

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Análise comparativa e estatística entre o Método Aoki-Velloso e os critérios de ruptura de Chin, da Rigidez e da NBR6122, aplicados a um banco de dados de Estacas Raiz.

Arthur Teixeira Askinis

Engenheiro Civil, Pesquisador Independente, São Caetano do Sul, Brasil, askinis.arthur@hotmail.com

Kurt André Pereira Amann

Professor, Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, Brasil, kpereira@fei.edu.br

RESUMO: O presente trabalho apresenta uma comparação estatística entre os resultados do método semiempírico Aoki-Velloso e os resultados de diversos critérios de ruptura em Ensaios de Prova de Carga Estática, a saber Chin, NBR6122 e Rigidez de Décourt, aplicados a um banco de dados de estaca Raiz, coletado da literatura por Amann (2000). A partir das sondagens SPT deste banco de dados, aplicou-se o Método Aoki-Velloso para cada estaca, bem como os critérios de ruptura da NBR6122(2019), de Chin (1970) e da Rigidez de Décourt (2008) para determinação das cargas de ruptura a partir das respectivas curvas carga-recalque. Para os casos em que a curva de ensaio não alcançou a reta do critério da NBR6122, aplicou-se a extrapolação da curva a partir do ajuste linear destes critérios, conforme indicado pela própria norma, como alternativa para obtenção da ruptura convencional. Aplicou-se então o teste t de Student para amostras pareadas entre os resultados do Método Aoki-Velloso e cada um destes conjuntos de resultados dos critérios analisados, identificando inicialmente se para algum destes critério o método se apresenta contra a segurança, na interpretação dada pela metodologia de Amann et al. (2018) e a qual destes critérios o método se apresenta mais ajustado.

PALAVRAS-CHAVE: Prova de Carga em Estacas, Curva carga recalque, Critério de ruptura, Método semiempírico de Aoki-Velloso, Estacas raiz.

ABSTRACT: The present work seeks to make a statistical comparison between the results of the semi-empirical method of Aoki-Velloso and the results of the different failure criteria based on the Static Load Tests, namely Chin, NBR6122 and Décourt Stiffness, to a database of Root stake.

With the database and respective SPT's, the Aoki-Velloso Method and the rupture criteria of NBR6122 (2019), Chin (1970) and Stiffness were applied to determine the rupture loads. For cases where the test curve did not reach the resumption of the NBR6122 criterion, an extrapolation of the curve was applied from the linear adjustment of these criteria, as indicated by the standard itself as an alternative to obtain the conventional rupture, thus the possibility of treating such results as differentiated groups in this proposal. Student's t test was then applied for pairings between the Aoki-Velloso Method results and each of these sets of results of the added criteria, identifying whether for any of these criteria the method presents itself against safety, according to the methodology of Amann et al. (2018), and which of these criteria the method is most suitable.

KEYWORDS: Stake load proof. Hold load curve, Rupture criterion, semi-empirical method Aoki Velloso, root stake.

1 Introdução

O presente trabalho aplica a metodologia proposta por Amann et al (2018), com base no teste estatístico t de Student, para identificar com qual dos critérios de ruptura analisados (a saber: Chin, Rigidez ou NBR 6122) o método Aoki-Velloso se apresenta como acurado ou se, eventualmente, resulta a favor ou contra a segurança. A interpretação dada pela metodologia proposta verifica o teste de hipótese bicaudal para nulidade



da média da diferença entre os resultados do método e dos critérios, dentro do intervalo de confiança de 95%, para considerar o método acurado em relação ao critério. Se a média das diferenças resultar abaixo do limite inferior do intervalo de confiança, o método está a favor da segurança e, caso contrário, contra a segurança, como se descreve mais adiante.

Como o teste t para dados pareados só é aplicável para variáveis com distribuição Normal, faz-se a recomendação de se verificar a normalidade aplicando-se o teste Kolmogorov-Smirnov (aqui apelidado de teste KS), discutindo-se a metodologia para decidir pela retirada ou não de alguns pontos do banco de dados que se mostrem não aderentes à distribuição verificada. Propõem-se ainda que seja verificada a aderência dos dados a distribuição Lognormal como alternativa de tratamento das análises, adotando-se a interpretação proposta por Kuboyama e Amann (2018).

Toda essa metodologia descrita é aplicada a um banco de dados de estacas raiz coletado da literatura por Amann (2000), para classificação deste método em relação aos critérios de ruptura mencionados.

2 Banco de dados de estacas raiz (Amann, 2000)

Para desenvolvimento deste trabalho o banco de dados de estacas raiz (Amann, 2000) é composto por 27 estacas (originalmente eram 28) executadas no Brasil em regiões diferentes, tendo também comprimentos e diâmetros diferentes, compondo uma grande diversidade de variáveis. Nesse contexto, a aplicação da forma proposta de análise estatística não avalia a influência específica de uma dada variável nos resultados, mas busca verificar a tendência geral dos resultados do método semi-empírico em relação a alguns dos diferentes critérios de ruptura mais usados no Brasil.

Essas estacas estão agrupadas conforme a obra a que pertencem ou região geotécnica (local), etc., conforme descrito em Amann (2000), sendo referenciadas as estacas pela letra G (grupo a qual pertencem), seguida do número de identificação do grupo, e seguido do número de ordem de cada estaca; por exemplo a G201, trata-se da estaca 01 do grupo G2. A tabela 1 apresenta as informações resumidas deste banco de dados.

É importante destacar que a estaca G705 não apresentou dados coerentes para a aplicação do método semi-empírico e foi retirada das análises desde o seu início.

3 Metodologia proposta para aplicação da Análise Estatística

Apresenta-se aqui as linhas gerais da metodologia estatística proposta por Amann et al (2018). Para os métodos e critérios analisados pelo teste t de Student também será utilizado o teste KS e discute-se a sua aplicação para caso da variável ter distribuição Log-normal.

3.1 Teste “t” de Student

A base da análise proposta por Amann et al (2018) é verificar estatisticamente a classificação do Método semi-empírico em comparação com os critérios de ruptura em termos de se comportar, de modo geral, a favor da segurança, contra a segurança ou de forma acurada para prever a média do critério de ruptura em análise para este banco de dados. Dessa análise pode-se verificar, por exemplo, se o método semi-empírico Aoki-Velloso é acurado para algum dos critérios estudados, auxiliando na tomada de decisão acerca de qual é o critério de ruptura mais interessante para se usar na comparação com o método Aoki-Velloso para este tipo de estaca, no caso, a estaca raiz.

Para essa avaliação será aplicado o teste t de Student sobre a diferença entre a resistência estimada pelo SPT do Método Aoki-Velloso e os obtidos pelos critérios aplicados à curva carga-recalque das estacas. Para aplicação do teste t é necessário ainda verificar se a distribuição dos dados tem comportamento Normal (formato de sino).

O teste t para amostras pareadas será aplicado com base na análise bicaudal. Este teste é baseado na hipótese de que a média das diferenças entre os valores de cada par das duas variáveis aleatórias seja nula em comparação com a rejeição dessa hipótese. Foi escolhida a análise bicaudal pois com uma análise unicaudal consegue-se analisar apenas se o método está “a favor da segurança” ou “contra a segurança”. Com a análise bicaudal, se resultar a rejeição da hipótese nula (H_0), pode-se analisar se o resultado se encontra na região contra ou a favor da segurança, dando uma análise mais interessante no caso em estudo.



Tabela 1. Banco de Dados de estacas Raiz (Amann, 2000).

Local	Estacas	D(mm)	L (m)	P.T. (m)	P.P. (m)	L.F.(m)
São Paulo - SP	G101	200	21	0	21	21
São Paulo - SP	G102	200	20	0	20	20
Guarujá - SP	G201	250	32	0	32	32
Guarujá - SP	G202	250	20,92	0	20,92	20,92
Guarujá - SP	G203	250	18	0	18	18
Guarujá - SP	G204	250	25,96	0	25,96	25,96
Bauru - SP	G301	250	21	0	21	21
.Bauru - SP	G302	250	23	0	23	23
-	G401	250	34	1,5	35,5	35,5
-	G402	310	23,2	1,5	24,7	24,7
-	G403	310	34	2,5	36,5	36,5
-	G404	310	34	1,5	35,5	35,5
São Paulo - SP	G501	200	23	1	24	24
São Paulo - SP	G502	200	23	1	24	24
São Paulo - SP	G503	250	23	1	24	24
São Paulo - SP	G504	250	23	1	24	24
São Carlos - SP	G601	250	16	1	17	17
São Paulo - SP	G602	170	20	1,02	21,02	21,02
São Paulo - SP	G603	250	20,23	1,8	20,23	18,43
São Paulo - SP	G701	250	15	0	15	15
São Paulo - SP	G702	250	14	0	14	14
São Paulo - SP	G703	250	20,5	0	20,5	20,5
São Paulo - SP	G704	250	27,5	0	27,5	27,5
Recife - PE	G705	250	26,6	-	-	-
São Paulo - SP	G706	400	21	0	21	21
Camaçari - SC	G707	250	20,1	0	20,1	20,1
Sto. André - SP	G708	250	27,4	0	27,4	27,4
Jacareí - SP	G709	250	24,4	0	24,4	24,4

Legenda: P.T. : profundidade (cota) do terreno; P.P.: profundidade da ponta; L.F.: trecho da estaca em contato com solo (descontando-se o trecho livre).

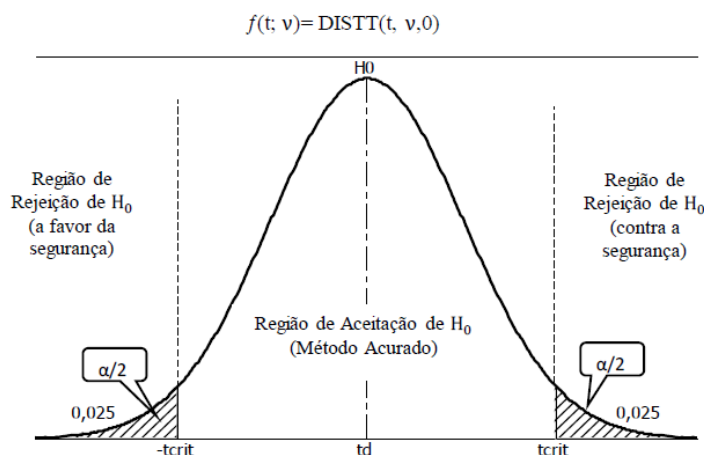


Figura 1. Interpretação do Teste de Hipótese bicaudal com regiões de aceitação e rejeição de H_0 (Kuboyama e Amann, 2018).



A análise bicaudal diminui um pouco a região “a favor da segurança”, sendo mais restritivo, pois enquanto na unicaudal se tem 5% à esquerda para definição do valor do t crítico (t_{crit}) com 95% de confiança, no bicaudal tem-se esse valor distribuído à esquerda e à direita da curva de distribuição estatística, passando a ser 2,5% (0,025) a área para cada extremidade, como ilustra a figura 1.

3.2 Teste KS

Para avaliar a normalidade da distribuição aplica-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (teste KS) de Normalidade. É um teste estatístico avaliando a probabilidade do histograma ter uma distribuição normal com base na maior diferença entre a curva Normal esperada e o histograma dos dados (Silva e Amann, 2018). A análise é feita com base no valor de probabilidade obtido, o “p-valor”: caso ele seja maior que 0,10 pode-se admitir que existe normalidade, porém é desejável que seja maior que 0,15 para se ter maior confiança na normalidade da distribuição.

3.3 Aplicação à variável Lognormal

A distribuição Normal ou Gaussiana é centrada na média dos dados e simétrica em formato de “sino” e com o teste K-S pode-se validar a aderência dos dados a essa distribuição. Segundo Amann e Kuboyama (2018) os métodos semi-empíricos em geral são formulações calcadas em produtos de fatores (produtórias) e podem não apresentar distribuição Normal, mas eventualmente Lognormal. Portanto, neste trabalho, em caso de não se ter um p-valor satisfatório no teste KS, adota-se a metodologia de testar a Normalidade dos logaritmos dos dados, para identificar um eventual ajuste à distribuição Lognormal. A dedução e interpretação da aplicação do teste t pareado para variáveis Lognormal pode ser visto em Kuboyama e Amann (2018).

4 Métodos semi-empíricos

Os métodos semi-empíricos são correlações empíricas que relacionam a resistência ou capacidade de carga com resultados de ensaios de campo como o SPT (*Standard Penetration Test*) e o CPT (*Cone Penetration Test*). Os métodos semi-empíricos já são consagrados nos projetos de fundações e muito utilizados no Brasil.

4.1 Método Aoki-Velloso

Para obtenção dos valores de resistência geotécnica (R_{AV}) das estacas aplicou-se o método semi-empírico Aoki-Velloso, utilizando-se área da ponta (A_p), sondagem SPT do solo da ponta (N_p) e do fuste (N_l), trecho de estaca atravessando cada camada de solo (Δ_l) e fatores relacionando o ensaio CPT e a ponta (F_1) e atrito lateral (F_2) ao tipo de estaca, neste caso, a estaca raiz. Neste método a resistência da estaca é obtida pelo fator de relação do SPT com o cone do ensaio CPT para ponta (K) e atrito lateral (α) como apresentado na equação (1):

$$R_{AV} = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \Sigma(\alpha \cdot K \cdot N_l \cdot \Delta_l) \quad (1)$$

5 Critérios de Ruptura

Neste trabalho utilizaram-se os critérios de ruptura de Chin, o método descrito na NBR 6122, considerando módulo de elasticidade de 19GPa e de 25GPa, da Rigidez de Décourt com todos os pontos de ensaio e com apenas os últimos 5 pontos, todos com base nos resultados dos ensaios de Prova de Carga Estática (PCE). Descrevem-se aqui sucintamente esses critérios.

5.1 Critérios de Ruptura de Chin



O critério de Chin faz o ajuste da curva de ensaio PCE pela equação de uma hipérbole que relaciona os recalques medidos (y) com as cargas aplicadas (P), e cuja assíntota define a carga de ruptura (P_r , equação 2):

$$X = \frac{y}{P} = a_1 \cdot y + a_0 ; \Rightarrow P_r = \frac{1}{a_1} \quad (2)$$

5.2 Critérios de Ruptura da Rigidez (Décourt, 2008)

O critério da rigidez se baseia na rigidez secante à curva de ensaio (em kN/mm) para definir a ruptura. Define-se a ruptura quando o prolongamento da reta ajustada aos pontos do gráfico de Rigidez resulta valor zero, interpretando-o como a carga de ruptura aquela para a qual o solo não oferece mais resistência ao carregamento da estaca (equação 3).

$$\text{Rig} = \frac{P}{y} = b_1 \cdot P + b_0 ; \Rightarrow P_r = -\frac{b_0}{b_1} \quad (3)$$

Chamou-se aqui de critério da Rigidez convencional o ajuste de uma reta a todos os pontos do gráfico de Rigidez aplicado ao ensaio PCE e experimentou-se uma variação de sua aplicação ajustando-se a reta de regressão linear apenas aos 5 últimos pontos, os quais em geral apresentam melhor tendência ao alinhamento e indicam o comportamento do solo da ponta da estaca.

5.3 Critérios de Ruptura da NBR 6122

O critério da NBR6122 é dado por (equação 4):

$$y = \frac{P}{\left(\frac{E_p \cdot A}{L}\right)} + \frac{D}{30} \quad (4)$$

O resultado de carga de ruptura convencional a ser obtido é relativa ao ponto de interseção entre a curva de ensaio PCE e a reta (equação 4), exigindo-se que o ensaio alcance deformação (recalque) suficiente para isso. Depende da rigidez estrutural da estaca (K_r), dada pelo módulo de elasticidade do material da estaca (E_p), do seu diâmetro (D), da área (A) de sua seção transversal e do seu comprimento (L). Como não se tem o módulo de elasticidade experimental das estacas, optou-se por adotar dois valores de teste, 19 e 25GPa, valores médios obtidos na literatura para este tipo de estaca. Quando a curva de ensaio não alcança essa reta (4), a norma permite a extrapolação matemática da curva a partir das equações dos demais critérios de ruptura.

6 Resultados do Método Aoki Velloso e dos critérios de ruptura

Aplicando os métodos e critérios conforme descrito acima, obtiveram-se os seguintes resultados apresentados na tabela 2.

Observe-se que a estaca G503 apresentou comportamento anômalo da curva de ensaio, sendo retirada desta análise. Embora não retirada de início, a estaca G703 mostra resultados discrepantes em relação a Aoki Velloso e aos critérios de ruptura, de modo que sua inclusão será analisada.

7 Metodologia da análise estatística e tratamento de pontos “outliers”

Para a análise estatística, a fim de se verificar a “acurácia” do método ou se ele se mostra “a favor” ou “contra a segurança”, seguiu-se a metodologia abaixo:

- 1) Aplica-se o Teste KS de normalidade aos dados do método Aoki-Velloso e de cada critério;
- 2) Caso se rejeite a H_0 (não Normal), pode-se tentar excluir os pontos “outliers” (fora do intervalo de confiança da média) na tentativa;
- 3) Se após retirar 2 pontos “outliers” ainda não se tem Normalidade dos dados, opta-se por mudar a distribuição testada e reaplicar para todos os pontos;



- 4) Sugere-se testar a distribuição Lognormal como alternativa, bastando para isso calcular os logaritmos naturais dos pontos dados e proceder ao teste KS para esses dados assim transformados;
- 5) Se o método Aoki-Velloso resultar aderente a uma distribuição Normal dos seus logaritmos (Lognormal), deve-se então verificar se os critérios de ruptura também o são;
- 6) Se a distribuição ainda assim não resultar Lognormal, novamente tenta-se retirar os pontos “outliers” (um ponto por vez, reaplicando o teste KS a cada ponto retirado);
- 7) Caso o resultado distribuição Lognormal sem estes “outliers”, retira-se os pontos correspondentes do método Aoki-Velloso para permitir aplicar o teste t pareado;
- 8) Enfim, aplica-se o teste t pareado, tomando-se sempre o Método Aoki-Velloso menos cada um dos critérios de ruptura.

Tabela 2. Resultados semi-empírico Aoki Velloso e critérios de ruptura, em (kN).

Estaca	Aoki-Velloso	Chin	NBR 19GPa	NBR 25GPa	Rigidez	Rigidez 5pts
G101	433	956	838	834	870	1207
G102	1006	1051	934	906	948	1244
G201	1030	1212	978	927	1166	1312
G202	588	1008	812	777	1096	988
G203	984	889	714	653	792	1006
G204	695	2412	1928	1808	2447	2412
G301	1112	1721	1207	1147	1558	1990
G302	941	1494	1365	1335	1247	2068
G401	1125	1790	1633	1592	1803	1905
G402	1563	1814	1744	1730	1342	3842
G403	1436	1856	1739	1712	1665	2236
G404	1060	1783	1724	1710	1557	2194
G501	748	1141	1060	1039	1210	1102
G502	748	1628	1477	1436	1612	1660
G504	963	1755	1597	1559	1647	2264
G601	221	1154	963	944	2396	1098
G602	2765	1181	1093	1069	1146	1228
G603	2032	1508	1374	1330	1469	1719
G701	641	1626	1395	1350	1546	1642
G702	1763	1386	1197	1162	1256	1912
G703	674	8466	8466	8466	11536	2185
G704	1023	1364	1335	1328	1238	1833
G706	2191	3127	2730	2662	2879	4068
G707	4676	1231	1182	1172	1059	2015
G708	1325	1322	1229	1207	1166	1673
G709	934	782	769	763	711	711

Com o resultado do teste, faz-se enfim a interpretação conforme descrita na seção 3.1 acima.

8 Resultados e discussão

Como exemplo de aplicação do roteiro metodológico da seção 7, a aplicação do teste de Normalidade KS ao método Aoki-Velloso resultou nas seguintes análises (figuras 2a e 2b): dado o baixo valor do “p-valor” ($<0,010$) para os dados do método da tabela 2, experimentou-se extrair a estaca G707, que aparece na extremidade direita da figura 2a; isso não elevou o p-valor e portanto decidiu-se aplicar os logaritmos naturais, resultando num p-valor $> 0,15$, podendo-se aceitar a hipótese de Normalidade, ou seja, o Método Aoki-Velloso apresenta resultados aderentes a uma distribuição Lognormal para o banco de dados estudado.

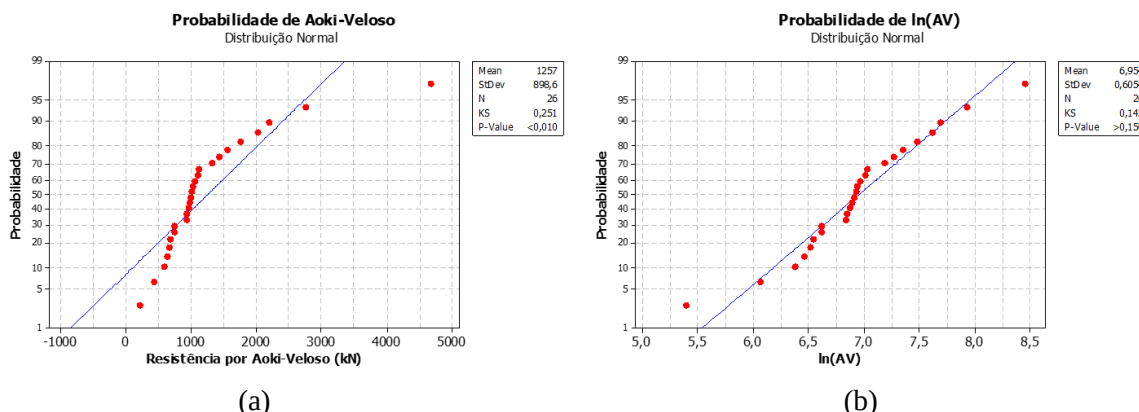


Figura 2. Gráfico de probabilidade Normal do teste KS para: a) Método Aoki- Velloso; e b) Logaritmos naturais do Método Aoki-Velloso.

A partir disso, todos os critérios foram verificados da mesma forma para testar se sua distribuição estatística pode ser considerada Lognormal, contudo, essa aderência só foi possível após retirada a estaca G703, que se mostrou como um outlier para todos os critérios. Com isso, foi necessário retirar essa estaca também do Método Aoki-Velloso para enfim aplicar o teste t pareado entre ele e cada um dos critérios.

O resultado da aplicação do teste t pareado, conforme descrito, está nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Resultados do teste t pareado para a diferença entre os logaritmos naturais do método Aoki-Velloso e dos critérios de ruptura.

ln(Método / Critério)	Média do ln(Método / Critério)	IC 95%
ln(Aoki Velloso / Chin)	-0,2840	(-0,538; -0,029)
ln(Aoki Velloso / NBR 19GPa)	-0,1640	(-0,408; 0,081)
ln(Aoki Velloso / NBR 25GPa)	-0,1360	(-0,380; 0,109)
ln(Aoki Velloso / Rigidez)	-0,2390	(-0,539; 0,061)
ln(Aoki Velloso / Rigidez 5pts)	-0,4490	(-0,687; -0,212)

Tabela 4. Intervalos de confiança e interpretação para a mediana da razão entre o método Aoki- Velloso e os critérios de ruptura.

Método / Critério	Mediana (Método/Critério)	IC 95% da mediana	Interpretação
Aoki Velloso / Chin	0,7528	(0,584; 0,871)	A favor da segurança
Aoki Velloso / NBR 19GPa	0,8487	(0,665; 1,084)	Acurado
Aoki Velloso / NBR 25GPa	0,8728	(0,684; 1,115)	Acurado
Aoki Velloso / Rigidez	0,7874	(0,583; 1,063)	Acurado
Aoki Velloso / Rigidez 5pts	0,6383	(0,503; 0,809)	A favor da segurança

Para a interpretação dos resultados do teste t pareado para variáveis Lognormal dada na tabela 4, pode-se resumi-la verificando-se que a diferença entre os logaritmos das variáveis corresponde ao logaritmo da razão entre as variáveis (Método / Critério). Assim, quando o teste t indica que essa diferença pode ser zero, o intervalo de confiança da tabela 3 inclui o valor zero e a interpretação é que o Método Aoki-Velloso é acurado para estimar a média do critério de ruptura em questão neste banco de dados. Se ambos os limites do intervalo de confiança são negativos, a estatística t está à esquerda do valor de t crítico, portanto na região “a favor da segurança” da figura 1, sendo o contrário interpretado como estando na região “contra a segurança”.

Como a exponenciação das médias obtidas resulta na mediana da razão entre as variáveis, a interpretação na tabela 4 é semelhante, porém verifica-se agora se o intervalo da razão inclui o valor 1,0 para ser acurado; da mesma forma, se ambos os limites do intervalo de confiança da mediana forem menores do que 1,0, está-se na região “a favor da segurança”.



9 Considerações finais

Este trabalho apresentou uma aplicação da metodologia estatística proposta por Amann et al (2018) para verificação da tendência de um dado Método semi-empírico prever de forma acurada os valores de critérios de ruptura aplicados à curva carga-recalque, ao mesmo tempo que permite avaliar eventualmente se ele se comporta “a favor da segurança ou contra a segurança. Para isso se aplicou o teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov (KS), inclusive aos logaritmos dos dados, verificando-se que as distribuições poderiam ser consideradas todas Lognormais para o Método Aoki-Velloso e para os critérios de ruptura analisados, extraindo-se os pontos outliers de ambas as variáveis analisadas. Em seguida aplicou-se o teste t pareado a procedeu-se interpretação de seus resultados como proposto por Kuboyama e Amann (2018), resultando que o Método Aoki-Velloso é acurado para prever a média dos resultados do critérios da NBR 6122, com módulos de elasticidade entre 19 e 25 GPa, bem como para o método da Rigidez convencional. Quando comparado aos critérios de Chin e da Rigidez ajustado pelos últimos 5 pontos, o Método Aoki-Velloso se mostra a favor da segurança par ao banco de dados de estacas raiz analisado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário FEI pelo apoio à publicação deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chin, F. K. (1970). Estimation of the Ultimate Load of Piles not Carried to Failure. In: Southeast Asian Conference On Soil Engineering, 2, 1970, Singapore. Proc... 1970, p. 81-92.
- Amann, Kuboyama e Silva, Metodologia para a avaliação estatística da aplicabilidade de métodos semi-empíricos de cálculo da resistência última de estacas (2018)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 2009. 33 p.