

# PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS SOB A ÓTICA DA NÃO-LINEARIDADE<sup>1</sup>

VIVAN, A.L., Universidade Federal de São Carlos, email: andreluizvivan@gmail.com; ARAUJO, A.V. de, E., Universidade Federal de São Carlos, email: alexandre\_vicentini@hotmail.com; PALIARI, J.P., Universidade Federal de São Carlos, email: jpalari@ufscar.br

## ABSTRACT

*Traditionally, the planning and control of processes in the construction industry is determined through deterministic techniques and/or tools, in which the eventual variations and unpredictability that affect production rates are not explicitly considered, so that production varies linearly with time. Thus, this paper proposes the nonlinear analysis of productivity, from the perspective of the parameters inherent to the theory of nonlinear dynamics. It is a theoretical study whose results are characterized by the qualitative analysis of productivity evolution. The qualitative results indicated a possible adherence of the behavior of production rates to the concepts of the theory in question.*

**Keywords:** Construction. Planning. Control. Production. Nonlinear dynamics.

## 1 INTRODUÇÃO

Este artigo sugere a análise do desempenho de canteiros de obras com a teoria dinâmica não-linear (TDNL). O objetivo é mostrar que o planejamento e o controle de uma obra podem ser entendidos e aplicados sob a ótica de um sistema de produção complexo (canteiros de obras), para o qual há uma teoria específica que descreve o seu comportamento, a TDNL.

Para isso, o presente artigo apresenta uma análise teórica simplificada (sob o ponto de vista da teoria em questão), fazendo uso de uma determinada quantidade de dados de produtividade de um serviço. Estes dados foram validados frente a dados de produtividade reais medidos em canteiros e variados aleatoriamente conforme a Distribuição Beta. A partir das informações oriundas desta variação, foi feita a análise sob a ótica não-linear e algumas considerações foram descritas.

Entende-se que a abordagem do planejamento/controle da construção sob uma ótica diferente da tradicional pode contribuir para um melhor entendimento da dinâmica do canteiro, conferindo maior precisão ao planejamento e um controle mais efetivo dos serviços. Assim, apontam-se as vantagens desse tipo de análise para sistemas de produção indicadas por Wiendahl e Worbs (2003):

- Organização da produção: novos métodos dinâmicos de controle da produção; novos conceitos de organização;
- Sistemas de produção: antecipação para a identificação e diagnóstico de erros e falhas; aumento da disponibilidade da

---

<sup>1</sup> VIVAN, A.L.; ARAUJO, A.V. de; PALIARI, J.C. Planejamento e Controle de Obras sob a Ótica da Não-Linearidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

produção; referências para o desenvolvimento de novos recursos físicos;

- Processos: melhoria da qualidade dos subprocessos; aumento da velocidade de processamento.

## 2 DINÂMICA NÃO-LINEAR E PLANEJAMENTO DE OBRAS

Para Zahra e Ryan (2006) a TDNL leva em conta que sistemas e organizações são dinâmicos, complexos e sinérgicos. Efthymiou et al. (2012) esclarecem que a não-linearidade implica que nos sistemas, as saídas não são necessariamente proporcionais às entradas, sendo que uma característica chave de sistemas não-lineares é a sua sensibilidade às condições iniciais.

Gleick (1989) mostra que em sistemas não-lineares, os erros e as incertezas se multiplicam, formando um efeito “cascata”. Neste sentido, a partir de análises gráficas de séries de dados, perturbações no comportamento de tais sistemas, podem representar qualquer mudança qualitativa em seu comportamento. Normalmente, tais bifurcações são identificadas como saltos ou variações bruscas nos gráficos (LU; CLEMENTS-CROOME; VILJANEN, 2010a).

Na construção civil, tradicionalmente, os profissionais elaboram o planejamento dos empreendimentos considerando que as variáveis atuantes nos canteiros de obras mudam linearmente com o tempo (fato evidente na elaboração de cronogramas). Isto confere uma imprecisão nos prazos finais e intermediários que estão sendo determinados, tendo em vista que um canteiro de obras envolve diversas variáveis que podem facilmente afetar seu desempenho durante o processo produtivo.

Além disso, a tradicional análise linear de um sistema entende que em sua dinâmica, pequenas causas quase sempre levam a pequenos efeitos (KANTZ; SCHREIBER, 2004). Os referidos autores também mostram que, com a TDNL, fatores externos podem não ser os únicos responsáveis por eventuais irregularidades no desempenho dos sistemas.

Assim, Allen (2008) sugere que novos modelos são necessários para se entender de uma maneira mais profunda como as mudanças ocorrem no ambiente construído. Assim, Lu, Croome e Viljanen (2010b) consideram que a TDNL oferece uma sólida fundamentação teórica e metodológica para a interpretação de uma vasta classe de problemas não-lineares e/ou instáveis que, de fato, contribuem para a caracterização da crescente complexidade presente nos canteiros de obras.

## 3 UMA PROPOSTA DE ANÁLISE

Esta etapa é composta pela seleção da atividade de construção a ser analisada, geração da série de tempos e consequente validação dos dados.

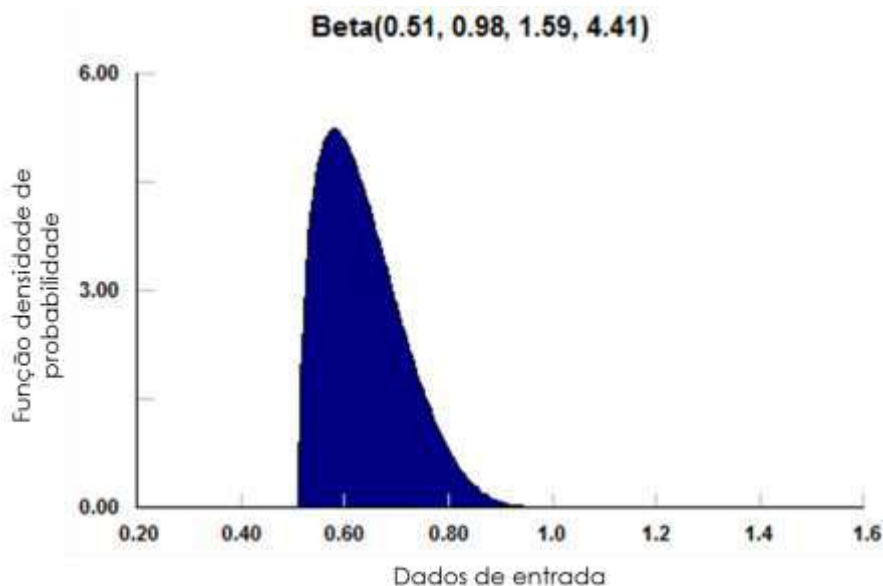
### 3.1 Geração de Dados

A análise não-linear por séries de tempos necessita de uma quantidade significativa de dados para que os seus resultados possam ser considerados. A medição de uma série com milhares de dados de tempo pode ser considerada impossível num único canteiro de obras, dadas as circunstâncias do mesmo. Nesse sentido, este artigo propõe a obtenção da série por meio da variação da taxa de produção dos serviços. Esta variação é condicionada pela Distribuição Beta, com as condições definidas pelo PERT probabilístico.

Para isso, é necessário que se conheçam os três tipos de durações do serviço que é objeto de análise. Assim, o serviço de elevação de paredes de alvenaria de vedação de blocos de concreto foi selecionado, pois, além de serem conhecidas as três durações, este serviço se configura como um dos mais comuns num canteiro, além de consumir grande quantidade de tempo e recursos. De acordo com a Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO, 2008), para este serviço, a produtividade varia da seguinte forma: otimista – 0,51 Hh/m<sup>2</sup>; mais provável – 0,71 Hh/m<sup>2</sup>; pessimista – 0,98 Hh/m<sup>2</sup>.

Com tais índices, os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da Distribuição Beta correspondente àquela variação devem assumir os seguintes valores:  $\alpha = 1.59$  e  $\beta = 4.49$ . Com isso, é possível estruturar a Distribuição Beta para a variação da TCPO (2008), como ilustrado na Figura 1.

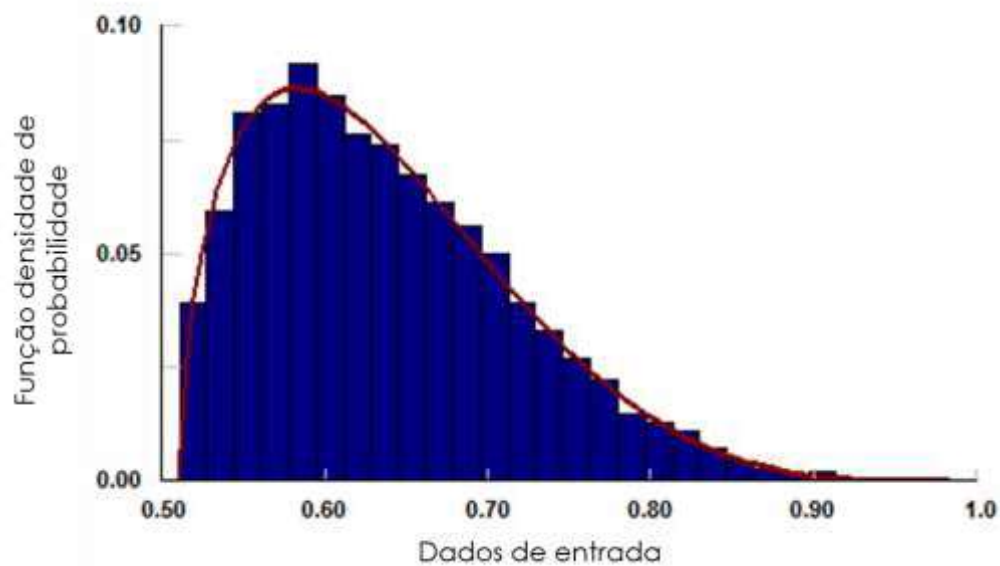
Figura 1: Distribuição estatística da produtividade variável



Fonte: Autores

O gráfico da Figura 1 mostra a Distribuição Beta referente a variação indicada pela TCPO (2008), estruturada de acordo com o método PERT. Assim, nestas condições foram geradas algumas centenas de valores aleatórios, cuja distribuição está ilustrada na Figura 2.

Figura 2: Distribuição estatística dos dados gerados aleatoriamente

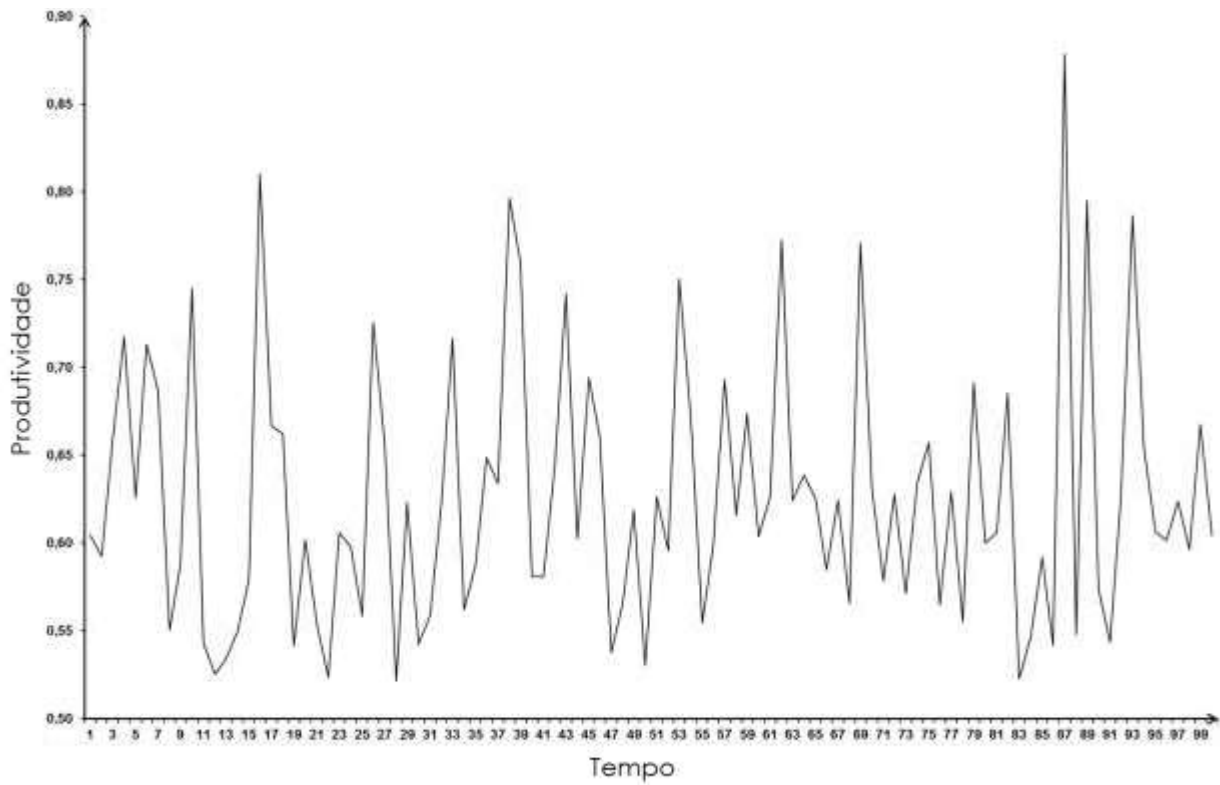


Fonte: Autores

Organizando os 100 primeiros dados gerados em um gráfico representado na Figura 3, (impondo-se que o eixo x representa a evolução do tempo independente da unidade), nota-se que a evolução da taxa de produção aparece totalmente irregular e, aparentemente, de forma aleatória. Assim, nenhuma previsão de duração pode ser feita considerando o comportamento do sistema.

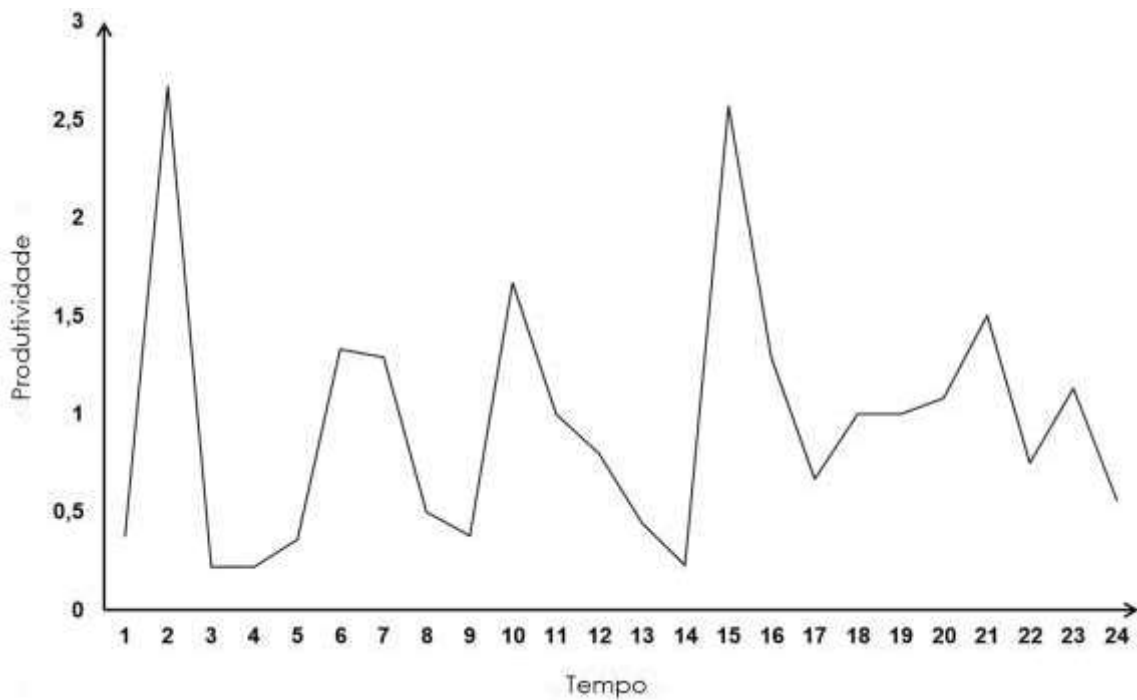
O comportamento representado na Figura 3 pode ser considerado como representativo quando comparado com a mesma análise a partir de dados medidos em canteiros reais. Paliari (2008) registra algumas unidades de dados de produtividade referentes a instalações hidráulicas em várias obras diferentes, de maneira que, aplicando a mesma análise feita na Figura 3, nota-se a mesma irregularidade ao longo do tempo, agora ilustrada na Figura 4.

Figura 3: Evolução dos dados de produtividade gerados aleatoriamente



Fonte: Autores

Figura 4: Evolução dos dados de produtividade de Paliari (2008)



Fonte: Autores

Comparando os gráficos da Figura 3 e Figura 4, é possível notar que, apesar de serem serviços diferentes, o comportamento ao longo do tempo é semelhante. Na Tabela 1 apresentam-se algumas informações da estatística

descritiva com o intuito de se comparar os dados gerados com os de Paliari (2008).

Tabela 1: Estatística descritiva comparada entre os dados gerados e reais

<b>Estatística Descritiva</b>	<b>Dados Gerados</b>	<b>Dados de Paliari (2008)</b>
Desvio-padrão	0,14	0,66
Média	0,76	0,96
Mediana	0,78	0,90
Coeficiente de variação	0,18	0,68

Fonte: Autores

Pela Tabela 1, nota-se que o coeficiente de variação dos dados gerados é menor do que os de Paliari (2008), o que confere maior precisão dos dados teóricos, ou seja, o desvio-padrão é muito mais significativo nos dados reais. Assim, frente às comparações (gráfica e estatística), é coerente afirmar que os dados gerados computacionalmente em função da Distribuição Beta podem ser considerados válidos, pois se aproximam do comportamento de dados reais de produtividade diária.

### 3.2 Análises

Uma vez que a validação dos dados esteja compreendida, é possível traçar algumas considerações sob a ótica da dinâmica não-linear acerca do gráfico da Figura 3. Estas observações são preliminares, pois a análise completa envolve outros conceitos e técnicas que fogem do escopo deste estudo inicial. Tendo em vista as dificuldades em se aplicar a análise não-linear num sistema de produção, torna-se necessário estabelecer alguns parâmetros para a análise. Assim, as seguintes considerações foram feitas:

- 1 – Para os dados gerados aleatoriamente, assume-se que os valores de produtividade representam uma taxa medida a cada unidade de hora;
- 2 – Os dados gerados são contínuos, ou seja, foram desprezados os intervalos que normalmente existem em uma obra;
- 3 – Assume-se que dados de baixa produtividade (índices próximos da duração pessimista) influenciam dados subsequentes de alta produtividade (índices próximos aos da duração otimista). Este parâmetro também representa ações de aumento da produção nos canteiros frente a problemas na produtividade.

Com as considerações feitas, as seguintes análises podem ser descritas:

- 1 – Uma primeira análise da Figura 3 mostra um tipo de dinamismo complexo e claramente não sistemático, incluindo mudanças súbitas ao longo do tempo ao invés de apresentar uma curva simples com tendências claras ou cíclicas (cadência);
- 2 – O padrão da curva aparentemente caótica, não é originado de um processo meramente casual. Pode-se dizer que foi originado pela relação

matemática determinada pela Razão Unitária de Produção (RUP), conforme a Equação 1. Assim, uma sequência de dados que aparenta ser estocástica pode ser, na verdade, determinística. Dessa forma, pode-se dizer que a variação da produção da alvenaria é governada por algumas leis, equações ou procedimentos que determinam ou especificam os resultados;

$$RUP = \frac{H \times h}{QS} \quad (1)$$

Assim, quem varia de acordo com a Distribuição Beta é a Produtividade (RUP – Razão Unitária de Produção), sendo denotado da seguinte forma: RUP ~ Beta ( $\alpha$ ,  $\beta$ ).

3 – O comportamento essencialmente caótico dos gráficos origina-se com apenas uma variável dependente, a RUP, isto é, o comportamento desordenado de um sistema não necessariamente tem sua origem a partir da interação de diversas variáveis em suas respectivas equações, pois:

A desordem do gráfico, apesar da influência de variáveis independentes, foi inteiramente gerada pelos dados que representam as RUP's, o que indica, que o comportamento aparentemente desorganizado e complexo, é originário de uma equação determinística.

5 – Simulando a produção hipotética de alvenaria com índices variando aleatoriamente (Figura 3), em 100 dias de 8 horas de trabalho, e comparando com a produção de alvenaria nas mesmas condições, mas fazendo uso da produtividade variável da TCPO (2008), obtêm-se os seguintes valores descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Produção de alvenaria frente a produtividades diferentes

<b>Produtividade/Serviço</b>	<b>Aleatória</b>	<b>0,51 Hh/m<sup>2</sup></b>	<b>0,71 Hh/m<sup>2</sup></b>	<b>0,98 Hh/m<sup>2</sup></b>
Alvenaria produzida (m <sup>2</sup> )	579,97	408	568	908

Fonte: Autores

Analisando a Tabela 2 nota-se que a produção de alvenaria com a distribuição aleatória de produtividade, e a produção utilizando a mediana da TCPO (2008) de 0,71 Hh/m<sup>2</sup>, são próximas, com uma diferença de 2,06% em relação à produtividade aleatória. Já a melhor e a pior produtividade implicam numa diferença de 56,56% e 29,65% respectivamente.

Esta análise é importante, pois mostra que, apesar da diferença de 2,06% ser pequena ao se utilizar a mediana como parâmetro de produtividade, quando se trata de uma obra com repetição (edifícios de múltiplos pavimentos, condomínios horizontais, etc.) esta diferença pode se propagar ao longo das unidades, de maneira que o planejamento da obra perde precisão e, muitas vezes, se torna ilusório frente ao canteiro de obras.



Assim, a possibilidade do conhecimento e uso da variação da produtividade ao longo do tempo se faz especialmente importante quando se trata do desenvolvimento de planejamentos de curto prazo, momento no qual o profissional precisa incorporar o máximo possível, a variabilidade do canteiro com o intuito de entregar estimativas as mais precisas possíveis e permitir um controle mais efetivo na obra.

#### 4 CONSIDERAÇÕES

O artigo propôs uma análise conceitual para o planejamento/gerenciamento de obras sob a ótica da TDNL. Isso foi feito, não para o canteiro como um todo, mas para um subprocesso definido pelos dados de produtividade variável da alvenaria.

O gráfico resultante dos dados gerados mostrou um comportamento desordenado, sem um padrão explícito, fato que se repetiu para dados reais aferidos em canteiro. De certa forma a análise proposta, apesar de simples e essencialmente teórica, apontou indícios que evidenciam a presença de atributos típicos de sistemas ditos caóticos, mas que necessitam ser testados por meio dos procedimentos compreendidos pela teoria em questão.

Isto justifica um estudo detalhado envolvendo, portanto, a TDNL e o comportamento dos canteiros, visto que tal abordagem pode oferecer maior precisão ao planejamento e um controle mais efetivo das atividades de construção a partir da identificação de novos parâmetros e variáveis até então desconsideradas.

#### REFERÊNCIAS

- ALLEN, P. M. The importance of complexity for the research agenda in the built environment. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 4, n. 1, p. 5-14, 2008.
- EFTHYMIU, K., PAGOROPOULOS, A., PAPAKOSTAS, N., MOURTZIS, D., & CHRYSSOLOURIS, G. Manufacturing systems complexity review: challenges and outlook. **Procedia CIRP**, v. 3, p. 644-649, 2012.
- GLEICK, J. **Caos: A Criação de Uma Nova Ciência**. 11. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.
- KANTZ, H.; SCHREIBER, T. **Nonlinear time series analysis**. Cambridge university press, 2004.
- LU, X.; CROOME-CLEMENTS, D.; VILJANEN, M. Integration of Chaos Theory and Mathematics Models in Building Simulation – Part I: Literature Review. **Automation in Construction**. V.19, p.447-451. 2010a.
- LU, X.; CROOME-CLEMENTS, D.; VILJANEN, M. Integration of Chaos Theory and Mathematics Models in Building Simulation – Part II: Conceptual Frameworks. **Automation in Construction**. V.19, p.452-457. 2010b.



PALIARI, J. C. **Método para prognóstico da produtividade da mão-de-obra e consumo unitário de materiais: sistemas prediais hidráulicos.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2008.

SCHOLZ-REITER, B.; FREITAG, M.; SCHMIEDER, A. Modelling and control of production systems based on nonlinear dynamics theory. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 51, n. 1, p. 375-378, 2002.

WIENDAHL, H.P.; WORBS, J. Simulation based analysis of complex production systems with methods of non-linear dynamics. **Journal of Material Processing Technology**, 139, p. 28-34. 2003.

TCPO - **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos.** Editora Pini. 13 ed. São Paulo. 2008.

ZAHRA, A.; RYAN, C. From chaos to cohesion—Complexity in tourism structures: An analysis of New Zealand's regional tourism organizations. **Tourism Management**, v. 28, n. 3, p. 854-862, 2007.