

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - XI COBREAP

UMA FORMULAÇÃO RACIONAL PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE CONFIANÇA EM AVALIAÇÕES DE IMÓVEIS.

Autores

Macedo, Luiz Fernando Reis¹

Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho
CREA – 9650-D – PR
IBAPE-PR

Pacheco, Marcus Peigas²

Engenheiro Civil
CREA – 22807-D - 5ª Região.

Einsfeld, Ricardo Amorim³

Engenheiro Civil
CREA - 22246-D – 5ª Região.

Resumo. A Engenharia de Avaliações de imóveis obteve um significativo avanço, quando passou a utilizar a chamada metodologia científica, através da inferência estatística, para a determinação do valor esperado de um imóvel, baseada em regressões múltiplas, pelo método dos mínimos quadrados. No transcorrer desses 20 anos, a ABNT editou e revisou normas para a avaliação de imóveis, estando em vigor atualmente a NBR5676/90 e, em fase de estudos, uma nova revisão que provavelmente será editada até o fim do ano de 2001. No estudo de revisão da norma vigente estão sendo debatidos vários aspectos, dentre eles critérios para a definição e conceituação do nível de confiança do campo de arbítrio. Propõe-se neste trabalho uma formulação racional para obtenção do nível de confiança baseado no critério proposto por

¹ *M.Sc.* e Professor Substituto (*), email to: lfmacedo@iprj.uerj.br,

² *Ph.D.* e Professor Titular (*), email to: pacheco@iprj.uerj.br,

³ *Dr.Sc.* e Professor Adjunto (*), email to: einsfeld@iprj.uerj.br.

(*) Instituto Politécnico (IPRJ), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Caixa Postal 97282, 28601-970, Nova Friburgo, RJ

Macedo (2001) como alternativa aos métodos atualmente utilizados e preconizados nas Normas em vigor.

Palavras-chave: Intervalo de confiança, Engenharia de avaliações, Princípio de Máxima Entropia.

Abstract: Real Estate Appraising Engineering has developed significantly since the eighties by use of the so-called scientific methodology. With increasing of statistical inferences to estimate real state values, many computational programs became available, based on multiple regression applying the least square method. During these twenty years, the Brazilian Society for Technical Standards (ABNT) edited and revised codes for real estate evaluation and NBR 5676/90 is currently the accredited code to be followed. This code is now under revision and a new version is to be edited soon. Several aspects are being discussed, in the revision on clouding criteria for definition and conception of a credible for real state assessments. In this work, a criterion is proposed to determinate the expected real state value within a presaiBED range that can incorporate unpredictable factors to the appraisal, as opposed to the current methods based mostly upon personal expertise. To accomplish this, a criterion based on principle of maximum entropy is presented to estimate more reliable confidence limits to real estate appraisals, to minimize subjective assessments.

keywords: Confidence interval, Appraisal Engineering , Principle of Maximum Entropy.

1. INTRODUÇÃO.

As metodologias atualmente utilizadas para avaliações de imóveis urbanos partem do pressuposto da existência de um mercado imobiliário de concorrência perfeita, isto é, onde existe homogeneidade dos bens, onde os compradores e vendedores não alteram o mercado e onde não existem influências externas, não sendo considerada a parcela imprevisível existente nos fatores atuantes nesse mercado. A avaliação de imóveis urbanos está regulamentada pela NBR 5676/90 – ABNT, segundo a qual os valores mais prováveis (ou valores esperados) dos imóveis são obtidos com base na premissa de que fiquem dentro de um intervalo de confiança fechado e máximo de 80%, usando a distribuição “t” de Student. Esse critério, embora sujeito às críticas de Dantas (1997), Giannakos at al (1997), Giannakos at al (1999), prevalece ainda hoje nestas avaliações, constituindo-se no estado da arte atual no Brasil. Segundo Dantas (1997), “a exigência das normas brasileiras de que o valor final da avaliação, a ser indicado pelo engenheiro de avaliações em função do tratamento estatístico adotado, tem que estar contido em um intervalo de confiança fechado e máximo de 80%, não tem suporte de cunho científico, sendo meramente uma barreira adotada ao avaliador, pois o intervalo de confiança de 99%, por exemplo, é bem mais informativo do que um de 80%, uma vez que existe uma probabilidade 19% superior de o valor de mercado estar nele contido. Em contrapartida, uma probabilidade de erro de apenas 1%, enquanto que no intervalo de 80%, esta probabilidade é de 20%”. E conclui que “a limitação do intervalo de confiança ao nível de 80% só restringe a confiabilidade do trabalho avaliatório”. Adicionalmente, segundo Giannakos at al (1997), “a permissão para que o avaliador, ao seu arbítrio, eleja qualquer valor para o bem objeto da avaliação, desde que contido, o dito valor, no interior de um intervalo prefixado, em torno da estimativa original, não se justifica pois viola o conceito de variável aleatória, atenta contra os princípios básicos da inferência estatística e estimula a subjetividade na avaliação”. E conclui que “esta permissão fere a teoria e gera deformações graves na metodologia da regressão linear e, por sua vez, as disposições sobre limites de confiança não estão claras e carecem de melhor especificação para evitar que, entre outros inconvenientes, os limites apresentados sejam inadvertidamente entendidos como estimativas da variabilidade do mercado, quando são médias de valores individuais”. Giannakos at al (1999) indicam ainda que “a proposta de revisão da norma NB-502/89, promovida em 1998 pela Caixa Econômica Federal e outras entidades públicas, em sua versão de 01.06.1998 (ABNT - COBRACON, 1998), apresenta definição inteiramente nova para o campo de arbítrio a ser utilizado pelo avaliador. No item Seis (definições), o projeto define campo de arbítrio como: ”intervalo fechado obtido por processo estatístico compatível com a amostra”. Já no capítulo 10 dispõe que o mesmo seja dimensionado como abrangendo a amplitude máxima de 10% da média dos dados. Não está plenamente esclarecido o conteúdo conceitual da definição, pois não é especificado se a aludida proporção de 10% diz respeito à amplitude total da faixa de arbítrio (caso em que este se dividiria em 5% abaixo do valor esperado e 5% acima do mesmo) ou se a faculdade se estenderia a 10% da média dos dados, para o limite inferior da estimativa, e 10% para o limite superior, o que levaria à abrangência total de 20%. Tampouco está expressamente enunciado que a média dos dados seja a média aritmética dos valores da variável dependente, na amostra eleita como base do modelo”.

Das críticas acima elencadas, entende-se haver necessidade de pesquisar e apresentar alternativas ao nível de confiança de 80% estabelecido pela NBR 5676/90 – ABNT. Com esse intuito, apresenta-se neste trabalho uma formulação racional para fixação do nível de confiança em avaliações de bens imóveis, como proposto por Macedo (2001), permitindo assim incorporar fatores imponderáveis nas avaliações através de distribuições probabilísticas de máxima incerteza.

2. OS LIMITES EXTREMOS E A FAIXA ÓTIMA DA AVALIAÇÃO

Na metodologia científica preconizada pela NBR 5676/90, obtém-se a faixa de variação dos valores médios esperados com base na premissa de que fiquem dentro de um intervalo de confiança fechado e máximo de 80%, utilizando a distribuição “t” de Student. Este intervalo de confiança geralmente é apresentado segundo uma faixa de valores que representa a variação atribuída ao valor médio de mercado. Como a metodologia científica utilizada atualmente pressupõe a existência de um mercado de concorrência perfeita, não se incluem nessa faixa de variação os fatores imprevisíveis do mercado imobiliário. Dessa forma, entende-se haver necessidade de pesquisar critérios que considerem as parcelas de imprevisibilidade, próprias do mercado imobiliário. Assim sendo, como contribuição deste trabalho, propõe-se então estabelecer, com base no critério de máxima incerteza proposto por Macedo (2001), uma formulação racional para a fixação do intervalo de confiança do valor esperado da avaliação de um imóvel onde tenham sido estimados previamente o seu valor médio (\hat{Y}_h) e o desvio padrão $S[\hat{Y}_h]$, em alternativa ao intervalo de confiança obtido segundo o nível de confiança de 80% preconizado pela NBR 5676/90. Os valores extremos LI (limite inferior) e LS (limite superior) são determinados através da distribuição “t” de Student, de forma análoga à metodologia científica corrente, utilizando-se, porém, níveis de significância estabelecidos racionalmente, como indicado adiante neste trabalho. Uma vez estabelecida a faixa de variação $[LI \leq \hat{Y}_h \leq LS]$, utiliza-se a distribuição beta em conjunto com o princípio da máxima entropia, estimando-se uma faixa de máxima incerteza para os valores máximos e mínimos, no interior do intervalo $[LI \leq \hat{Y}_h \leq LS]$, capaz de incorporar aspectos imponderáveis na avaliação. O critério proposto permite então comparar o valor atribuído ao imóvel com as seguintes faixas:

- a- uma faixa ótima de variação, $[LI_{ótimo} \leq \hat{Y}_h \leq LS_{ótimo}]$, limitada pelo valor médio esperado \hat{Y}_h mais ou menos um desvio padrão $S[\hat{Y}_h]$, que representa a variação mais provável do valor médio do imóvel, sob o pressuposto de um mercado de concorrência perfeita e sem fatores imponderáveis;
- b- uma faixa de máxima incerteza para a avaliação, $[LI_{MI} \leq \hat{Y}_h \leq LS_{MI}]$, limitada pelos valores LI_{MI} (limite inferior de máxima incerteza) e LS_{MI} (limite superior de máxima incerteza), cuja determinação é adiante apresentada. Segundo esse critério, as avaliações contidas na faixa entre $[LI$ e $LI_{MI}]$ e $[LS_{MI}$ e $LS]$ são consideradas, respectivamente, como muito abaixo e muito acima da média de mercado. Portanto, as avaliações entre $[LI_{MI}$ e $LI_{ótimo}]$ e $[LS_{ótimo}$ e $LS_{MI}]$ representam regiões de imponderabilidade (ou de máxima incerteza).

As equações de regressão linear múltipla de uso comum em avaliações de imóveis estão disponíveis em vários textos de Estatística Aplicada. A implementação computacional dessas equações está disponível em diversos programas computacionais para avaliação de bens imóveis. A notação empregada nas equações abaixo é aquela apresentada em Dantas (1998), com o valor médio estimado de mercado sendo dado por:

$$\hat{Y}_h = a_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_k X_{ik} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

Onde X_{ik} são as variáveis independentes (características) e b_i são os coeficientes dos regressores (parâmetros) dos imóveis da amostra.

O desvio padrão $S[\hat{Y}_h]$ estimado para o valor médio de mercado é dado por:

$$S[\hat{Y}_h] = \sqrt{\frac{S_e^2}{n} + \sum_{j=i}^m (X_{hj} - \bar{X}_{hj})^2 S(b_j) + 2 \sum_{l<j}^m (X_{hl} - \bar{X}_{hl})(X_{hj} - \bar{X}_{hj}) cov(b_j, b_l)} \quad (2)$$

com $(l, j = 1, 2, 3, \dots, m)$, onde $cov(b_j, b_l)$ é a covariância entre os parâmetros dos regressores b_j e b_l , $S[b_j]$ é desvio padrão dos parâmetros b_j e, S_e é o desvio padrão dos resíduos, definido pela Eq.(3), onde p é o número de parâmetros estimados:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}} \quad (3)$$

Os limites superior e inferior do intervalo de confiança da amostragem do mercado $[LI \leq \hat{Y}_h \leq LS]$, obtidos através da distribuição t de Student, são dados por:

$$LS = \hat{Y}_h + t S[\hat{Y}_h] \quad (4)$$

$$LI = \hat{Y}_h - t S[\hat{Y}_h] \quad (5)$$

Os limites ótimos de variação do valor médio de mercado representam a faixa mais provável de variação do valor da avaliação, inferida a partir de uma amostragem incompleta considerada representativa e isenta de aspectos imponderáveis, correspondente à variação de mais ou menos um desvio padrão em relação ao valor médio:

$$LS_{ótimo} = \hat{Y}_h + S[\hat{Y}_h] \quad (6)$$

$$LI_{ótimo} = \hat{Y}_h - S[\hat{Y}_h] \quad (7)$$

Dependendo do rigor desejado na qualidade do ajuste da regressão linear, os limites acima poderão ser assimétricos em relação ao valor médio esperado \hat{Y}_h , caso se opte pela utilização de funções auxiliares de transformação em algumas das variáveis dependentes na equação de regressão, como mostra Dantas (1998) e González (1998). Nesse caso o valor médio esperado (\hat{Y}_h) pela regressão linear múltipla não coincidirá com o ponto médio do intervalo de confiança obtido pela equação de regressão linear múltipla. Como no caso de intervalo de confiança simétrico, determina-se o desvio padrão pela Eq.(2), onde a equação de regressão corresponde a uma escala transformada. Após a determinação do desvio padrão em escala transformada, obtém-se o intervalo de confiança do valor médio esperado através das Eq^s. (4) e (5), como no caso de intervalo de confiança simétrico. Obtidos os limites superior e inferior do intervalo de confiança do valor médio esperado, reverte-se a transformação através da função inversa correspondente, retornando-se à escala real, o que conduz a intervalos de confiança não simétricos.

3. A FAIXA DE MÁXIMA INCERTEZA DA AVALIAÇÃO

A entropia de Shannon-Boltman (Tribus, 1961) representa um conceito de aplicação interdisciplinar, com aplicação em diversas áreas do conhecimento como Física, Química, Biologia, Psicologia, Teoria da Informação, Ecologia, Astronomia e Engenharia (Mathai et. al.,

1990). O conceito de entropia deriva da Termodinâmica (desordem molecular) para expressar incerteza (Harr, 1987). Da entropia de Shannon-Boltman advém o princípio da máxima entropia, que pode ser enunciado sob diferentes versões subjetivas (Jaynes, 1982 e Jaynes, 1988). Para fins de aplicações em Engenharia, Geraldo (1995) indica que “sempre que tirarmos conclusões baseadas em informações incompletas devemos tirá-las de uma distribuição de probabilidades que apresente a máxima entropia permitida pelas informações que possuímos”. Alternativamente, “a associação de probabilidades menos tendenciosa é aquela que conduz à máxima entropia”. Portanto, o princípio da máxima entropia aplica-se às situações práticas caracterizadas por elevada incerteza, associadas ou não a limitações de amostragem. Na concepção idealizada para o presente trabalho, o princípio da máxima entropia é então utilizado para inferências estatísticas da parcela imponderável da avaliação.

A modelagem da máxima incerteza através da distribuição beta torna-se bastante conveniente ao problema em questão, por ser esta distribuição capaz de modelar praticamente qualquer tipo de distribuição limitada por um intervalo fechado $[a \leq X \leq b]$. Para determinação das condições matemáticas que caracterizam a máxima incerteza (ou a máxima entropia) da distribuição beta, parte-se da entropia (h) de Shannon-Boltman estendida a uma distribuição contínua, onde (Harr, 1987):

$$h = - \int_a^b f_X(x) \ln f_X(x) dx \quad (8)$$

Na equação acima, $f_X(x)$ representa a função densidade de massa da distribuição beta. As condições de máxima entropia são então estabelecidas através do método dos multiplicadores de Lagrange, através do qual se deseja maximizar a entropia h (Eq. 8), sujeita às seguintes restrições (Santa Maria et. al., 1996):

$$\int_a^b f_X(x) dx = 1 \quad (9)$$

$$\varphi(\alpha, \beta) = \alpha(X - b) + \beta(\bar{X} - a) + 2\bar{X} - (a + b) = 0 \quad (10)$$

Na Eq. (10) acima, $\varphi(\alpha, \beta) = 0$ significa que o valor médio \bar{X} da distribuição beta é conhecido, sendo assim utilizado como uma das restrições impostas ao processo de maximização. Os valores α e β representam os parâmetros da distribuição beta, a serem determinados pelo sistema de equações abaixo, na condição de máxima entropia:

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial \alpha} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} = 0 \\ \frac{\partial h}{\partial \beta} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial \beta} = 0 \\ \varphi(\alpha, \beta) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

No sistema de equações (11), λ é o multiplicador de Lagrange a ser determinado no processo de maximização. O sistema de equações acima foi resolvido por Geraldo (1995), sendo representado na Figura (1), de onde se obtém os valores de α e β , na condição de máxima entropia, como: $\alpha \cong 0$ e $\beta > 0$, para valores médios normalizados no intervalo $[0 \leq \bar{X} < 0,5]$

(distribuições assimétricas à direita); $\beta \cong 0$ e $\alpha > 0$, para valores médios normalizados no intervalo $[0,5 < \bar{X} \leq 1]$ (distribuições assimétricas à esquerda). Para $\alpha = \beta = 0$, a condição de máxima entropia aplica-se à distribuição retangular, que representa a distribuição de máxima incerteza dentre as distribuições simétricas. As condições de máxima entropia acima serão então aplicadas à faixa de variação atribuída ao valor médio de mercado de um imóvel, $a = LI \leq \hat{Y}_h \leq b = LS$, sendo a média e a variância da distribuição beta dadas por (Harr, 1987):

$$\bar{X} = a + \frac{\alpha + 1}{\alpha + \beta + 2}(b - a) \quad (12)$$

$$V[X] = \frac{(\alpha + 1)(\beta + 1)}{(\alpha + \beta + 2)^2(\alpha + \beta + 3)} \quad (13)$$

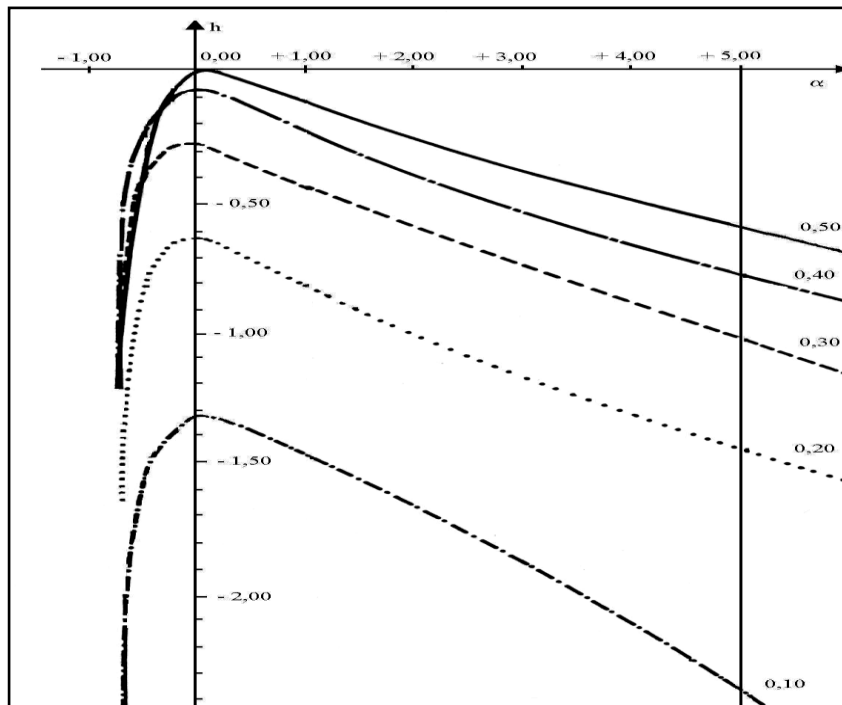


Figura (1): Variação da entropia h com o parâmetro α (β) (Geraldo, 1995).

Para $\alpha = 0$, obtém-se o parâmetro β , através da Equação (14), como:

$$\beta = \frac{LS - LI}{\hat{Y}_h - LI} - 2 \quad (14)$$

Analogamente, para $\beta = 0$, obtém-se o parâmetro α por:

$$\alpha = \frac{LS + LI - 2(\hat{Y}_h)}{\hat{Y}_h - LS} \quad (15)$$

Conhecidos os respectivos valores de α e β , o desvio padrão de máxima incerteza é obtido da Equação (16) como:

$$S_{MI} = \frac{LS - LI}{\alpha + \beta + 2} \sqrt{\frac{(\alpha + 1)(\beta + 1)}{(\alpha + \beta + 3)}} \quad (16)$$

Se o intervalo de confiança for simétrico, na condição de máxima entropia aplica-se à distribuição retangular, com $\alpha = \beta = 0$, simplificando a Eq. (16) para:

$$S_{MI} = \frac{LS - LI}{2} \sqrt{\frac{1}{3}} \quad (17)$$

Portanto, segundo a concepção do presente trabalho, a faixa de máxima incerteza é dada pelos limites LS_{MI} e LI_{MI} (respectivamente, o limite superior e inferior de máxima incerteza), dados por:

$$LS_{MI} = \hat{Y}_h + S_{MI}(\hat{Y}_h) \quad (18)$$

$$LI_{MI} = \hat{Y}_h - S_{MI}(\hat{Y}_h) \quad (19)$$

Os limites acima são utilizados para o estabelecimento de critérios racionais na determinação do campo de arbítrio em avaliações de imóveis, como mostrado a seguir.

4. FORMULAÇÃO RACIONAL PARA FIXAÇÃO DO INTERVALO DE CONFIANÇA

Uma vez determinados os limites extremos, a faixa ótima e a faixa de máxima incerteza da avaliação, pode-se então estimar racionalmente o nível de confiança mínimo do valor médio estimado em alternativa ao nível de confiança de 80%, atualmente em uso, na determinação da amplitude do intervalo de confiança, como exposto a seguir.

4.1 Determinação do nível de confiança mínimo do valor esperado

Considerando-se que a faixa de máxima incerteza dos valores esperados deverá ser sempre maior que a faixa ótima dos valores esperados, pode-se obter o valor mínimo do nível de confiança (máximo da significância) quando o desvio padrão do valor médio esperado for igual ao desvio padrão de máxima incerteza (entropia) com $\alpha = \beta = 0$ (distribuição retangular), na situação limite, obtém-se:

$$S[\hat{Y}_h] = S_{MI}[\hat{Y}_h] \quad (20)$$

Combinando-se as Eq^s.(4 ou 5), (16) e (20), atingi-se o valor crítico limite (t_{limite}) da distribuição “t” de Student como:

$$t_{limite} = \sqrt{3} = 1,732051 \quad (21)$$

Obtido o valor crítico (t_{limite}) acima, verificam-se dois casos que merecem discussão, a saber:

1º caso: número de graus de liberdade = 5

A NBR 5676/90 estabelece no item 7.6.3 que, para uma avaliação ao nível rigoroso, deve-se processar os dados da amostra por inferência estatística. Estabelece ainda, no item 7.6.4, que o número mínimo de graus de liberdade seja igual a 5. Pode-se então definir, para o número mínimo de 5 graus de liberdade, a partir da distribuição “t” de Student, um valor de confiança mínimo que será dado por:

$$\left. \begin{array}{l} t = 1,732051 \\ \text{grau de liberdade} = 5 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{nível de significância} \Rightarrow \alpha = 14,38\% \\ \text{nível de confiança} \Rightarrow 1 - \alpha = 85,62\% \end{array} \quad (22)$$

2º caso: número infinito de graus de liberdade

Para o número de elementos $n > 30$ (que caracteriza a distribuição normal), em conformidade com o item 7.6.4 da NBR 5676/90 que estabelece o número de graus de liberdade igual a $(n-k-1)$, onde n é o número de elementos e k o número de variáveis explicadas e explicativas utilizadas no modelo de regressão, tem-se o caso em que o número de graus de liberdade tende a infinito, podendo-se daí definir, com base na distribuição Normal, um valor de confiança mínimo dado por:

$$\left. \begin{array}{l} t \text{ ou } z = 1,732051 \\ \text{grau de liberdade} \Rightarrow \infty \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{nível de significância} \Rightarrow \alpha = 8,33\% \\ \text{nível de confiança} \Rightarrow 1 - \alpha = 91,67\% \end{array} \quad (23)$$

Obtém-se assim, na Tabela (1), de nível de confiança mínimo em função dos graus de liberdade preconizados na NBR 5676/90.

Número de graus de liberdade	Nível de confiança mínimo ($1 - \alpha$)	Nível máximo de significância (α)
5	85,62%	9,47%
$\rightarrow \infty$	91,67%	8,33%

Tabela (1): Níveis de confiança e de significância em função dos graus de liberdade

As curvas correspondentes aos níveis de confiança mínimos, determinados acima, são mostradas na Figura (2), onde a razão $[S_{MI}(\hat{Y}_h) / S(\hat{Y}_h)]$ é unitária para $(1-\alpha) = 85,67\%$ (5 graus de liberdade) e $(1-\alpha) = 91,67\%$ (infinitos graus de liberdade).

Conclui-se então, desse estudo comparativo, que o nível de confiança de 80% atualmente em vigor na norma NBR 5676/90 – ABNT conduzirá a uma diferença $[S_{MI}(\hat{Y}_h) - S(\hat{Y}_h)]$ negativa, acarretando em uma faixa de máxima incerteza sempre inferior à faixa ótima dos valores médios esperados, situação esta sem qualquer significado físico e em violação ao princípio da máxima entropia.

Para fins de inferências práticas, de forma a garantir que a faixa ótima dos valores médios esperados seja minimamente contida na faixa de máxima incerteza, recomenda-se que o nível de confiança $(1 - \alpha)$ situe-se entre 95% e 98% (ver figura 2). O limite inferior de 95% deverá ser escolhido quando o número de graus de liberdade for reduzido, enquanto o limite superior de 98% deverá ser utilizado quando o número de graus de liberdade for elevado. Valores de $(1 - \alpha)$

superiores a 98% acarretarão em estimativas muito conservativas, tendo em vista que a razão $[S_{MI}(\hat{Y}_h) / S[\hat{Y}_h]]$ tenderá para o infinito quando $(1 - \alpha) \rightarrow 100\%$, como ilustra a figura (2).

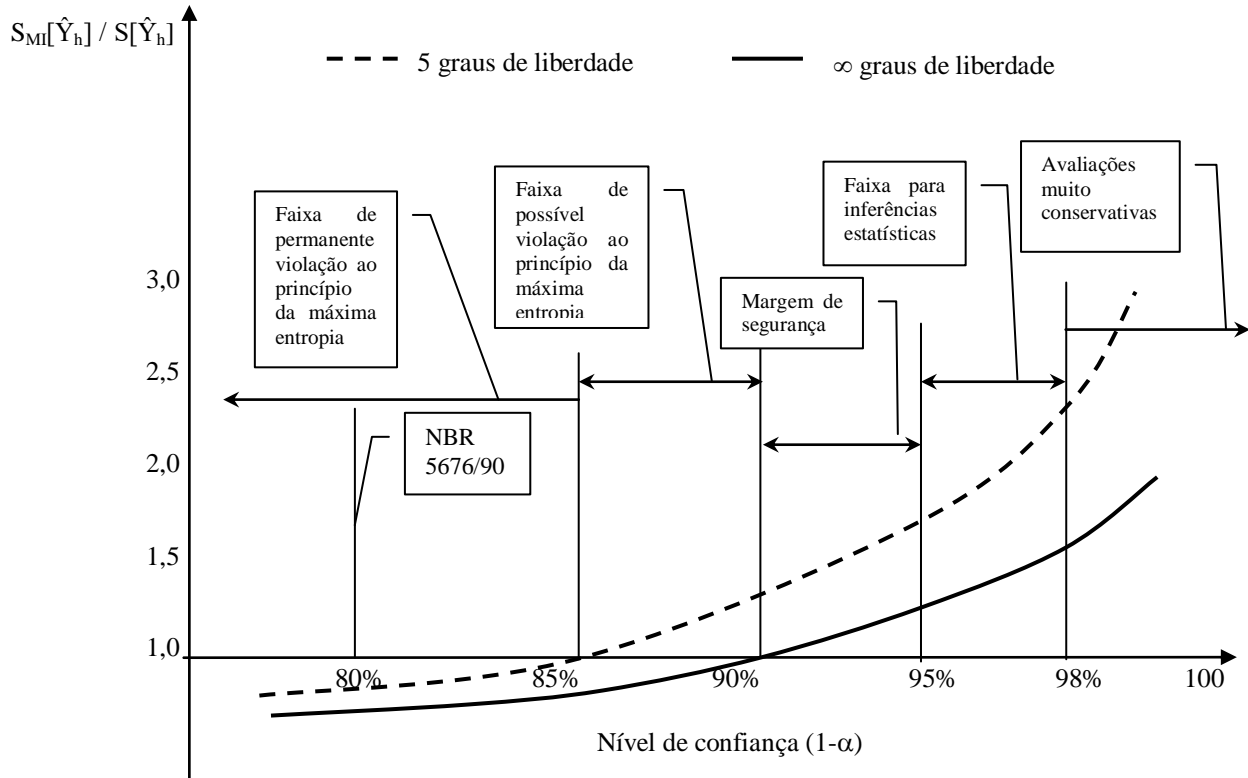


Figura (2): Faixas dos níveis de confiança para o valor médio esperado.

4.2 Determinação da faixa de variação dos limites superior e inferior do valor médio esperado

Como exposto anteriormente, pode-se determinar a faixa de variação dos limites superior e inferior da avaliação, de acordo com o critério abaixo (ver figura 3). Estas faixas de variação representam regiões de imponderabilidade ou de máxima incerteza:

$$\text{Faixa de variação do Limite Superior} = LS_{MI} - LS_{\text{ótimo}} \quad (24)$$

$$\text{Faixa de variação de Limite Inferior} = LI_{\text{ótimo}} - LI_{MI} \quad (25)$$

4.3 Proposta para a amplitude do campo de arbítrio do valor esperado

Com o gráfico abaixo (Fig. 3), representa-se o critério proposto por Macedo (2001), onde é definida a amplitude do campo de arbítrio, sob condições de máxima incerteza, incorporando, portanto, aspectos imponderáveis nas avaliações, como:

$$\text{Amplitude do campo de arbítrio} = LS_{MI} - LI_{MI} \quad (26)$$

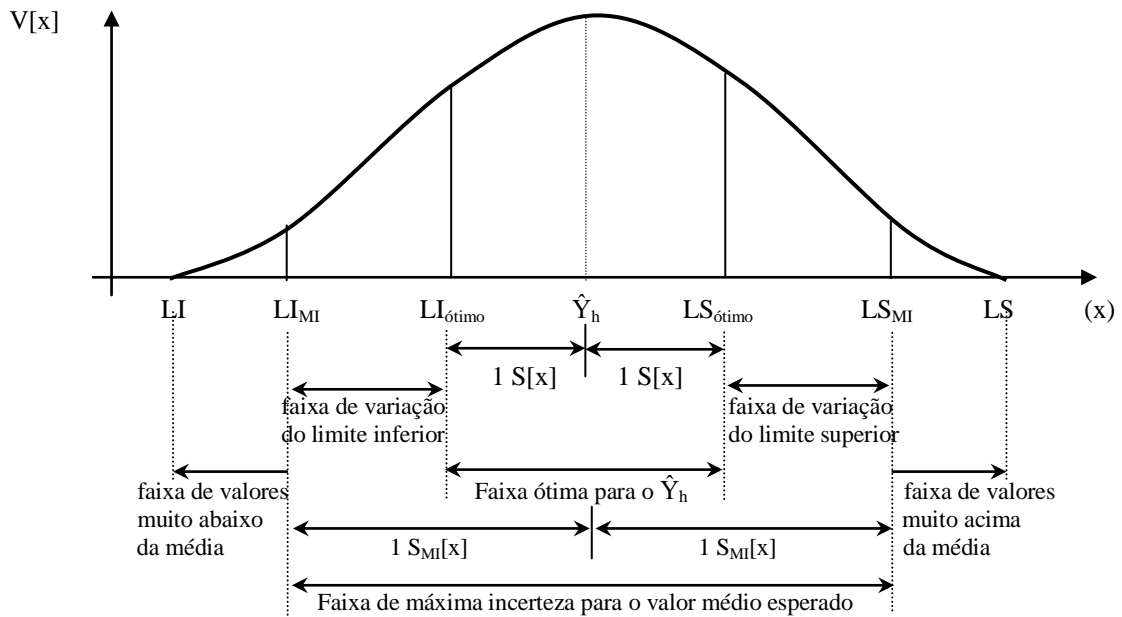


Figura (3): Faixas de variação dentro do intervalo de confiança do valor médio esperado.

5. APLICAÇÃO.

Como exemplo de aplicação será utilizada uma avaliação elaborada por Gonzalez (1998), onde se deseja estimar o valor de um terreno de 350m², situado na zona sul de Porto Alegre. Os elementos da amostra foram ofertados ao mercado entre outubro de 1995 e maio de 1996, sendo corrigidos monetariamente, para apresentação neste exemplo, para janeiro de 1997, utilizando-se o IGP-DI (da Fundação Getúlio Vargas). A tabela (3), indica os dados processados.

As variáveis pesquisadas foram: A_t = área total dos terrenos, IL = índice de liquidez das ofertas, Fr = frentes dos terrenos, Pe = profundidades equivalentes dos terrenos, $Mês$ = época das ofertas ao mercado e, $Zona$ = zona dos imóveis da amostra. A equação a ser estimada por regressão múltipla foi a do modelo organizado com os preços unitários líquidos (Vu_i), com uma modificação na variável de localização através de *variáveis dummies* ($Zona: Z_a, Z_b, Z_c$).

$$Vu_i = (Vt_i / A_t) * IL = b_0 + b_1 * Fr + b_2 * Pe + b_3 * Mês + b_4 * Z_a + b_5 * Z_b \quad (\text{modelo geral})$$

$$Vu_i = b_0 + b_1 * Fr + b_2 * Pe + b_3 * Z_a + b_4 * Z_b \quad (\text{modelo estudado})$$

Como não devem ser incluídas no modelo, simultaneamente, área, frente e profundidade do terreno, pois a colinearidade é evidente, foram feitas simulações incluindo-se cada um dos pares (A_t, Fr), (A_t, Pe) e (Fr, Pe), verificando-se em seguida a colinearidade para cada uma das simulações, optando-se então pela combinação de melhor resultado global no modelo, dentre aquelas três. Foram verificadas várias outras formas funcionais alternativas, com transformações sobre as variáveis contínuas (Vu_i, Fr, Pe), testando-se ainda a inclusão das demais variáveis independentes ($A_t, Mês, IL$), obtendo-se valores mais baixos para os coeficientes de determinação e correlação, indicando, portanto, simulações de menor qualidade em relação ao modelo estudado, explicitado acima. Os coeficientes b_j calculados foram aceitos, pois o teste t de

cada um indicou significância em níveis superiores aos exigidos pela norma, de 5%, todos foram também maiores que $t_{crít}=2,228$, aceitando-se assim a hipótese de significância (e importância) das variáveis incluídas no modelo.

$$Vu_l = -67,197 - 0,0289 * Fr^2 + 848,64 / Pe^{0,5} + 79,773 * Za + 31,251 * Zb$$

$$(-5,555) \quad (14,28) \quad (28,15) \quad (11,76)$$

A hipótese de existência da regressão (validade global da análise), realizada pelo teste F , foi confirmada. O valor calculado foi de $F_{calculado}=177,2495$ enquanto que o valor crítico (5%) foi de $F_{crítico}=3,478$. O coeficiente de determinação também permite considerar positivamente o modelo, sendo de $R^2_a=0,9805$. As análises gráficas foram consideradas adequadas, não se detectando fugas aos princípios básicos da regressão. Como o imóvel tem $10m$ de frente, $35m$ de profundidade e está na zona B , o modelo pesquisado e o valor médio são, respectivamente:

$$Vu_l = -67,197 - 0,0289 * Fr^2 + 848,64 / Pe^{0,5} + 79,773 * Za + 31,251 * Zb$$

$$Vu_l = -67,197 - 0,02889 * (10)^2 + 852,64 / (35)^{0,5} + 79,773 * 0 + 31,251 * 1$$

$$Vu_l = R\$ 105,29/m^2$$

Além do valor calculado, que é a média de mercado para o imóvel em tela, foi calculado um intervalo de confiança a um nível de confiança de 80% (estabelecido na NBR 5676/90) de acordo com os atributos do imóvel avaliando de $[R\$101,94; R\$108,64]$ por metro quadrado.

Em seguida, apresenta-se a formulação proposta neste trabalho e em Macedo (2001):

a) Determinação das faixas ótima, de máxima incerteza, e de variação dos limites superior e inferior do valor médio esperado

a.1) Desvio padrão, limite inferior e superior do valor médio esperado

Da expressão (2), obtém-se $S(\hat{Y}_h) = 2,42$. Utilizando para o nível de confiança aquele proposto por Macedo (2001) para poucos graus de liberdade, isto é de 95% ($t = 2,2622$), através das expressões (4) e (5), obtém-se:

$$LI = \hat{Y}_h - t_{1 - \frac{\alpha}{2}, (n-k-1)} \cdot S(\hat{Y}_h) = 99,85$$

$$LS = \hat{Y}_h + t_{1 - \frac{\alpha}{2}, (n-k-1)} \cdot S(\hat{Y}_h) = 110,73$$

a.2) Desvio padrão de máxima incerteza (entropia) do valor médio esperado

Como o intervalo é simétrico e os limites extremos do intervalo de confiança para o nível de confiança de 95% são $[99,85; 110,73]$ e, sabendo-se que $\alpha = \beta = 0$, na condição de máxima entropia aplica-se à distribuição retangular, pode-se obter o desvio padrão através da expressão (16):

$$S_{MI} = \frac{LS - LI}{\alpha + \beta + 2} \sqrt{\frac{(\alpha + 1)(\beta + 1)}{(\alpha + \beta + 3)}} = \frac{110,73 - 99,85}{2} \sqrt{\frac{1}{3}} = 3,14$$

a.3) Faixa ótima do valor médio esperado

Obtido o desvio padrão do valor médio esperado, determina-se uma faixa representativa dos valores ótimos, através das expressões (6) e (7), como a seguir:

$$LS_{ótimo} = \hat{Y}_h + S(\hat{Y}_h) = 105,29 + 2,42 = 107,71$$

$$LI_{ótimo} = \hat{Y}_h - S(\hat{Y}_h) = 105,29 - 2,42 = 102,87$$

a.4) Faixa de máxima incerteza (entropia) do valor médio esperado e amplitude do campo de arbítrio

Obtido o desvio padrão de máxima entropia para o valor médio esperado, determina-se uma faixa representativa dos valores de máxima incerteza, através das expressões (18) e (19), e a amplitude do campo de arbítrio pela expressão (26), da seguinte forma:

$$LS_{MI} = \hat{Y}_h + S_{MI}(\hat{Y}_h) = 105,29 + 3,14 = 108,43$$

$$LI_{MI} = \hat{Y}_h - S_{MI}(\hat{Y}_h) = 105,29 - 3,14 = 102,15$$

$$\text{amplitude do campo de arbítrio} = 108,43 - 102,15 = 6,28$$

a.5) Faixa de variação dos limites superior e inferior do valor médio esperado

Pode-se obter a faixa representativa da variação dos limites ótimos do valor esperado, que será dada pela diferença entre os limites de máxima incerteza e os limites ótimos do valor esperado, através das expressões (24) e (25), como a seguir:

$$\text{Faixa de variação do Limite Superior} = 108,43 - 107,71 = 0,72$$

$$\text{Faixa de variação do Limite Inferior} = 102,87 - 102,15 = 0,72$$

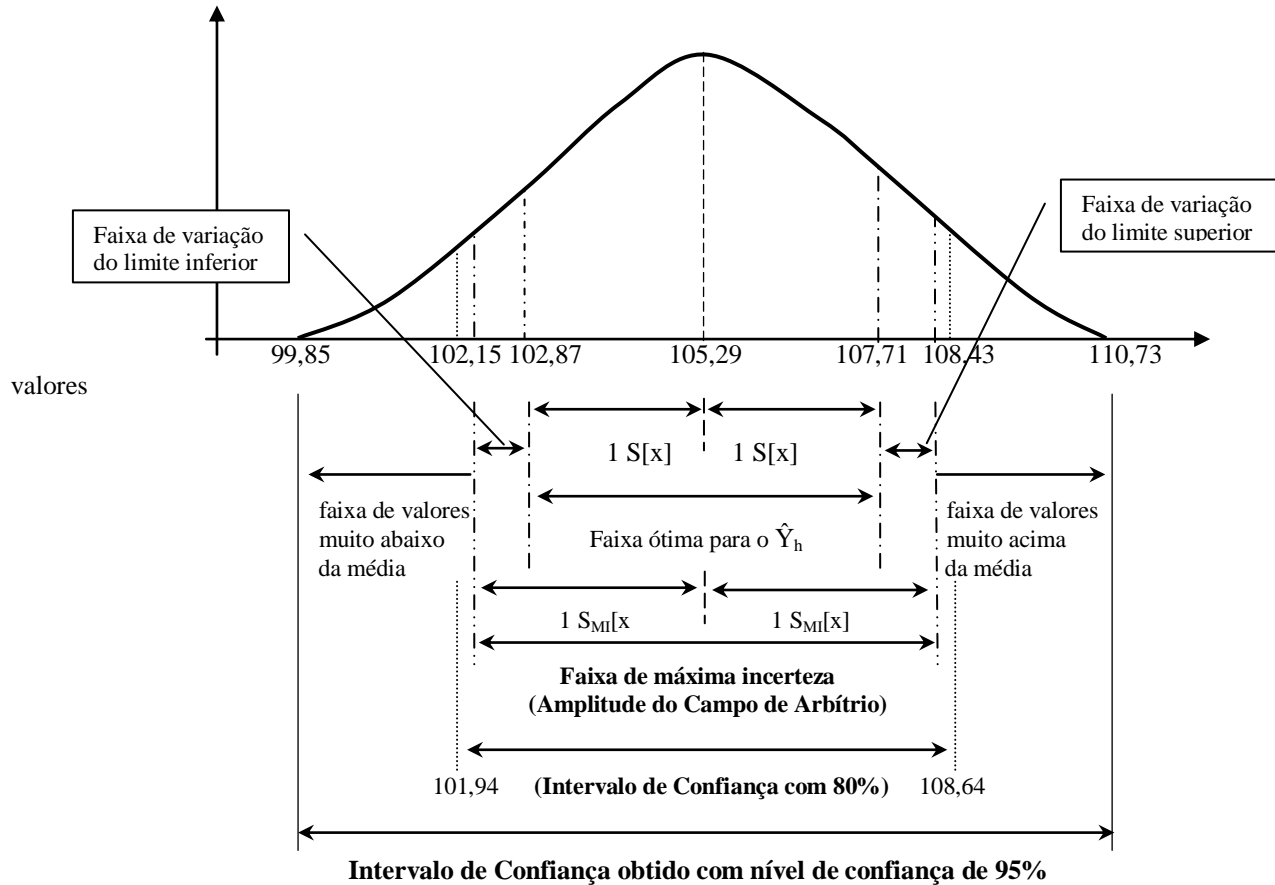


Figura (4): Faixas para o exemplo (dentro do intervalo de confiança do valor médio esperado).

a.6) Considerações e comentários sobre o exemplo

Do exemplo apresentado, pode-se verificar que:

1) Atendendo-se ao princípio da máxima incerteza (entropia) e à recomendação deste trabalho quanto ao nível de confiança (para poucos graus de liberdade $\rightarrow 1 - \alpha = 95\%$, no exemplo $n = 15$, $k = 5 \rightarrow n - k - 1 = 9$ graus de liberdade) obtém-se a faixa de máxima incerteza (faixa do campo de arbítrio) entre $[R\$102,15; R\$108,43]$, com amplitude menor que a faixa $[R\$101,94; R\$108,64]$, determinada pela metodologia científica, obtida com o nível de confiança de 80%, estabelecidos pela NBR 5676/90, conforme mostrado na Figura (4).

2) Com pequena alteração na amplitude do campo de arbítrio (no exemplo a faixa de máxima incerteza é menor que o intervalo de confiança obtido pela metodologia científica), obtém-se um nível de confiança expressivamente maior, isto é, aumenta-se o nível de confiança de 80% (estabelecidos pela NBR 5676/90) para 95% (recomendados neste trabalho).

6. CONCLUSÕES.

Neste trabalho, propõe-se estabelecer uma formulação racional para a fixação do intervalo de confiança do valor esperado da avaliação de imóvel, com base no critério de máxima incerteza proposto por Macedo (2001). Este critério incorpora fatores imponderáveis às distribuições

probabilísticas, com o objetivo de estabelecer uma faixa ótima do valor médio esperado, faixas de variação de máxima incerteza dos limites superior e inferior da avaliação de um imóvel e uma faixa de máxima incerteza (entre o limite superior e o limite inferior de máxima incerteza) que é adotada como o campo de arbítrio da avaliação e onde se pode inferir valores que levam em consideração fatores imponderáveis ora desconsiderados na Norma em vigor.

Para determinação dessas faixas, é necessário obter-se previamente uma faixa de amplitude máxima para a avaliação, estabelecida racionalmente em alternativa à faixa obtida através do nível de confiança de 80%, preconizado pela NBR 5676/90, de modo a que não seja violado o princípio da máxima entropia, que leva as seguintes conclusões:

1. Pelas características imprevisíveis do mercado imobiliário em qualquer avaliação de imóveis, o intervalo de confiança do valor médio esperado deve atender às condições do princípio de máxima incerteza (entropia), para o qual a faixa de máxima incerteza dos valores médios esperados deverá ser sempre maior que a faixa ótima dos valores médios esperados.
2. Em decorrência da conclusão 1 acima, níveis de confiança inferiores a 85,62% representam violação ao princípio da máxima entropia. Consequentemente, o nível de confiança de 80% estabelecido pela NBR 5676/90 levará sempre à violação do princípio da máxima entropia.
3. Níveis de confiança maiores que 85,62% e menores que 91,67% correspondem a uma faixa de possível violação ao princípio da máxima incerteza, dependendo do número de graus de liberdade usado na regressão linear múltipla.
4. Para que se garanta a não violação ao princípio da máxima entropia, propõe-se a adoção de uma faixa para os níveis de confiança entre 95% e 98%, onde o valor de 95% representa o valor mínimo, com pequena margem de segurança em relação ao valor limite de 91,67% e, o limite de 98% representa um valor a partir do qual o campo de arbítrio passa a ser desnecessariamente muito amplo, por contemplar margens de erro muito pequenas.
5. Níveis de confiança próximos a 95% devem ser selecionados nos casos de poucos graus de liberdade, enquanto valores próximos a 98% devem corresponder a muitos graus de liberdade.
6. Com pouca variação da amplitude do intervalo de confiança do valor médio esperado obteve-se um significativo aumento do nível de confiança, dos 80% estabelecidos pela NBR 5676/90 – ABNT para 95% a 98%, dependendo do número de graus de liberdade utilizados na equação de regressão linear múltipla.
7. A diferença entre a faixa de máxima incerteza dos valores médios esperados e a faixa ótima dos valores médios esperados representa a variação dos limites superior e inferior dos valores médios esperados, ou seja, determina faixas de variação dos valores esperados extremos, que podem ser usados como margem para negociações.
8. Para garantia do princípio da máxima entropia sugere-se a adoção da faixa de máxima incerteza do valor médio esperado como campo de arbítrio para inferências estatísticas em avaliações de bens imóveis, representada pelo intervalo $[LI_{MI} \leq \hat{Y}_h \leq LS_{MI}]$.

Como estão em plena revisão as normas de avaliações de imóveis, propõe-se que os critérios apresentados neste trabalho sejam avaliados como alternativa aos critérios correspondentes atualmente em uso pela NBR 5676/90 – ABNT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT & COBRACON, Proposta de revisão da norma NB-502/89, 1998.
- DANTAS, Rubens A., Aspectos polêmicos: urgência na revisão das normas, IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias (IX COBREAP), Anais, 1997.
- DANTAS, Rubens A., Engenharia de Avaliações uma Introdução à Metodologia Científica, São Paulo: Editora Pini Ltda., 1998.
- GERALDO, Flávia C.M., Princípio da Máxima Entropia: Fundamentos e aplicações à Geotecnia, Dissertação de Mestrado de Engenharia na UFRJ, COPPE-RJ, 1995.
- GIANNAKOS, Isabela B. S., SILVEIRA, Luciano B., Os Limites de Confiança e o Arbítrio do Avaliador, Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias, IX Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias (IX COBREAP), Anais...São Paulo, 1997, pp. 290-295.
- GIANNAKOS, Isabela B. S., SILVEIRA, Luciano B., Proposta de alteração da NB 502/89 campo e arbítrio, X Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias (X COBREAP), Anais...Fortaleza, 1999.
- GONZÁLEZ, Marco A. S., A Engenharia de Avaliações na visão Inferencial, São Leopoldo – RG: Editora Unisinos, 1998.
- HARR, M. E., Reliability-Based Design in Civil Engineering, Mc. Graw-Hill Book Company, USA, 1987.
- JAYNES, E. T., On the Rationale of Maximum Entropy Methods, IEEE, Volume 70, No. 9, 1982.
- JAYNES, E.T., The Evolution of the Carnot Maximum-Entropy Principle and Bayesian Methods in Science and Engineering, Volume I: Foundations, Erickson G.J. and Smith, C.R., Editors, Kluwer Academic Publishres, The Netherlands, 1988.
- MACEDO, LUIZ F.R., Um critério de máxima entropia para inferências sobre o campo de arbítrio em avaliações de bens imóveis, dissertação de Mestrado – IPRJ – UERJ, Nova Friburgo – RJ, 2001.
- MATHAI, A.M. & RATHIE, P.N., Basic Concepts in Information Theory and Statistics, India: John Wiley & Sons, 1990.
- NB 502/89, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), Avaliação de Imóveis Urbanos, Rio de Janeiro, 1989.
- NBR 5676/90, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), Avaliação de Imóveis Urbanos, Rio de Janeiro, 1990.
- SANTA MARIA, P.E., SANTA MARIA, F.C, e PACHECO, M.P., O Princípio da Máxima Entropia e sua Aplicação a um Caso de Fundações, Revista Solos e Rochas, VOL 19, No. 2, São Paulo, 1996.
- TRIBUS, M., Thermostatics and Thermodynamics, D Van Nostrand Company, EUA, 1961.

ANEXO 1

Número do elemento da amostra	Área do terreno (A _i) (m ²)	Frente (Fe) (m)	Profundidade (Pe) (m)	Zona (Za, Zb ou Zc)	Índice de Liquidez (IL) (%)	Mês (oferta do imóvel)	Valor unitário líquido (Vu _i * IL) (R\$/m ²)
1	350.00	10.00	35.00	A	0.80	11/95	156.72
2	610.00	10.00	61.00	B	0.85	10/95	71.86
3	396.00	11.00	36.00	C	0.85	12/95	71.01
4	360.00	12.00	30.00	C	0.83	12/95	83.05
5	300.00	10.00	30.00	C	0.80	5/96	84.51
6	514.00	15.60	33.00	C	0.80	5/96	81.91
7	480.00	12.00	40.00	B	0.85	5/96	96.34
8	1122.00	33.00	34.00	A	0.90	5/96	127.10
9	636.60	14.40	44.00	A	0.80	10/95	126.24
10	363.00	11.00	33.00	A	0.70	10/95	163.72
11	768.60	12.60	61.00	B	0.90	10/95	71.71
12	312.00	12.00	26.00	B	0.90	12/95	123.34
13	610.00	10.00	61.00	C	0.95	12/95	36.71
14	484.00	11.00	44.00	B	0.85	1/96	86.64
15	303.85	10.30	29.50	C	0.85	12/95	82.81
médias	517.19	13.00	39.87	-	0.85	-	97.58

Tabela 3: Amostra de dados do mercado

CURRICULUM VITAE

Luiz Fernando Reis de Macedo

DADOS PESSOAIS

- NOME: Luiz Fernando Reis de Macedo
- NASCIMENTO: 04/08/1956
- NACIONALIDADE: Brasileira
- NATURALIDADE: Curitiba - PR
- ESTADO CIVIL: Solteiro
- IDENTIDADE PROFISSIONAL:
 - CREA: 9650-D, PR
- ATIVIDADES ACADÊMICAS E CIENTÍFICAS ATUAIS:
 - Prof. Substituto do Instituto Politécnico da UERJ.

TITULAÇÃO ACADÊMICA

GRADUAÇÃO:

- Graduado em Engenharia Civil em janeiro de 1980 pela Universidade Federal do Paraná.

PÓS-GRADUAÇÃO:

- **ESPECIALIZAÇÃO:** em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal do Paraná em dezembro de 1999. Título da Monografia: “Segurança na Coleta, Armazenamento e Transportes de resíduos sólidos industriais”.
- **MESTRADO:** M.Sc. em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em março de 2001, na área de Materiais. Título da Tese de Mestrado: “Um Critério de Máxima Entropia para Inferências sobre o Campo de Arbítrio em Avaliações de Bens Imóveis”.
- **DOUTORADO:** matriculado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro, na área de Computação Científica. Título da Tese de Doutorado: “Monitoramento, Visualização e Mobilidade de Plumas de Contaminação no Solo”.

INDICADORES DE PRODUÇÃO

Artigos em Periódicos	1
Trabalhos em Congressos	1
Demais tipos de produção bibliográfica	1
Cursos ministrados sobre Avaliações (IBEC)	1

CURRICULUM VITAE SIMPLIFICADO **MARCUS PEIGAS PACHECO**

- NOME: Marcus Peigas Pacheco
- FILIAÇÃO: Paulino Pacheco e Maria Peigas Pacheco
- NASCIMENTO: 25/05/48
- NACIONALIDADE: Brasileira
- NATURALIDADE: Rio de Janeiro - RJ
- ESTADO CIVIL: Casado
- IDENTIDADE PROFISSIONAL:
 - Carteira Profissional No: 19062, Série 294.
 - CREA: 22807-D, Registro 74952, 5a. Região.
 - Matrícula UERJ: 7499-7

ATIVIDADES ACADÊMICAS E CIENTÍFICAS ATUAIS

- Prof. Titular do Instituto Politécnico da UERJ, participante do PROCIÊNCIA (programa de Dedicção Exclusiva da UERJ com avaliação externa periódica).
- Pesquisador I-C, CNPq.
- Membro do Conselho Consultivo da Sub-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UERJ
- Membro do Editorial Board (“referee”) do Periódico Engineering Geology – an International Journal, Elsevier, Holanda.
- Presidente da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), Núcleo Regional do Rio de Janeiro.
- Vice-Presidente da Comissão Organizadora do IV ICEG (IV International Conference on Environmental Geotechnics) – Rio de Janeiro, Agosto de 2002.
- Presidente da III COBRAE – III Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – Rio de Janeiro, Novembro de 2001`.
- Consultor “Ad Hoc” da FINEP, CNPq e FAPERJ.

1- TITULAÇÃO ACADÊMICA

GRADUAÇÃO: Graduado em Engenharia Civil em Dezembro de 1973 pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, com especialização em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.

PÓS-GRADUAÇÃO:

- MESTRADO: M.Sc. em Engenharia Civil por PURDUE UNIVERSITY, nos E.U.A., em Dezembro/82, na área de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.
- DOUTORADO: Ph.D. em Engenharia Civil por PURDUE UNIVERSITY, nos E.U.A., em Dezembro/86, na área de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Título da Tese de Doutorado: "A Pore Pressure Model for Elastic-Plastic Finite Element Analysis".
- PÓS-DOUTORADO: Programa de pós-doutorado no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UNIVERSIDADE de ALBERTA, Canadá, no tema “Quantitative Risk Assessment of Landslides”, de Março de 1997 a Agosto de 1998.

CURRICULUM VITAE

Ricardo Amorim Einsfeld

DADOS PESSOAIS

- NOME: Ricardo Amorim Einsfeld
- NASCIMENTO: 31/05/49
- NACIONALIDADE: Brasileira
- NATURALIDADE: Rio de Janeiro - RJ
- ESTADO CIVIL: Casado
- IDENTIDADE PROFISSIONAL:
 - CREA: 22246-D, Registro 81-1-14064-5, 5a. Região.
 - Matrícula UERJ: 5235-7
- ATIVIDADES ACADÊMICAS E CIENTÍFICAS ATUAIS:
 - Prof. Adjunto do Instituto Politécnico da UERJ. Regime de 40 h semanais (DE)

TITULAÇÃO ACADÊMICA

GRADUAÇÃO:

- Graduado em Engenharia Civil em dezembro de 1972 pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), com especialização em Estruturas.

PÓS-GRADUAÇÃO:

- **MESTRADO:** M.Sc. em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) em abril de 1979, na área de Estruturas. Título da Tese de Mestrado: "Cálculo de Placas Retangulares, Isotrópicas, com Várias Condições de Apoio, pelo Método das Faixas Finitas".
- **DOCTORADO:** D.Sc. em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), em junho de 1997, na área Estruturas. Título da Tese de Doutorado: "Simulação Numérica de Fraturamento em Estruturas de Concreto Combinando os Processos Discreto e Distribuído".
- **DOCTORADO SANDUÍCHE:** Department of Civil & Environmental Engineering, University of Alberta, Alberta, Canada, anos 1994 e 1995.

INDICADORES DE PRODUÇÃO

Artigos em Periódicos	1
Trabalhos em Congressos	16
Demais tipos de produção bibliográfica	2
Orientações de Mestrado	4
Orientação de Iniciação Científica	4