.br

RESUMO: O objetivo do presente trabalho é descrever e analisar as características do processo de acidentes de trabalho em uma empresa industrial, no período de janeiro de 1998 a dezembro de 2001. A análise foi efetuada através de uma abordagem não-paramétrica, utilizando-se da técnica de suavização por núcleo estimador para a estimação da função intensidade do processo de acidentes de trabalho em questão.

Palavras chave: Processo de Poisson, Estimação função de intensidade, Núcleo estimador.

1. Introdução:

A motivação deste trabalho foi uma análise preliminar do processo de acidentes de trabalho de empresa industrial com atuação no setor elétrico. A unidade em questão possui uma fábrica de certo material elétrico, um setor de prestação de serviços, um setor de manutenção de máquinas e equipamentos pesados de uso em construções e seu setor de suporte administrativo. Os processos de trabalho são distintos, levando a crer que os processos de acidentes de trabalho sejam também distintos.

Devido às características do produto fabricado, o nível de produção varia com razoável frequência ao longo do tempo, implicando a existência de dois ou três turnos de trabalho, de acordo com a necessidade produtiva.

Os dados sobre os acidentes incluem informações detalhadas sobre: data do acidente de trabalho, horário da ocorrência, seu fator, a parte do corpo atingida, a causa do acidente, a geração ou não de afastamento, os dias de trabalho perdidos, o setor em que ocorreu o acidente, a função e o tempo de empresa do acidentado. A quantidade de dias perdidos pelo empregado é a única informação disponível que pode ser diretamente relacionada com a gravidade do acidente e suas conseqüências.

Consideramos os acidentes de trabalho em questão como um processo pontual em que $N(t)$ é a variável aleatória de contagem, denotando o número de acidentes de trabalho no intervalo de tempo $[0, t]$. Nosso interesse é obter a função média deste processo, definida como a esperança $\Lambda(t)=E[N(t)]$, através de sua função de intensidade, definida por:

$$\lambda(t) = \frac{d}{dt} \Lambda(t)$$

que reflete o número de acidentes até um tempo t , ou seja, $\lambda(t)$ grande indica muitas falhas sobre intervalos de tempo e , por conseqüência, $\lambda(t)$ pequena indica poucas falhas.

2. Estimação da Função Intensidade do Processo:

A estimação da função de densidade de probabilidades de uma variável aleatória a partir de uma amostra dessa variável é um problema recorrente na Estatística. Nos casos em que não é possível encontrar uma distribuição conhecida à qual os dados se ajustam satisfatoriamente, utiliza-se a estimação não-paramétrica de densidade. Essas técnicas tornam possível estimar uma função sem a imposição de uma estrutura paramétrica conhecida.

A suavização pelo método do núcleo é um método difundido de estimação não-paramétrica de uma função de densidade de probabilidade, sendo também aplicado na estimação da função de intensidade de um processo de Poisson não-homogêneo.

No caso em que se deseja estimar a função de intensidade de um processo não-homogêneo, considera-se que os pontos X_1, X_2, \dots, X_n são uma realização de um processo de Poisson não-homogêneo, com função de intensidade λ , no intervalo $[0, T]$. O núcleo estimador da função intensidade λ , avaliado no ponto x é dado por:

$$\hat{\lambda}_h(x) = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$$

onde h é denominado parâmetro de suavização ou janela. A função K é chamada função núcleo, geralmente uma densidade de probabilidade simétrica.

A escolha da função núcleo K não é muito crucial, mas a escolha da janela h é um sério problema que tem sido tratado exaustivamente na literatura. Se h é muito pequeno, admite-se demasiado ruído amostral, e se h é muito grande, perdem-se características da curva através da supersuavização. Há maneiras para a escolha da janela ótima. Uma destas abordagens é através da utilização do método plug-in, que tem a aparente vantagem de, em seu cálculo, não necessitar de uma rotina de suavização.

Em qualquer destas situações, quando o suporte da função a ser estimada é limitado, o núcleo-estimador tem um desempenho ruim nas fronteiras do intervalo, tendo sido propostas vários métodos para a correção deste problema, esperando-se que, na presença do efeito de fronteira, as estimativas corrigidas sejam superiores à estimativa não-corrigida.

Para a escolha do parâmetro de suavização dos dados em questão, utilizamos o método "plug-in" modificado, com correção dos efeitos de fronteira através do método de Diggle. Ambos

métodos foram expostos no trabalho de A. P. Travassos, que demonstrou também que a correção de Diggle mostra-se consistentemente melhor.

3. Análise do Processo de Acidentes de Trabalho:

Para garantir a eficiência do método, foi efetuada transformação dos dados do tipo $Y=X/\text{desvio padrão de } X$. Além disso, fizemos uma análise descritiva do Número Acumulado de Acidentes ao longo do tempo, através do gráfico $N(t) \times t$.

Além de estudar o processo global dos acidentes de trabalho, analisamos e comparamos os processos descritos abaixo:

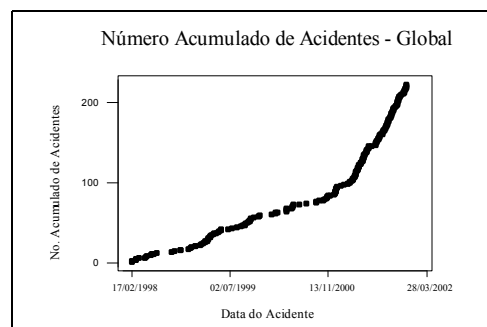
- Acidentes com afastamento e sem afastamento, independente do setor envolvido ou do horário da ocorrência;
- Acidentes ocorridos na fábrica ou no setor de prestação de serviços externos, independente do horário da ocorrência ou de ter sido provocado ou não afastamento do trabalho do empregado;
- Acidentes ocorridos nos turnos matutino, vespertino e noturno, independente do setor envolvido ou de ter provocado ou não afastamento do trabalho do empregado.

Julgamos as estratificações acima as mais interessantes, dada as características distintas envolvidas em cada um dos pontos assinalados. No entanto, apresentamos somente o processo global e a estratificação por tipo de afastamento. Os outros estratos apresentaram resultados similares.

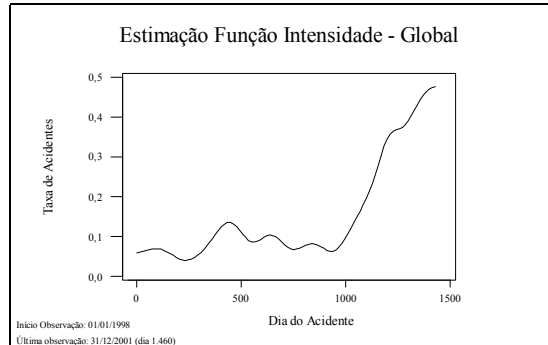
a. Processo de Acidentes Global:

O processo de acidentes foi observado entre 1/1/1998 e 31/12/2001, considerados todos os setores, turnos e acidentes que provocaram ou não afastamento. A análise do gráfico de Número de Acidentes Acumulado permite perceber que houve uma aparente diminuição do tempo entre acidentes a partir de 11/2000, indicando uma deterioração do processo. Verifica-se também que 71,2% dos tempos entre acidentes foram de até cinco dias.

Tempo entre Acidentes	Qte.	%
Até 5 dias	158	71,2
de 6 a 10 dias	25	11,3
de 11 a 15 dias	9	4,1
de 16 a 20 dias	12	5,4
de 21 a 25 dias	4	1,8
Acima de 25 dias	14	6,3
<i>Total</i>	<i>222</i>	<i>100</i>

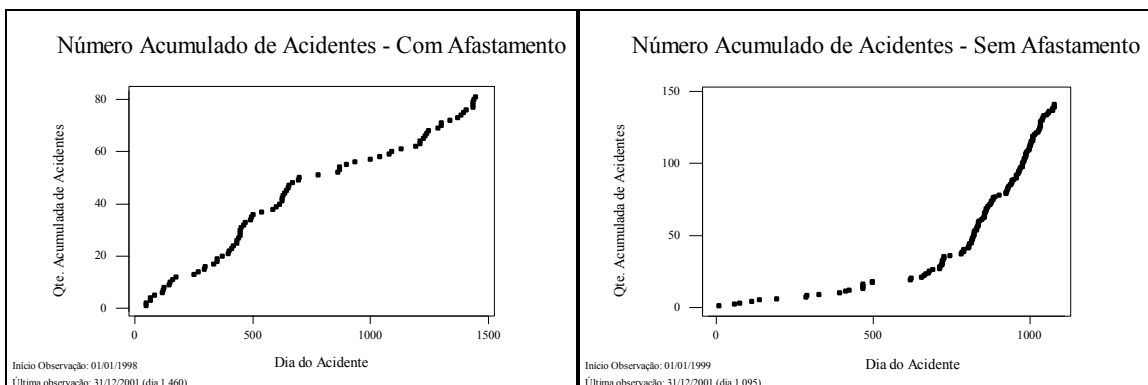


Quando estimamos a função de intensidade, através da suavização dos dados, observamos claramente um período de relativa estabilidade até aproximadamente o dia 1.000 (Set/2000) e, a partir de então se observa uma taxa de acidentes crescente, indicando a deterioração do processo de acidentes, considerado globalmente.



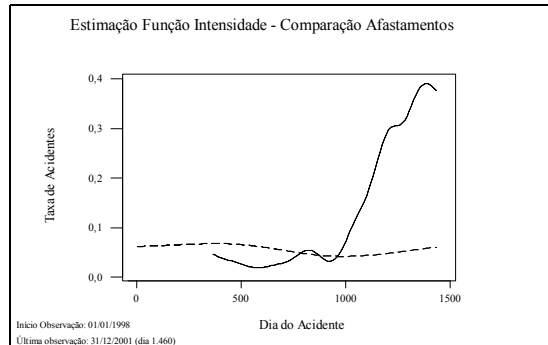
b. Processo de Acidentes por tipo de Afastamento:

Foram considerados todos os setores e os turnos em que ocorreram os acidentes. A análise do gráfico de Número de Acidentes Acumulado indica uma relativa estabilidade no tempo entre acidentes, embora se verifiquem períodos de maiores espaçamentos entre eles. Não pudemos verificar a correlação entre estes períodos com os períodos de menor nível de produção, por não possuímos informações a este respeito. Verificou-se também que 71,6% dos tempos entre acidentes foram com mais de cinco dias. A observação dos acidentes sem afastamento do trabalho foi iniciada em 01/01/99. A Análise do gráfico do Número de Acidentes Acumulado indica com clareza a diminuição do tempo entre acidentes a partir aproximadamente do dia 600 (Set/2000). Verificou-se também que 75,2% dos tempos entre acidentes foram de até cinco dias.



As estimativas da função de intensidade através do método suavizado confirmam a estabilidade do processo de acidentes com afastamento do trabalho, além de indicarem, a partir de setembro/2000, a deterioração do processo de acidentes sem afastamento do

trabalho. Não há aparentemente uma relação causal entre os dois processos, embora tenhamos algumas dúvidas com relação à consistência dos dados.



4. Comentários:

Esta análise é o estudo inicial do processo de acidentes de trabalho da empresa. A suavização proporcionada pela estimação por núcleo estimador da função intensidade do processo facilitou a visualização do comportamento da taxa de acidentes ao longo do tempo, permitindo a compreensão da história do processo, possibilitando a identificação gráfica dos eventos que possam ter interferido em sua evolução. Podemos afirmar que houve uma deterioração do processo de acidentes de trabalho. Salienta-se que o processo de acidentes com afastamento é distinto do processo dos acidentes sem afastamento, implicando comportamentos e intensidades distintos. Pelas características apresentadas, é possível que o processo de notificação dos acidentes sem afastamento tenha sofrido algum tipo de alteração no período.

Citamos os seguintes próximos passos da pesquisa:

- a. A modelagem paramétrica dos acidentes de trabalho com afastamento, visto que aparentemente ele apresenta um comportamento estacionário;
- b. A quantificação da exposição total ao risco na época de cada acidente, pois, como o nível de atividade varia bastante com o tempo e há a possibilidade de uma modelagem relacionando a taxa de acidentes com o grau de exposição ao risco ao longo do tempo;
- c. A identificação de covariáveis significativas à modelagem da gravidade dos acidentes, importante objeto do processo.

5. Referências:

- Atuncar, G. S.; Travassos, A. P. A. *Boundary problems of the kernel estimator and their approach*. Em preparação.
- Rigdon, S.E.; Basu, A. P. (2000) *Estatistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*. John Wiley & Sons, N.York;
- Silverman (1986) *Density estimation for statistics and data analysis*. Chappman and Hall, London;