

©Copyright, 2006. All rights reserved. Reproduction of the articles, either in full or in part, is allowed, provided the obligation to indicate INTERFACEHS' ownership of the copyright of the same is observed, with full mention of the source of such articles. If in doubt, contact the secretarial department: [interfacehs@interfacehs.com.br](mailto:interfacehs@interfacehs.com.br)

## **O TRATAMENTO POR FATORES NO SANEAMENTO**

Cleumo Cordoville

*Eng. civil, doutorando e professor adjunto II do Depto. de eng. civil da UFF.*

### **RESUMO**

Este trabalho propõe um tratamento por fatores na análise de índices de saneamento e o seu emprego na determinação das melhorias desses índices proporcionadas por ações de saneamento. Para isso discute a dificuldade da aplicação do IDH e de outros índices em trabalhos desse tipo e apresenta um desenvolvimento em cima de índices de mortalidade infantil baseado na metodologia de tratamento por fatores.

**Palavra-chave:** método de tratamento por fatores com os índices de saneamento

## INTRODUCTION

Nos projetos de engenharia de meio ambiente, na parte referente aos sistemas de distribuição de água potável, coleta de esgoto sanitário, coleta de resíduos sólidos, etc., que aparecem nos planos de urbanização, ocorre sempre a necessidade de orçamentação desses serviços, que compõem parte do custo total de um empreendimento desse tipo.

Ocorre também a necessidade de cruzar esses números com os índices de saneamento existente antes das obras e da implantação dos serviços, com os novos índices a serem proporcionados por essas ações ou, ainda, inversamente, definir, através das variações desses índices, as obras de saneamento necessárias.

## DISCURSÃO DOS ÍNDICES

Atualmente está em moda o IDH – Índice de Desenvolvimento Humano, para identificar o grau de desenvolvimento de uma região. Como discutiremos, há dificuldades em aplicá-lo em comunidades menores, e ele não se aplica bem ao Brasil, pois foi originalmente definido para aplicação em outros países.

O IDH foi criado para medir o nível de desenvolvimento humano dos países a partir de indicadores de educação (alfabetização e taxa de matrícula), longevidade (expectativa de vida ao nascer) e renda (PIB per capita).

Seus valores variam de 0 (zero, nenhum desenvolvimento humano) a 1 (um, desenvolvimento humano total). Países com IDH até 0,499 são considerados de desenvolvimento humano baixo; com índices entre 0,500 e 0,799, são considerados de desenvolvimento humano médio; e, com índices maiores que 0,800, são considerados de desenvolvimento humano alto.

O IDH é composto pela média de três índices, o IDH-E, o IDH-L e o IDH-R, o IDH Educação, o IDH Longevidade e o IDH Renda, respectivamente.

O Índice de Desenvolvimento Humano também é utilizado para aferir o nível de desenvolvimento humano em municípios, denominando-se IDH-Municipal ou IDH-M e,

embora meça os mesmos fenômenos – educação, longevidade e renda –, os indicadores levados em conta não são mais adequados para avaliar as condições de núcleos sociais menores.

Assim, o IDHM-E de um município é dado pela fórmula  $(2 \cdot A + 1 \cdot F) \div 3$ , onde “A” é a taxa de alfabetização de pessoas acima de 15 anos de idade, com peso 2, e “F” a taxa bruta de frequência à escola com peso 1. Como exemplo, se um município tem uma taxa bruta de frequência à escola igual a 85% e uma taxa de alfabetização de 91%, o cálculo será assim:  $[0,85 + (2 \times 0,91)] \div 3 = (0,85 + 1,82) \div 3 = 2,67 \div 3 = 0,89$ . Logo, o IDHM-E do município será 0,89.

Para o cálculo do IDHM-L, determina-se a expectativa de vida ao nascer no município (E) e usa-se a fórmula  $IDHM-L = (E - 25/60)$ . Como exemplo, para transformar esse número de anos em um índice, usa-se como parâmetro máximo de longevidade 85 anos, e, como parâmetro mínimo, 25 anos. Assim, se o município em questão tem uma esperança de vida ao nascer de 70 anos, seu IDHM-L será  $(70 - 25) / (85 - 25) = 45 / 60 \Rightarrow IDHM-L = 0,750$ . Logo, o IDHM-L do município será 0,750.

Finalmente, para se calcular o IDHM-R, determina-se a renda municipal per capita (R) e, em seguida, aplica-se à fórmula:  $IDHM-R = [(\log_{10} \text{ de renda média municipal per capita} - \log_{10} \text{ do valor de referência mínimo}) \div (\log_{10} \text{ do valor de referência máximo} - \log_{10} \text{ do valor de referência mínimo})] = \log_{10} (R / 3,9) \div 2,6$  para valores usuais. O logaritmo é usado porque ele expressa melhor o fato de que um acréscimo de renda para os mais pobres é proporcionalmente mais relevante do que para os mais ricos. Ou seja: R\$10,00 a mais por mês para quem ganha R\$ 100,00 proporciona um maior retorno em bem-estar do que R\$ 10,00 para quem ganha R\$ 10.000,00. Para o caso, valor de referência mínimo é R\$3,90 e o valor de referência máximo é R\$ 1.560,17.

Como exemplo, aplicando-se a fórmula acima para um município com renda municipal per capita de R\$ 827,35, o cálculo ficaria assim:  $[IDHM-R = (\log_{10} R\$ 827,35 - \log_{10} R\$ 3,90) \div$

$(\log_{10} R\$ 1.560,17 - \log_{10} R\$ 3,90)] = 0,894$ . Logo o IDHM-R será 0.894.

Essas equações foram ajustadas, de forma que os três subíndices, IDHM-E, IDHM-L e IDHM-R, estejam entre 0 e 1.

O IDH-M de cada município é a média aritmética desses três índices específicos: somam-se os valores e divide-se o resultado por três  $[(IDHM-E + IDHM-L + IDHM-R) \div 3]$ . No nosso exemplo, teríamos:  $IDH M = (0,890 + 0,750 + 0,894) \div 3 = 0,844$  ([www.undp.org.br](http://www.undp.org.br)).

Os cinco estados com maiores IDH-M no Brasil são, respectivamente, Distrito Federal (0,844), São Paulo (0,814), Rio Grande do Sul (0,809), Santa Catarina (0,806) e Rio de Janeiro (0,802), situando-se na faixa de alto desenvolvimento humano. Todos os demais se encontram na categoria de médio desenvolvimento humano. Os cinco IDH-M mais baixos são: Alagoas (0,633), Maranhão (0,647), Piauí (0,673), Paraíba (0,678) e Sergipe (0,687). Nenhum estado brasileiro tem se situado na faixa de baixo desenvolvimento humano.

Como sabemos, mesmo em estados brasileiros de alto desenvolvimento humano, encontramos locais e populações com baixa qualidade de vida, devida à falta de sistemas de distribuição de água, coleta de esgoto, não tratamento dos efluentes lançados no meio, etc.

Se quisermos relacionar, por exemplo, o IDH-L com o número de ligações de água e/ou o número de ligações de esgoto, mais presentes nas estatísticas disponíveis, obteríamos até uma tendência, mas esta sofreria interferências e diluições com os outros IDHs, mascarando ainda mais os resultados finais.

Observa-se que se emprega o índice GINI para medir a desigualdade de distribuição de renda, que varia também de zero a um. Quanto maior o resultado, mais desigual é a distribuição de renda. Esse índice também não se mostra adequado para o cruzamento com as variáveis independentes identificadas. Como notícia, cita-se que, recentemente, em 23 estados do Brasil, o índice GINI aumentou. As únicas exceções foram Roraima, onde ele caiu de 0,65 para 0,62, e Rondônia, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, onde a medida de desigualdade de renda manteve-se estável. O estado mais desigual do Brasil passou a ser Alagoas, cujo índice de GINI aumentou de 0,63 para 0,69. O estado menos desigual continua sendo Santa Catarina, a despeito de uma pequena elevação no índice GINI, que passou a 0,55. ([www.frigoletto.com.br](http://www.frigoletto.com.br)).

Desta forma, no presente trabalho, usaremos o índice de mortalidade infantil, que espelha a falta de sistemas de abastecimento de água potável e de coleta de esgoto



$$M \text{ INFANTIL} = e^{B0} \times e^{B1 \times (n. \text{ lig. água})} \times e^{B2 \times (n. \text{ lig. esgoto})}, \text{ Onde:}$$

$$e^{B0} = \text{Constante} = K$$

$$e^{B1 \times (n. \text{ lig. água})} \rightarrow \text{Fator de lig. de água, e}$$

$$e^{B2 \times (n. \text{ lig. esgoto})} \rightarrow \text{Fator de lig. de esgoto, assim:}$$

$$M. \text{ INFANTIL} = K \times \text{Fator lig. de água} \times \text{Fator lig. de esgoto}$$

## APLICAÇÃO

Vamos agora considerar os dados abaixo, levantados no *Anuário Estatístico do Rio de Janeiro*, volume 20, 2004, Fundação Centro de Informações e Dados do Estado do Rio – Cide, correspondentes a dez municípios do estado do Rio de Janeiro, municípios estes de maior população e onde aparecem os dados aqui analisados, excluído o município do Rio de Janeiro, cujo índice de mortalidade infantil por mil habitantes e número total de ligações provocam uma mudança de tendência através da “atração” provocada pelos dados, contribuindo para o aparecimento de “outlier”. Nesta tabela aparece, além dos dados analisados, coluna do logarítmo natural da Mortalidade Infantil por mil habitantes e coluna da população para efeito de comparação.

*Tabela 1 – Mortalidade infantil por Município x Ligações de água e esgoto- População*

<b>MUNICIPIO</b>	<b>M. INFANTIL</b>	<b>LIGs. AGUA</b>	<b>LIGs. ESGOTO</b>	<b>ln M.INFANTIL</b>	<b>POPULAÇÃO</b>
<b>Nova Friburgo</b>	16,5	30.533	29.298	2,80336	175.700
<b>Niterói</b>	16,0	69.644	28.078	2,772589	467.840
<b>Petrópolis</b>	17,8	33.863	26.527	2,879198	279.725
<b>Campos dos Goytacazes</b>	24,0	64.987	19.398	3,178054	418.043
<b>São Gonçalo</b>	15,2	103.80 3	4.374	2,721295	931.192
<b>Belford Roxo</b>	22,0	53.021	1.499	3,091042	461.034
<b>São Pedro da Aldeia</b>	21,6	16.617	1.170	3,072693	70.721
<b>São Fidélis</b>	18,5	6.185	1.006	2,917771	37.584
<b>Nova Iguaçu</b>	20,4	98.542	898	3,015535	799.219
<b>Maricá</b>	22,9	5.825	572	3,131137	87.604

Observa-se, nos números acima, uma grande variação de valores, verificando-se que municípios de maiores populações (Nova Iguaçu e São Gonçalo), embora possuam nas pesquisas grande número de ligações de água potável, possuem um número mínimo de ligações de esgoto. Deve-se crer que este fato corresponde, inicialmente, a uma deficiência de levantamentos e depois propriamente à existência de número menor de ligações.

Fazendo-se uma regressão múltipla com os valores do logaritmo natural da mortalidade infantil por mil habitantes, com o número de ligações, obtemos o seguinte modelo:

$$M. \text{ INFANTIL} = e^{B_0} \times e^{B_1 \times (N. \text{ LIGS.ÁGUA})} \times e^{B_2 \times (N. \text{ LIGS.ESGOTO})}$$

$$M. \text{ INFANTIL} = e^{3,078443} \times e^{-0,00000124 (N. \text{ LIGS. ÁGUA})} \times e^{-0,00000536 (N. \text{ LIGS. ESGOTO})}$$

$$M. \text{ INFANTIL} = 21,7245 \times e^{-0,00000124 (N. \text{ LIGS. ÁGUA})} \times e^{-0,00000536 (N. \text{ LIGS. ESGOTO})}$$

Essas regressões e ajustagens estão visualizadas nos gráficos a seguir:

Figura 1 – Ajuste de linha ln da Mortalidade Infantil x Número de Ligações de Esgoto

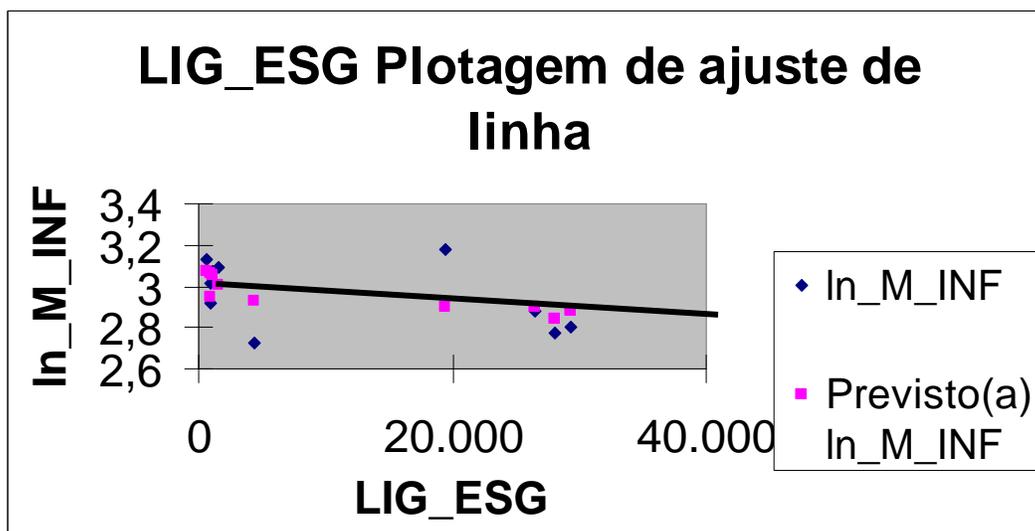
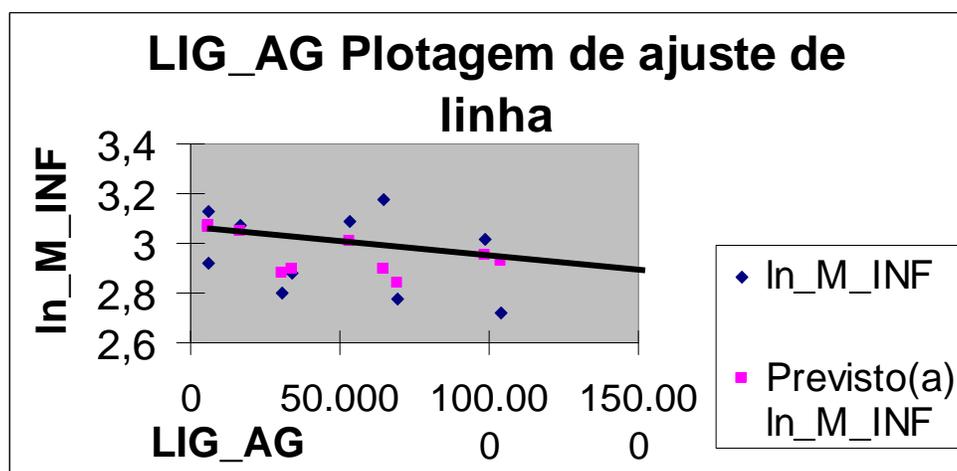


Figura 2 – Ajuste de linha ln da Mortalidade Infantil x Número de Ligações de Água



Empregando-se, por exemplo, o modelo para 10.000 ligações de água e de esgoto, temos:

$$M. \text{ INFANTIL} = 21,7245 \times e^{-0,00000124 \cdot 10.000} \times e^{-0,00000536 \cdot 10.000}$$

$$M. \text{ INFANTIL} = 21,7245 \times \frac{1}{e^{0,0124}} \times \frac{1}{e^{0,0536}} = 21,7245 \times 0,9876 \times 0,9478 = 20,33$$

Empregando-se agora a fórmula para 100.000 ligações de água e de esgoto, neste caso, o último fator é extrapolado para a tendência identificada, temos:

$$M. \text{ INFANTIL} = 21,7245 \times \frac{1}{e^{0,124}} \times \frac{1}{e^{0,536}} = 21,7245 \times 0,8833 \times 0,5850 = 11,22$$

$$(M. \text{ INFANTIL})_{10.000} - (M. \text{ INFANTIL})_{100.000} = 20,33 - 11,22 = 9,11$$

Se quisermos agora saber o custo da diminuição de um dígito nos índices de mortalidade infantil, teríamos, para 7.000 ligações de água e esgoto ( $21,72 - 20,74 \cong 1,00$ ) :

$$M. \text{ INFANTIL} = 21,7245 \times e^{-0,00000124 \cdot 7.000} \times e^{-0,00000536 \cdot 7.000}$$

$$M. \text{ INFANTIL} = 21,7245 \times \frac{1}{e^{0,00868}} \times \frac{1}{e^{0,003752}} = 21,7245 \times 0,9913 \times 0,9631 = 20,74$$

O que equivale aproximadamente à diminuição de um ponto no índice de mortalidade infantil. Isto é, 7.000 ligações de água e 7.000 de esgoto no modelo adotado equivale, aproximadamente, à diminuição de um ponto no índice de mortalidade infantil.

Se quisermos agora saber o valor de uma intervenção que produza esse resultado, podemos usar a tabela abaixo, extraída da revista *Construção*, da Editora Pini, edição de agosto de 2005:

### Avaliação de Glebas

Mês de Referência: Junho/05

#### Custo de Urbanização (R\$ por 1.000 m<sup>2</sup> de área útil)

Serviços de Topografia	944,42
Terraplenagem Leve	713,85
Terraplenagem Médio	2.424,60
Terraplenagem Pesado	6.701,56
Rede de Água Potável	3.559,15
Rede de Esgoto	6.958,53
Drenagem de Águas Pluviais - Galerias	2.985,89
Drenagem de Águas Pluviais - Guias e Sarjetas	2.430,79
Pavimentação	8.485,44
Rede de Iluminação Pública	1.423,44

**Observação:** Os custos de urbanização apresentados foram dimensionados para um módulo de mil m<sup>2</sup> de área útil (área de lotes) e foram calculados com base no trabalho "Avaliação de Glebas - Subsídios para Pré-Planos", da empresa Guilherme Martins Engenharia de Avaliações S/C Ltda., e faz parte da 3ª edição (1980) do livro "Construções. Terrenos" - Editora Pini. Os valores são atualizados mensalmente através de pesquisa em São Paulo, Capital.

**Fonte:** Pini

#### Tabela 2 – Custo urbanização

Conforme dados da Tabela 2, acima, e das considerações seguintes, podemos definir, com base em uma urbanização formal proletária ou até mesmo subformal, que uma área útil de 1.000 m<sup>2</sup> seria ocupada por 17 lotes (área de 60 m<sup>2</sup> cada lote aproximadamente), equivalente a 17 ligações de água e 17 ligações de esgoto, ou a metade, se em uma ocupação formal de padrão básico.

Pela tabela, o custo das redes de água e de esgoto para cada 1.000 m<sup>2</sup>, soma R\$10.157,68 (R\$3.559,15 + R\$6.598,53) ou R\$597,51 por ligações (R\$10.157,68÷17).

Para 7.000 ligações, temos o custo total da intervenção pretendida igual a: Custo total = 7.000 ligações de água e de esgoto x R\$597,51 = R\$4.182.570,00, evidentemente, cada tipo de intervenção possui um custo específico, que pode facilmente ser determinado considerando-se as características e peculiaridades de cada local.

Na tabela seguinte, aparecem os fatores com base nesse mesmo modelo apresentado, que facilita a sua aplicação:

Tabela 3 – Fatores de saneamento para serviços de água e esgoto

<b>FATOR</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>3000</b>	<b>4000</b>	<b>5000</b>
<b>Lig. Água</b>	0,998761	0,997523	0,996287	0,995052	0,993819
<b>Lig. Esg.</b>	0,994634	0,989298	0,983990	0,978710	0,973459
<b>Ág.x Esg.</b>	0,993402	0,986847	0,980336	0,980336	0,973868
<b>FATOR</b>	<b>6000</b>	<b>7000</b>	<b>8000</b>	<b>9000</b>	<b>10000</b>
<b>Lig. Água</b>	0,992588	0,990129	0,990129	0,988902	0,987677
<b>Lig. Esg.</b>	0,968235	0,963040	0,957873	0,952734	0,947622
<b>Ág.x Esg.</b>	0,961058	0,953534	0,948418	0,942160	0,935944
<b>FATOR</b>	<b>10000</b>	<b>20000</b>	<b>30000</b>	<b>40000</b>	<b>50000</b>
<b>Lig. Água</b>	0,987677	0,975505	0,963483	0,951610	0,939883
<b>Lig. Esg.</b>	0,947622	0,897987	0,850952	0,806380	0,764143
<b>Ág.x Esg.</b>	0,935944	0,875991	0,819878	0,767359	0,718205
<b>FATOR</b>	<b>60000</b>	<b>70000</b>	<b>80000</b>	<b>90000</b>	<b>100000</b>
<b>Lig. Água</b>	0,928300	0,916860	0,905562	0,894402	0,883380
<b>Lig. Esg.</b>	0,724119	0,686190	0,650249	0,616190	0,583915
<b>Ág.x Esg.</b>	0,672200	0,629141	0,588840	0,551121	0,515819

### Aplicação da Tabela:

Caso tenhamos um investimento de R\$6.000.000,00, em quanto seria esperado diminuir o índice de mortalidade infantil no modelo adotado, caso aplicado esse valor em obras de saneamento (redes de água e esgoto) em locais de urbanismo informal?

Definindo que 70 % desse valor seria aplicado em redes de água potável e os restantes 30 % em redes coletoras de esgoto:

Para habitações de implantação subformal  $\Rightarrow$  lotes de 40 m<sup>2</sup>

Custo de 1.000 m<sup>2</sup> de área útil para redes esgoto = R\$6.958,53

Custo de 1.000 m<sup>2</sup> de área útil para redes d'água = R\$3.559,15

Custo por ligação de esgoto:  $6.958,53 \div (1.000 \div 40) = R\$278,34$

Custo por ligação de água:  $=3.559,15 \div (1.000 \div 40) = R\$142,36$

Nº ligações rede esgoto =  $(0,30 \times 6.000.000) \div 278,34 \cong 6.000$  lig.

Nº ligações rede água =  $(0,70 \times 6.000.000) \div 142,36 \cong 30.000$  lig.

Pela tabela 3, anterior:

Diminuição esperada do índice de mortalidade infantil =  $21,7245 (1 - 0,992588 \times 0,850952) = 3,37$ .

A metodologia acima e os exemplos apresentados servem de base para mostrar a aplicabilidade da metodologia proposta em estudo de planos mais genéricos, incluindo diversos tipos de serviços, baseados em modelos típicos para diferentes locais, a serem aplicadas em maiores planos de saneamento.

Evidentemente, a melhoria dos índices acima seria local, e não se aplicaria bem a intervenções diluídas, embora os fatores estejam baseados em dados obtidos de distribuições espaciais.

## CONCLUSÃO

Observa-se, como era de se esperar, que o número de ligações de água é mais preponderante na mudança do índice analisado que o número de ligações de esgoto, e a grande variação do índice para um acréscimo preponderante do número de ligações.

Combinações de diferentes tipos de ligações e das suas quantidades poderão ser usadas de forma a se adaptarem aos orçamentos disponíveis ou à feitura dos mesmos, de modo também a otimizar esses custos em relação à melhoria dos índices.

Os frios números encontrados neste estudo mostram, mais uma vez, a influência direta desses serviços nos índices de saneamento.

Outras análises e conclusões podem ser desenvolvidas, como a variação dos fatores utilizados e a utilização de mais variáveis independentes influenciadoras, que não somente as analisadas nesta aplicação. Não cabem maiores extensões no presente artigo, como não coube a análise de resíduos, dos coeficientes de determinação e correlação ( $C \cong 070$  – correlação média) e o grau de confiança, que facilmente são fornecidos pela análise dos dados da planilha Exel. (LOPES, 1999) ou em outros *softwares* genéricos e aplicativos usados na engenharia de avaliações (ver referências).

## REFERÊNCIAS

FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO ESTADO DO RIO – CIDE.  
**Anuário Estatístico do Rio de Janeiro**, Volume 20.

LIMA, G. P. de A. **O coeficiente de homogeneidade na homogeneização por fator**. 2º. Seminário Internacional de Real State da América Latina da Lares – Latin American Real State Society, Anais... São Paulo, SP, 2001.

\_\_\_\_\_ **Análise de caminhos da regressão linear múltipla como subsídio ao tratamento de homogeneização por fatores**. XII Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias – Cobreap. Belo Horizonte, MG, Ibape, 2003.

\_\_\_\_\_ **Pode um modelo de homogeneização por fatores ser melhor que um modelo de regressão?** XI Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias – Cobreap, Guarapará, ES, 2001.

LOPES, P. A. **Probabilidade e estatística – Conceitos, modelos, aplicações no Exel**. Rio de Janeiro, Reichmann & Affonso Editores, 1999.

[www.undp.org.br](http://www.undp.org.br) , 2005

[www.frigoletto.com.br](http://www.frigoletto.com.br) , 2005

[www.pellisistemas.com.br](http://www.pellisistemas.com.br), SISREN, 2005

[www.tecsysengenharia.com.br](http://www.tecsysengenharia.com.br), TS-SISREG, 2005

[www.ariainformatica.com.br](http://www.ariainformatica.com.br), INFER, 2005

sem site – Tel.: 0xx2122658225, REGRE, 2005

[www.avalia2000.com.br](http://www.avalia2000.com.br), AVALIA2000, 2005

[www.pellisistemas.com.br](http://www.pellisistemas.com.br), SISVALUE, 2005

sem site – Tel.: 0xx2122658225, REGRE, 2005

Exel, Statistics, Analysis, Mathcad etc.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.