

# Modelagem preditiva de riscos de acidentes no trabalho: uma aplicação da regressão de poisson

Domingos Napolitano, Ricardo Pinto Ferreira, Andréa Martiniano da Silva, Renato José Sassi

## Resumo

Prevenir acidentes é uma preocupação constante para gerentes de projetos na área de construção. Por isso, quantificar os riscos de acidentes é uma tarefa de grande relevância, sobretudo quando envolvem variáveis que podem ser gerenciadas com base na tomada de decisão. Diante disso, este trabalho analisou uma base de dados de acidentes e características organizacionais de 46 empresas, prestadoras de serviços no setor de infraestrutura, no período de 2007 a 2015. A técnica de análise utilizada

foi a Regressão Linear e de Poisson para os dados de contagem. O objetivo deste estudo foi o de apresentar uma modelagem preditiva de riscos de acidentes no trabalho, aplicando a regressão de Poisson. Como resultado, obteve-se um modelo probabilístico de risco que relaciona os processos e o desempenho de segurança para a quantificação do risco de acidentes. Com base no modelo proposto, foi possível constatar que é possível tomar decisões no momento de contratar ou não um serviço.

**Palavras chave:** Modelagem Preditiva. Riscos de Acidentes no Trabalho. Técnicas de avaliação de riscos. Regressão de Poisson.

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão de riscos de acidentes é um processo importante em projetos de construção. Mesmo existindo diversas ferramentas qualitativas para sua prevenção, o uso de modelos probabilísticos pode contribuir para a análise quantitativa do risco de acidentes, com base em determinadas variáveis que são características de uma organização.

Uma vez que o cenário, as possíveis consequências e as alternativas sejam estabelecidos, o gerente de projetos pode tomar decisões, visando a atingir o nível de risco tolerável para o projeto.

A própria organização contribui para a ocorrência de acidentes quando toma decisões que implicam em práticas que podem levar a eventos graves. Isto é, a negligência com a segurança acarreta efeitos catastróficos. Por outro lado, se dentro de um sistema produtivo, por exemplo, os níveis de produção não evoluírem, devido à falta de flexibilidade gerencial no tratamento de riscos, a empresa caminha para o fracasso (REASON, 1997).

Desse modo, a possibilidade de modelar o risco de acidentes contribui para melhores decisões do gerente do projeto, garantindo assim níveis de produção e segurança adequados aos riscos que a empresa está disposta a assumir.

Os eventos, em uma determinada unidade de tempo, podem ser modelados por meio da regressão de Poisson, que permite ajustar a frequência de sua ocorrência em um dado período de tempo, tendo como variáveis independentes características que se deseja relacionar aos eventos analisados (CAMERON e TRIVEDI, 2013).

A frequência de acidentes ocorridos em um ano, por exemplo, pode ser modelada de modo a diferenciar grupos de uma população com diferentes

características, que podem estar relacionadas a uma variação.

Para o desenvolvimento do modelo, analisou-se um banco de dados, envolvendo a ocorrência de acidentes, a quantidade de homens-hora trabalhadas (HHT) em cada organização observada, os dados referentes a inspeções de campo e os resultados de auditorias de processos de segurança. Tais dados foram consolidados com base em um modelo causal que estabelece a relação entre todas as variáveis estudadas.

Diante do que foi exposto, este trabalho teve como objetivo apresentar uma modelagem preditiva de riscos de acidentes no trabalho, aplicando a regressão de Poisson.

Além dessa breve introdução, as demais partes deste estudo estão organizadas da seguinte forma: na seção 2, é apresentado o referencial teórico; na seção 3, são apresentados os procedimentos metodológicos, e, na seção 4, são apresentados os resultados. O trabalho é encerrado com as considerações finais na seção 5.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A complexidade dos projetos de construção impacta em diversos processos de gestão, exigindo do gerente de projetos grandes esforços no sentido de integração, comunicação e controle, de modo a garantir que as metas e os objetivos sejam atingidos (KERZNER, 2011).

Assim, o *Project Management Institute* - PMI (2007) estabelece, como boas práticas, processos para gestão dos riscos de projetos que seguem a seguinte ordem: identificação, análise qualitativa, quantitativa, monitoramento e respostas aos riscos.

Para Reason (1997), acidentes são riscos que podem impactar não só na saúde e integridade física dos trabalhadores, como também na sobrevivência da empresa de um modo geral.

Deste modo, métodos que podem mensurar os riscos de acidentes na construção permitem ao gerente de projetos tomar melhores decisões com relação às alternativas para tratar desses riscos, que muitas vezes são motivados por questões internas da própria organização (REASON, 1997).

As falhas organizacionais estão presentes na origem de grandes acidentes e manifestam-se em incidentes menores, como lesões e danos de pequeno porte, que são resultados de práticas de gestão insuficientes e de baixo desempenho na proteção dos executantes das atividades.

Ainda, segundo Reason (1997), as organizações podem aprimorar seus processos na gestão de riscos sem a necessidade de passarem por acidentes de grandes proporções.

O gerenciamento de riscos da segurança em projetos envolve todos os processos desenvolvidos pelos patrocinadores e pela organização executora dos projetos no sentido de determinar políticas, objetivos e responsabilidades, fazendo com que o seu planejamento e execução contemplem a prevenção de acidentes (PMI, 2007).

De acordo com Drejer (2001), a competência de uma organização é caracterizada por meio da melhoria contínua e dos resultados cada vez melhores. Sob o ponto de vista estrutural, a competência é resultante de duas variáveis: o processo de gestão e o respectivo desempenho. Assim, quanto maior a competência na gestão de riscos de acidente, menor a sua frequência.

Com o objetivo de identificar a estrutura da competência, verificou-se que parte dos estudos analisados propõe o desenvolvimento de processos, como é o caso de Teo, Ling e Chong (2005); Cheng, Ng e Skidmore (2005) e Saurin (2000), de modo a auxiliar na condução segura de projetos, aplicando adequados processos para gestão de riscos.

Choudry, Fang e Mohamed (2007), por sua vez, explicam que a falta de comprometimento da gestão implica em uma baixa priorização da segurança e da velocidade de execução na busca por resultados imediatos, o que muitas vezes acaba aumentando as taxas de acidentes.

O uso de inspeções, como instrumento para a coleta de dados e avaliação do desempenho em segurança, é abordado por pesquisadores como Laitinen e Ruohomäki (1996) e Levine, Toeffel e Johnson (2012), que verificaram que ações de intervenção sistemáticas, realizadas por meio de inspeções nas atividades em canteiros de construção, melhoraram o desempenho de segurança nas obras observadas. Tais pesquisas demonstram a evolução do nível de segurança em diferentes projetos graças aos dados de inspeções em canteiros de obras.

Considerando os dois conceitos, desempenho e processo, Napolitano e Rabechini Jr. (2012) mensuraram esses componentes em projetos de construção, realizando uma avaliação qualitativa da competência na gestão de riscos de segurança. Neste trabalho, os autores verificaram que, ao estudar sua variação ao longo de um período de dois anos, foi possível compreender a evolução da competência e sua influência nos riscos de acidentes de projetos. Assim, a evolução no binômio processo e desempenho significa um melhor resultado em segurança e, portanto, uma menor frequência de acidentes.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foi utilizada uma base de dados relativa a incidentes, inspeções e auditorias de segurança em 46 empresas, no período de 2007 a 2015, todas prestadoras de serviços de construção para uma grande empresa do setor de infraestrutura, que procura padronizar as práticas de gestão de segurança entre suas contratadas, em um total de 163 observações.

Os dados obtidos foram organizados em um banco de dados que foi analisado no pacote estatístico *Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library* – GRETL (COTRELL e LUCCHETTI, 2007).

Tal ferramenta permite a análise de dados por meio de diferentes modelos lineares generalizados, como a regressão de Poisson, por exemplo. Além disso, ela possui a conveniência da gratuidade e o *open source* (MIXON JR., 2007).

Inicialmente, foi analisada a relação da variável independente (Media\_Processo) com a variável dependente (Media\_Desempenho) no intuito de verificar se as empresas com um melhor desempenho possuem processos mais robustos.

A técnica de regressão linear possibilita determinar a relação entre duas variáveis, resultando em um modelo representado pela equação  $y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_i$  onde  $y_i$  é o desempenho da  $i$ -ésima empresa, e  $x_i$  é o processo da  $i$ -ésima empresa.

Posteriormente, uma nova análise foi feita com o objetivo de estabelecer as relações entre o desempenho, o processo e a ocorrência de eventos de risco. A frequência de acidentes consiste na contagem de acidentes ocorridos no período de um ano em cada empresa observada. Deste modo, pode-se recorrer à utilização de análise de regressão de Poisson, que é adequada para dados de contagem.

Segundo Myers, Montgomery e Vinning (2010), a distribuição de Poisson é um modelo aplicável para dados de contagem. Como a ocorrência de acidentes no período de um ano pode ser considerada um dado de contagem, é possível modelá-la por meio da distribuição de Poisson, conforme apontado nos estudos de McCollough e Nelder (1989) e Reason (1989).

A distribuição de Poisson, para uma série de observações  $y_i$  de um dado evento, pode ser representada pela Equação 1:

$$f(\lambda_i) = \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{\lambda_i}}{\lambda_i!} \quad (1)$$

na qual:

$\lambda_i = 0, 1, 2, 3, \dots$  e  $\mu_i > 0$ ,  $\mu_i$  é um parâmetro da distribuição de Poisson que equivale a sua média e ao seu desvio padrão. Deste modo, dado um previsor  $x_i$ , é possível afirmar que  $E(\lambda_i) = \mu_i$  e  $\mu_i = \lambda_i$  e  $y_i^\beta \eta_i$ , sendo que  $E(\lambda_i)$  é a média de eventos de risco na  $i$ -ésima empresa e  $y_i$  é o seu desempenho.  $\eta_i$  é a variável de *off set*, que é um multiplicador, no caso o número de homens-hora trabalhada (HHT) pela  $i$ -ésima empresa.  $y_i$  e  $x_i$  são os previsores da contagem de eventos  $\lambda_i$ ,  $\beta$  e  $\alpha$  as constantes de regressão.

Sabendo que  $\mu_i$  equivale a média e a variância de  $y_i$ , pode-se estabelecer uma curva de probabilidade para um evento com  $y_i$  ocorrências. Sendo assim, formularam-se as seguintes hipóteses de pesquisa:

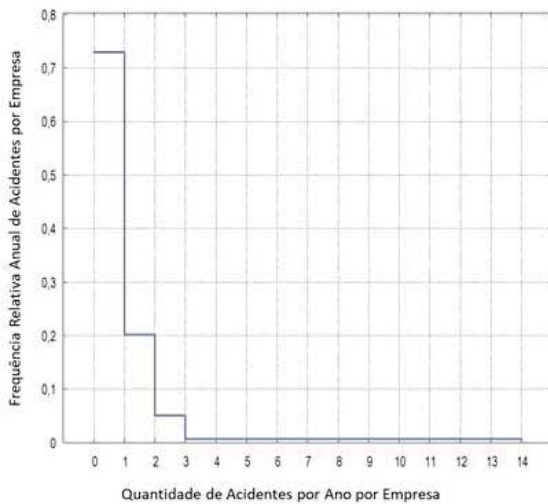
a) H1 - Os resultados de processos de gestão de riscos de segurança (Media\_Processo) influenciam o desempenho de campo (Media\_Desempenho);

b) H2 - O desempenho de campo (Media\_Desempenho) influencia o risco de ocorrência de acidentes.

#### 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, serão apresentados os dados utilizados no modelo, começando por uma avaliação de sua evolução ao longo do período de observação.

**Figura 1** – Distribuição de Frequência de

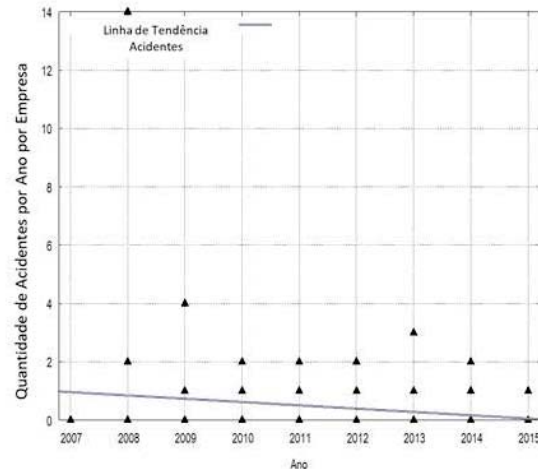


Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 1, são demonstradas a evolução e a distribuição e frequências da variável dependente Acidentes (Quantidade de Acidentes por Ano por Empresa), que descreve, para cada um dos sujeitos observados, a ocorrência de acidentes com perda de tempo ou com alto potencial para graves consequências, como afastamento ou trabalho restrito.

Já na Figura 2, pode-se observar a sequência dos acidentes ao longo do tempo de observação e a tendência de quedas.

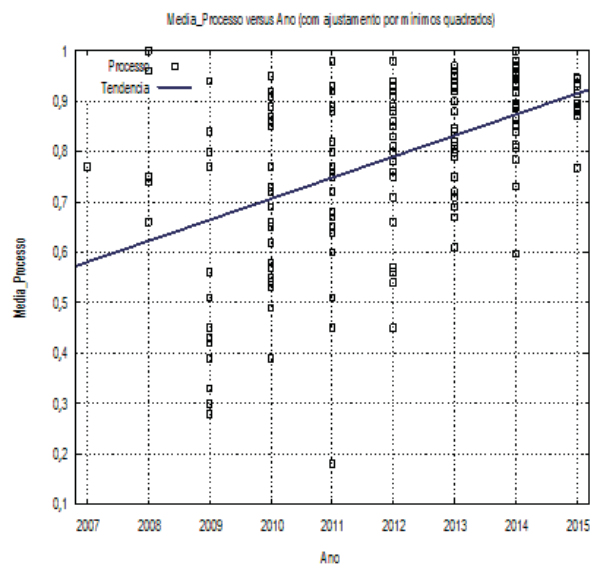
**Figura 2** – Evolução ao longo do tempo de Eventos\_Graves



Fonte: Elaborado pelos autores

A variável que mede o processo (Media\_Processo) apresentou uma evolução ao longo do tempo com uma respectiva diminuição da dispersão, como apresentado na Figura 3.

**Figura 3** – Evolução ao longo do tempo de Media\_Processo

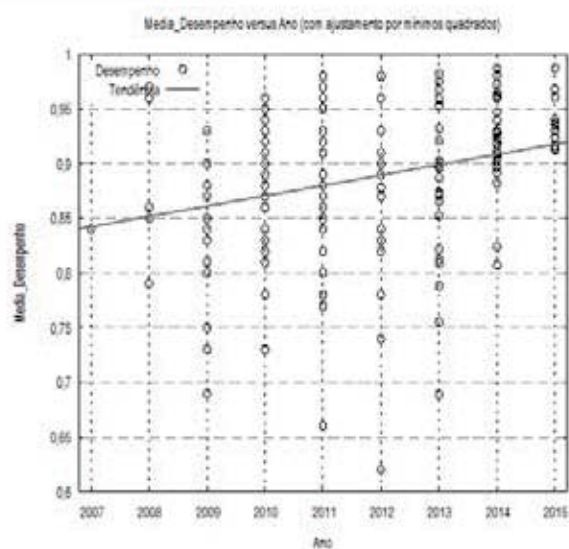


Fonte: Elaborado pelos autores

Do mesmo modo, na Figura 4, demonstra-se a evolução da variável que mede o desempenho

(Media\_Desempenho). Primeiro, foi realizada a análise de regressão linear entre as variáveis Media\_Processo e Media\_Desempenho, cujos resultados, que podem ser visualizados a seguir na Tabela 1, revelam uma relação estatisticamente significativa entre processo e desempenho, consolidando a hipótese H1 de que quanto melhor o resultado do processo, melhor o desempenho.

**Figura 4** – Evolução da variável



Fonte: Elaborado pelos autores

Na Tabela 1, é apresentado o resultado da regressão entre a variável independente (Média\_Processo) e a variável dependente (Média\_Desempenho), onde é possível observar uma relação entre ambas. Em termos de qualidade de ajuste, este primeiro modelo demonstrou alto nível de significância, visto que o p-value encontrado foi  $< 0,0001$ . Já o  $R^2$ , que pode ser entendido como o poder de explicação do modelo, foi considerado médio, pois, para a área de ciências sociais e comportamentais, COHEN (1988) sugere que, para regressão linear,  $R^2=2\%$  seja classificado como pequeno,  $R^2=13\%$ , como médio, e  $R^2=26\%$ , como efeito grande. Como o valor encontrado foi de 16%, pode-se considerar um efeito médio, indicando a possibilidade de desenvolvimento

de novos estudos e experimentos para melhorar o poder de explicação do modelo.

**Tabela 1** – Mínimos quadrados ordinários, usando as observações 1-163, variável dependente: Media\_Desempenho

	Coefficiente	Erro Padrão	tazão-t	p-valor
const	0,761234	0,0228032	33,3828	<0,0001 ***
Media_Processo	0,161369	0,0286272	5,6369	<0,0001 ***
Média var. dependente	0,886795	D.P. var. dependente		0,067966
Soma resid. quadrados	0,624984	E.P. da regressão		0,062305
R-quadrado	0,164829	R-quadrado ajustado		0,159642
E(1, 161)	31,77488	P-valor(F)		7,58e-08
Log da verossimilhança	222,1610	Critério de Akaike		-440,3220
Critério de Schwarz	-434,1345	Critério Hannan-Quinn		-437,8100

Fonte: Elaborado pelos autores

A segunda hipótese, por envolver dados de frequência, demanda por um processo de regressão de Poisson, de modo que se retorne a média de uma distribuição relativa à frequência de acidentes. Os dados relativos ao modelo de regressão são apresentados na Tabela 2, a seguir.

**Tabela 2** – Modelo Poisson, usando as observações 1-163 variável dependente: Acidentes

	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-valor
const	5,54339	1,54835	3,5802	0,0003 ***
Media_Desempenho	-6,16865	1,78315	-3,4594	0,0005 ***
Média var. dependente	0,433962	D.P. var. dependente		1,270544
Soma resid. Quadrados	250,4561	E.P. da regressão		1,263037
R-quadrado de McFadden	0,032472	R-quadrado ajustado		0,019847
Log da verossimilhança	-153,2690	Critério de Akaike		310,5379
Critério de Schwarz	316,6757	Critério Hannan-Quinn		313,0304

Fonte: Elaborado pelos autores

Com os resultados encontrados nos modelos de regressão linear e de Poisson, pôde-se observar que há uma cadeia de influências que parecem corroborar com os pontos citados no referencial teórico, onde processo e desempenho têm uma relação com a redução no número de acidentes, sendo que o processo exerce um efeito indireto.

Assim, obtiveram-se dois modelos de regressão, o primeiro que relaciona processo (Media\_Processo) e desempenho (Media\_Desempenho), e o segundo que relaciona desempenho com a ocorrência

Acidentes (Eventos\_Graves). As Equações 2 e 3 representam matematicamente esses modelos.

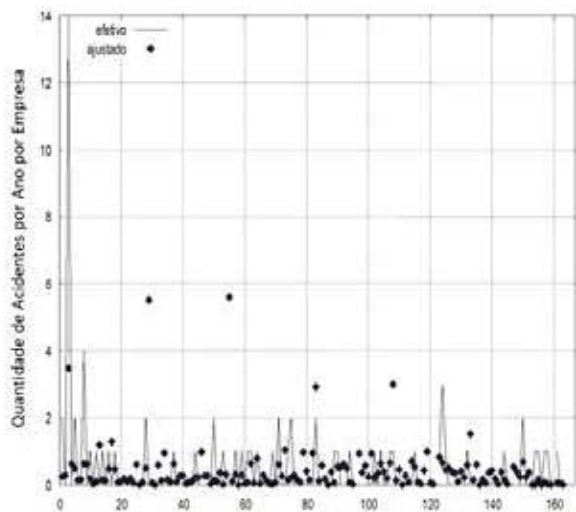
$$MediaDesempenho = 0.15 \cdot MediaProcesso + 0.76 \quad (2)$$

$$Acidentes = HomensHora \cdot e^{-6.17 \cdot MédiaDesempenho + 5.54} \quad (3)$$

As equações permitem estabelecer o risco de acidentes, tendo como base variáveis observáveis, que podem ser obtidas por meio de auditorias e inspeções.

A capacidade preditiva do modelo pode ser observada na Figura 5, em que o valor efetivo é comparado ao ajustado.

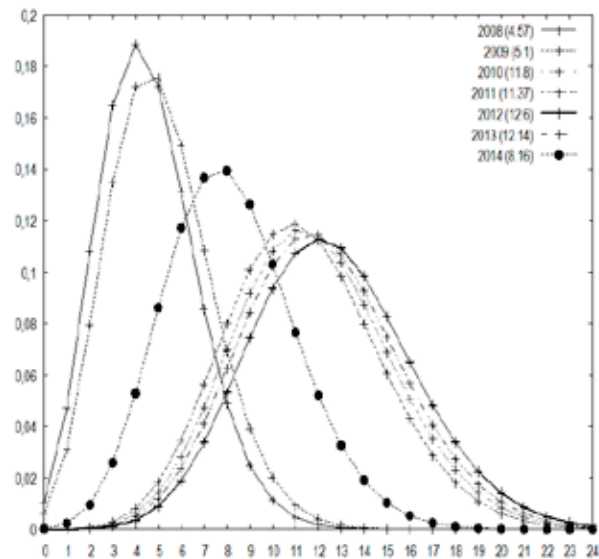
**Figura 5** – Comparativo entre efetivo versus ajustado do modelo de Poisson gerado



Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se, na Figura 5, que, na regressão de Poisson, o resultado é a média de uma distribuição de Poisson, ou seja, o valor efetivo deve estar dentro da curva. Por fim, são apresentadas, na Figura 6, as curvas de distribuição.

**Figura 6** - Curvas de distribuição de probabilidades esperadas para cada ano



Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 6, são demonstradas as curvas de distribuição para cada ano trabalhado, considerando as horas reais e os resultados de desempenho observados, e determinando a curva de risco ano a ano.

Um aspecto importante a ser observado na Figura 6 é que, para cada uma das organizações pesquisadas, há uma distribuição de probabilidades de acidentes, e, quanto mais deslocada à direita, maior é o risco de acidentes desta organização.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de análise confirmou que a competência é um elemento resultante de processos, desempenho e influência na frequência de acidentes.

Com o modelo estudado, foi possível mensurar o risco de acidentes de uma empresa contratada, baseando-se em características observáveis, principalmente no que se refere ao desempenho no campo e aos processos de gestão, e ainda estimar a frequência esperada de acidentes com base na

quantidade de homens-horas (HHT) para executar o trabalho.

De acordo com essa estimativa de acidentes, o gerente de projetos pode escolher o nível de produção de cada empresa por meio da sua competência, ou mesmo definir metas para melhoria do desempenho em campo e melhorias de processos.

Para estudos futuros, pretende-se utilizar técnicas de Inteligência Computacional com o objetivo de comparar os modelos obtidos. A mesma técnica empregada neste trabalho pode ser aplicada a outras amostras no sentido de validar um modelo teórico que explique a influência de aspectos organizacionais na ocorrência de acidentes.

## 6 REFERÊNCIAS

- CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Regression analysis of count data**. Cambridge university press, 2013.
- CHENG, K. P.; NG, S. T.; SKIDMORE, R. M. A framework for evaluating the safety performance of construction contractors. **Building and Environment**, v. 40, p. 1347–1355, 2005.
- CHOUDRY, R. M.; FANG, D.; MOHAMED, S. The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art. **Safety Science**, v. 45 (10), p. 993-1012, 2007.
- COHEN, J. **Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2nd ed. New York: Psychology Press, 1988.
- COTRELL A.; LUCCHETTI, R. **GRETl User's Guide**: Gnu Regression, Econometrics and Time-series, 2007. Disponível em: <<https://sourceforge.net/projects/gretl/files/manual/>> Acesso em: dia mês ano.
- DREJER, A. How can we define and understand competencies and their development. **Technovation**, v. 21, p. 135-146, 2001.
- KERZNER, H. **Gerenciamento de projetos - Uma abordagem sistêmica para planejamento, programação e controle**. Tradução de J. Gama Neto & J. Prado. 10ªed. São Paulo, São Paulo, Brasil: Edgard Blucher Ltda, 2011.
- LAITINEN, H.; RUOHOMÄKI, I. The effects of feedback and goal setting on safety performance at two construction sites. **Safety Science**, v. 24, n. 1, p. 61-73, 1996.
- LEVINE, D. I.; TOFFEL, M. W.; JOHNSON, M. S. Randomized government safety inspections reduce worker injuries with no detectable job loss. **Science**, v. 336(6083), p. 907-911, 2012.
- MCCOLLOUGH, P.; NELDER, J. **Generalized linear models**. 2ª ed, New York, NY, USA. Chapman and Hall, 1989.
- MIXON JR, J. GRETl: an econometrics package for teaching and research. **Managerial Finance**, v. 36, n. 1, p. 71-81, 2009.
- MYERS, R.; MONTGOMERY, D.; VINING, G. **Generalized linear models, with applications in engineering and sciences**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley and Sons, 2010.



NAPOLITANO, D. M.; RABECHINI JR., R. Gestão de risco e desempenho de projetos complexos: o grid das competências. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 12(3), p. 287-310, 2012.

PMI. **Construction Extension to the PMBOK Guide Third Edition (Project Management Institute)**. Newton Square, Pennsylvania, USA: Project Management Institute, Inc., 2007.

REASON, J. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Farnham, Surrey, England: Ashgate Publishing Ltd, 1997.

SAURIN, Tarcisio Abreu; RIBEIRO, José Luis Duarte. Segurança no trabalho em um canteiro de obras: percepções dos operários e da gerência. **Prod.**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 05-17, jun. 2000.

TEO, E. A.; LING, F. Y.; CHONG, A. F. Framework for project managers to manage construction safety. **International Journal of Project Management**, v. 23 (n. 4), p. 329-341, 2005.