

Utilização do Método de Extrapolação de Cargas Proposto Por Massad (1987) Para Controle de Ancoragens Utilizando Aplicativo Web

Romero César Gomes

NUGEO/UFOP, Ouro Preto/MG, Brasil, romero@em.ufop.br

Thiago Bomjardim Porto

NUGEO/UFOP, Ouro Preto/MG, Brasil, thiago@consmara.com.br

Tamires Cristina Ferreira dos Anjos

PUC Minas, Belo Horizonte/MG, Brasil, tamirescfa@gmail.com

RESUMO: A utilização de obras ancoradas no Brasil iniciou-se na década de 50 no Rio de Janeiro, principalmente nas obras de estabilização de encostas e taludes nas principais rodovias do estado. Apesar de ter custo elevado, as obras em cortina atirantada são muito utilizadas, por viabilizar a contenção de encostas em áreas com limitações geométricas e terrenos acidentados (DUTRA, 2013). Atualmente, o controle tecnológico de ancoragens reinjetáveis é realizado através das prescrições da NBR 5629/2006 que está atualmente em revisão. Segundo essa norma, as ancoragens permanentes devem ser ensaiadas em campo até 1,75 vezes o valor de sua carga de trabalho. Infelizmente, na maioria das vezes, as ancoragens suportam uma carga muito maior que a força solicitada, desencadeando projetos não otimizados (comprimentos ancorados muito grandes) e, conseqüentemente, custos muito elevados. O método de Massad (1987), inicialmente proposto para estacas, permite a previsão da carga de ruptura da ancoragem, de maneira simples, através dos dados de carga x deslocamento, obtidos por meio de ensaios de recebimento dos tirantes. Este trabalho propõe a utilização do referido método para fazer a previsão da carga de ruptura geotécnica da ancoragem, possibilitando efetivamente a otimização do projeto no período inicial da obra, através da validação do comprimento ancorado nos primeiros tirantes executados. Assim, tem-se projetos mais econômicos e sem perdas na segurança. Ao longo do trabalho é apresentado também um estudo de caso, no qual foram utilizados os dados de ensaios de tirantes realizados para a execução de uma obra em cortina atirantada em Minas Gerais. Esses ensaios foram extrapolados matematicamente pelo método de Massad (1987) e posteriormente comparados com a carga última dos ensaios. Pode-se, assim, avaliar a eficiência do projeto inicialmente proposto.

PALAVRAS-CHAVE: Ancoragens reinjetáveis, tirantes, carga de trabalho, Contensões, Método de Massad.

1 INTRODUÇÃO

As obras ancoradas no Brasil surgiram na década de 50 em Teresópolis - RJ em contenções de encostas instáveis. Esse tipo de obra é bastante utilizado tanto na estabilização de encostas, quanto em escavações

subterrâneas. Um grande avanço teórico-experimental sobre o tema ocorreu na década de 1970, na implantação das obras do metrô de São Paulo, com a introdução de ancoragens

reinjetáveis com calda de cimento sob altas pressões (MORE, 2003).

Na ancoragem tem-se um ou mais elementos de aço capazes de suportar esforços de tração, protegidos da corrosão e fixados na região estável do maciço através da injeção de calda de cimento sob pressão, que transmite os esforços ao maciço através do bulbo de ancoragem.

As ancoragens podem ser feitas por cordoalhas ou monobarras, sendo as primeiras mais indicadas para contenções com maiores solicitações. Na Figura 1 tem-se a representação de uma ancoragem injetada em solo.

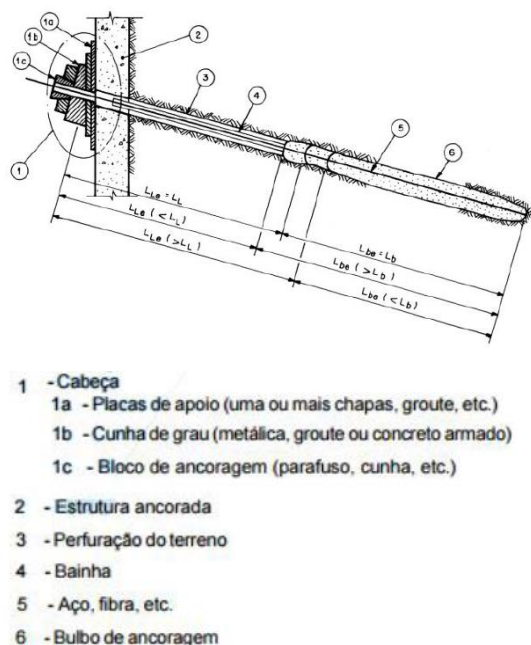


Figura 1: Representação esquemática de uma ancoragem injetada em solo (ABNT, 2006).

A solução em cortina ancorada, apesar de seu elevado custo, é uma prática bastante usual em rodovias e ferrovias onde o terreno é bastante acidentado e possui limitantes em sua geometria. (DUTRA, 2013).

Em todas as ancoragens é necessário realizar o ensaio de recebimento, que avalia as relações entre carga e deslocamento dos tirantes. No Brasil, os procedimentos para o ensaio de recebimento em tirantes são apresentados pela NBR 5629 – “*Execução de tirantes ancorados no terreno*”. A Figura 2 apresenta uma obra ancorada realizada em Congonhas- MG.



Figura 2: Obra ancorada realizada em Congonhas-MG.

2 NORMALIZAÇÃO

Os requisitos necessários para o controle tecnológico de obras ancoradas é estabelecido pela NBR 5629/2006 que está atualmente em revisão, neste documento apresenta-se os procedimentos mínimos necessários para a perfeita execução de obras ancoradas, bem como seu controle. No caso de tirantes permanentes, a NBR 5629 estabelece a necessidade mínima de o tirante atingir 1,75 vezes sua carga de trabalho, conforme estabelecido na Figura 3.

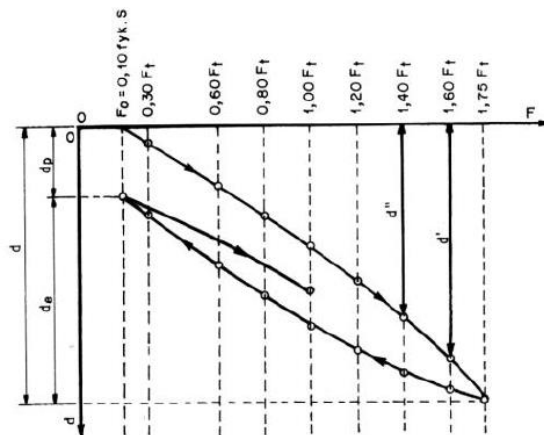


Figura 3: Gráfico típico do ensaio de recebimento de tirantes. (ABNT, 2006).

A NBR 5629/2006 fixa as condições para tirantes ancorados no terreno, tanto provisórios quanto permanentes. Os ensaios são: ensaio básico, de qualificação, de recebimento, e de fluência e são realizados com o auxílio de um

conjunto hidráulico constituído por manômetro-macaco-bomba.

2.1 Ensaio Básico

No ensaio básico observa-se a conformação com o bulbo de ancoragem, a centralização do tirante no bulbo, qualidade da injeção, define-se o comprimento livre do tirante e verifica-se o comportamento do tirante sob a ação de carga por meio dos deslocamentos elástico e permanente, e da capacidade de carga. Este ensaio é realizado apenas quando existem dúvidas quanto a um elemento novo.

2.2 Ensaio de Qualificação

São verificados a capacidade de carga do tirante e seus deslocamentos sob carga. É calculado o comprimento livre e avalia-se o atrito ao longo do comprimento livre a partir dos deslocamentos observados. O ensaio inicia-se com uma carga inicial (F_0) igual a:

$$0.1 f_{yk} S \quad (1)$$

Onde: f_{yk} é a resistência característica à tração do elemento resistente do tirante e S a menor seção do elemento resistente à tração do tirante. A carga máxima do ensaio deve ser correspondente à carga de trabalho (F_t), multiplicada pelo fator de segurança adotado, e, no máximo, igual a:

$$0.9 f_{yk} S \quad (2)$$

2.3 Ensaio de Recebimento

Controla a capacidade de carga e comportamento de todos os tirantes da obra. É feito com 4 tipos de carregamentos (A, B, C e D) conforme a utilização do tirante e sequência de execução.

2.4 Ensaio de Fluência

Avalia a estabilidade do tirante sob a ação de carregamentos de longa duração.

A Tabela 1 apresenta o resumo dos ensaios previstos na NBR 5629.

Tabela 1. Tipos de ensaio de tirantes

Ensaio	Caso	Estágios de Carga	Procedimento	Frequência
Qualificação	Permanente e/ou provisório	$F_0 = 0,1; 0,4; 0,75;$ 1,0; 1,25; 1,5; 1,6; 1,75. (vezes a carga de trabalho).	Aliviar sempre a cada novo estágio até F_0 e recarregar até um estágio superior.	A critério da experiência local/projeto
		Tipo A: $F_0 = 0,3; 0,6;$ 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,75. Tipo B: $F_0 = 0,3; 0,6;$ 0,8; 1,0; 1,2; 1,4. Tipo C: $F_0 = 0,3; 0,6;$ 0,8; 1,0; 1,2; 1,5. Tipo D: $F_0 = 0,3; 0,6;$ 0,8; 1,0; 1,2. (vezes a carga de trabalho)	Em todos os ensaios, descarregar até F_0 .	Todos (permanente) 1 a cada 10 unidades (provisórios).
Fluência	Permanente ou provisório	0,4; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 (permanente); 1,75. (vezes a carga de trabalho)	-	2 unidades por obra ou 1% dos tirantes. A critério do projeto, realizar ou não em obras provisórias.

Fonte: Adaptado Porto (2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Aspectos Teóricos

Muitas vezes as obras ancoradas atingem uma ruptura física com carga significativamente maior que a máxima prevista no ensaio. Em função disso, este trabalho propõe a utilização de um método matemático de extrapolação de carga para estabelecer qual o valor da ruptura física da ancoragem em comparação a carga máxima de ensaio $1,75 \times F_t$ prevista na norma. Os principais métodos matemáticos existentes para extrapolação de carga última são:

- Van der Veen (1953)
- Van der Veen modificado por Aoki (1976)
- Massad (1987)

Existem ainda os métodos baseados em funções de transferências de carga, na maioria das vezes, elasto-plástico que consideram o estágio do carregamento, bem como as condições físicas do maciço geotécnico no ensaio carga x deslocamento, destacando-se:

- Souza (2001)
- Mecsi (1997)

Para este trabalho, optou-se por utilizar o método de Massad (1987) para extrapolação do carregamento.

3.2 Método de Massad

Massad propôs o cálculo da carga de ruptura através da curva carga x deslocamento, considerando-se uma série de valores de deslocamento escolhidos arbitrariamente levando em conta que devem ser igualmente espaçados, obedecendo a seguinte equação:

$$\rho_n = n\Delta\rho \quad (3)$$

Onde: ρ_n = deslocamento no estágio n.

$\Delta\rho$ = constante (de acordo com os espaçamentos adotados).

A partir da equação 3 emprega-se a interpolação para a obtenção das cargas “ P_n ” referentes a cada valor de deslocamento. Feita a extrapolação, os valores de carga P_{n+1} , correspondentes aos deslocamentos extrapolados são obtidos através da equação:

$$P_{n+1} = a + b P_n \quad (4)$$

Onde: a e b são coeficientes obtidos através da regressão linear pelo método dos mínimos quadrados, e P_n é a carga referente ao deslocamento anterior.

A carga última é obtida através do ajuste de uma reta ($P_n \times P_{n+1}$) com uma reta a 45°. O ponto de interseção entre as duas retas é o valor da carga de ruptura do elemento. O método ainda permite que a carga última seja calculada de forma direta e simples, sem que seja necessário até mesmo o desenho do gráfico, através da equação:

$$P_u = \frac{a}{1-b} \quad (5)$$

3.3 Validação do Método

Para validação do método, utilizou-se 6 ancoragens executadas no IPT na década de 80, encontrados em (SOUZA, 2001) conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Ensaios Básicos realizados no IPT

Nº de ordem	Local	Nº da ancoragem
04	Praça Clóvis Bevilacqua	T4
07	Praça Clóvis Bevilacqua	T2
14	Praça Clóvis Bevilacqua	EB4
20	Parque Continental	T8
25	Parque Continental	TD
33	Estação Patriarca	T4

A partir dos dados de carga x deslocamento, obtidos através dos ensaios do IPT, realizou-se o método de Massad a fim de encontrar a força de ruptura geotécnica de cada tirante.

Encontrados os valores de ruptura por Massad, e correlacionando-os com os valores reais de ruptura dos tirantes ensaiados, pôde-se calcular o erro relativo da extrapolação realizada, segundo consta na Tabela 3.

Tabela 3. Erro relativo entre a força de ruptura real e a extrapolada.

Nº de ordem	Nº da ancoragem	Ruptura real (kN)	Ruptura Massad (kN)	Erro relativo
04	T4	675	680	0,74%
07	T2	500	827	65,40%
14	EB4	690	701	1,59%
20	T8	580	613	5,69%
25	TD	673	672	-0,15%
33	T4	615	937	52,36%

Percebe-se que, em média, a proposta de Massad teve aproximação razoável em relação à carga de ruptura real. Portanto, conclui-se que

essa formulação pode ser utilizada para extrapolação de carga de ruptura de ancoragens.

4 APLICATIVO WEB

Atualmente, muitas empresas executam obras geotécnicas ancoradas, porém, muitas delas não possuem conhecimento aprofundado no assunto. A grande maioria delas faz uso de planilhas de Excel para o controle tecnológico de obras, o que não se adequa ao projeto original por razões como desconhecimento dos ensaios a serem realizados e seus estágios de carregamento, além da falta de observação das características dos materiais a serem utilizados. Além disso, a carga suportada pelos tirantes geralmente é muito superior ao valor de $1,75 \times$ Carga de Trabalho, proposto por norma, gerando obras superdimensionadas.

Para minimizar os problemas de adequação relacionados ao controle tecnológico de obras ancoradas, e realizar projetos otimizados, este artigo propõe a utilização de plataforma *web*, que, além de acompanhar o andamento da obra, registrando as etapas realizadas, os equipamentos utilizados, e os resultados obtidos, calcula o valor da carga de ruptura do tirante pelos métodos mais conhecidos de extrapolação de cargas.

4.1 Controle da Execução Online

O executor deverá registrar, em boletins apropriados, os dados da perfuração executada (tipo de solo perfurado, volume de nata de cimento injetado, pressão de injeção). Dessa forma, a prancheta, anteriormente utilizada para o controle da obra de forma manual, é substituída pelo aplicativo *web*, que garante a proteção dos dados ensaiados, tais como dados sobre a perfuração, injeção e protensão. Por se tratar de um aplicativo *web*, com servidor nas nuvens a probabilidade de perda de dados é mínima. Além disso, leva em conta todos os parâmetros indispensáveis para o adequado controle da obra, a exemplo do tipo de tirante, características do aço, número de fase de injeções, diâmetro perfurado, e outros, tornando-se uma ferramenta eficiente.

A garantia da qualidade na execução de obras em cortina atirantada depende de uma boa investigação geológico-geotécnica do terreno onde será realizada a obra, e da realização correta dos ensaios básicos (testes *in loco*), além da sintonia entre os projetistas e executores do empreendimento. O aplicativo proposto para este trabalho faz um acompanhamento “on time” do avanço da obra, destacando seus principais pontos, e pode ser acessado de qualquer plataforma e em qualquer lugar, facilitando o acesso à informação de forma rápida e prática, das partes envolvidas no projeto.

4.2 Aplicativo CsA Geo

O aplicativo CsA Geo, como mencionado anteriormente, pode ser acessado de qualquer plataforma móvel (Tablets, Celulares) e qualquer local com acesso à rede de internet, não sendo necessária sua instalação no aparelho utilizado. O aplicativo tem como finalidade o auxílio nos cálculos e controle de obras, e a geração de gráficos e relatórios, de forma eficaz e simples, otimizando o processo de controle de obras através da tecnologia.

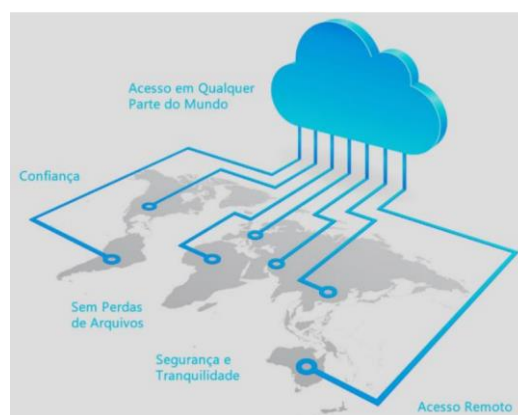


Figura 4: Representação esquemática do potencial de abrangência do sistema no controle tecnológico de obras. (Porto, 2015)

Para o desenvolvimento do software CsA Geo foi utilizada a linguagem de programação orientada a objetos C# com o padrão de arquitetura MVC – *Model-View-Controller*. A criação das telas e da interface gráfica se deu por meio da codificação HTML 5 e o *Framework Bootstrap*.

As Figuras 5 e 6 mostram dois tipos de relatórios disponibilizados pelo aplicativo, os boletins de protensão e de execução, on-line.

 Cliente: NUGEO - UFOP Obra: OURO PRETO - MG										Boletim gerado 03/11/2015 às 2:11		
Tirante: T01												
INFORMAÇÕES DO TIRANTE												
Tipo de tirante		Barra		Comprimento livre		4,00 m						
Aço		DW 38mm		Comprimento ancorado		6,00 m						
Carga de trabalho		50,0 t		Comprimento total		10,00 m						
DADOS DA PERFURAÇÃO												
Material		Profundidade (m)	Fase (m)	Dímetro (mm)	Início da perfuração	Fim da perfuração	Pêra de equalização	Uso de revestimento				
Solo Granular		0,00	2,00	120,00	30/09/2015 09:38:31	30/09/2015 11:40:30	Não	Não				
Solo Gran. q Pedregulho		2,00	4,00	120,00	30/09/2015 13:41:20	30/09/2015 14:31:22	Sim	Sim				
		4,00	10,00	120,00	30/09/2015 13:44:57	30/09/2015 15:30:22	Sim	Sim				
RESUMO DA INJEÇÃO												
Fase		Data/Hora de início da fase		Data/Hora de término da fase		Relação	Tipos de cimento	Consumo de cimento				
Baixia		01/10/2015 08:00:36		01/10/2015 08:50:30		0,50	CP-IV	1.250,00				
Fase 1		01/10/2015 09:04:59		01/10/2015 09:30:50		0,50	CP-IV	600,00				
Fase 2		01/10/2015 09:31:52		01/10/2015 10:04:50		0,50	CP-IV	480,00				
Fase 3		01/10/2015 10:05:17		01/10/2015 10:40:20		0,50	CP-IV	336,00				
Fase 4		01/10/2015 10:43:11		01/10/2015 11:37:28		0,50	CP-IV	120,00				
							Consumo total					2.786,00
CONTROLE DE INJEÇÃO												
Fase de Injeção: Fase 1						Fase de Injeção: Fase 2						
Válvula	PA (Kg/cm²)	PI (Kg/cm²)	CC (Kg)		Válvula	PA (Kg/cm²)	PI (Kg/cm²)	CC (Kg)				
1	20,00	18,00	50,00		1	23,00	21,00	40,00				
2	20,00	18,00	50,00		2	23,00	21,00	40,00				
3	20,00	18,00	50,00		3	23,00	21,00	40,00				
4	20,00	18,00	50,00		4	23,00	21,00	40,00				
5	20,00	18,00	50,00		5	23,00	21,00	40,00				
6	20,00	18,00	50,00		6	23,00	21,00	40,00				
7	20,00	18,00	50,00		7	23,00	21,00	40,00				
8	20,00	18,00	50,00		8	23,00	21,00	40,00				
9	20,00	18,00	50,00		9	23,00	21,00	40,00				
10	20,00	18,00	50,00		10	23,00	21,00	40,00				
11	20,00	18,00	50,00		11	23,00	21,00	40,00				
12	20,00	18,00	50,00		12	23,00	21,00	40,00				
Fase de Injeção: Fase 3						Fase de Injeção: Fase 4						
Válvula	PA (Kg/cm²)	PI (Kg/cm²)	CC (Kg)		Válvula	PA (Kg/cm²)	PI (Kg/cm²)	CC (Kg)				
1	27,00	25,00	28,00		1	32,00	29,00	10,00				
2	27,00	25,00	28,00		2	32,00	29,00	10,00				
3	27,00	25,00	28,00		3	32,00	29,00	10,00				
4	27,00	25,00	28,00		4	32,00	29,00	10,00				
5	27,00	25,00	28,00		5	32,00	29,00	10,00				
6	27,00	25,00	28,00		6	32,00	29,00	10,00				
7	27,00	25,00	28,00		7	32,00	29,00	10,00				
8	27,00	25,00	28,00		8	32,00	29,00	10,00				
9	27,00	25,00	28,00		9	32,00	29,00	10,00				
10	27,00	25,00	28,00		10	32,00	29,00	10,00				
11	27,00	25,00	28,00		11	32,00	29,00	10,00				
12	27,00	25,00	28,00		12	32,00	29,00	10,00				
LEGENDA						VISTOS						
CC - Consumo Cimento						Cliente:						
PA - Pressão de Atuação						Executante:						
PI - Pressão de Injeção												

Figura 5: Modelo de boletim de execução gerado através do aplicativo web. (Porto, 2015)

BOLETIM DE PROTENSÃO

Boletim gerado
24/07/2015
às 9:25

CLIENTE:

OBRA: Praga Clotis Bevilacqua

TIRANTE: T1

TIPO DE ENSAIO: Ensaio Genérico de Qualificação

Dados de Entrada

Ancoragem			Perfuração / Solo	
Fios			Área (A)	
604,00 mm²			SPT	
10,00 m			Coesão efetiva (c)	
9,00 m			Ângulo de atrito (φ)	
10,00 m			Peso específico (γ)	
15,00°			Diâmetro da perfuração (D _p)	
24,40 cm			Profundidade centro do buito (B)	

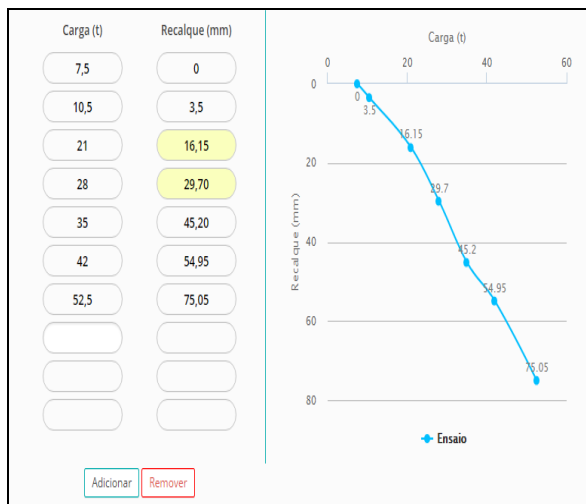


Figura 8: Entrada de dados e gráfico (carga x deslocamento) do aplicativo web.

Figura 9: Capacidade geotécnica do tirante obtida por meio do aplicativo web.

5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado foi realizado em uma obra de cortina atirantada em Belo Horizonte – MG. A Tabela 4 mostra os valores das cargas de trabalho de projeto dos tirantes utilizados no estudo de caso.

Tabela 4. Capacidade de carga geotécnica obtida por aplicativo web.

Tirante N°	Carga Trab. (KN)	Carga. Inc. (KN)	L _L (m)	L _B (m)	L _T (m)
T1001 a T1012	350	320	11,00	7,00	18,00
T1013	350	320	8,00	8,00	16,00
T1014 a T1025	500	450	10,00	7,00	17,00
T1026 a T1029	350	320	8,00	8,00	16,00

Tirante N°	Carga Trab. (KN)	Carga. Inc. (KN)	L _L (m)	L _B (m)	L _T (m)
T1030 a T1031	500	450	7,00	8,00	15,00
T1032 a T1037	700	630	7,00	8,00	15,00
T1038 a T1049	700	630	7,00	8,00	15,00
T1050 a T1051	500	150	6,00	9,00	15,00

Os tirantes utilizados nos cálculos das capacidades de carga geotécnica foram os tirantes T1001 a T1010. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Capacidade de carga geotécnica obtida por aplicativo web.

Tirante	Carga de Ruptura (kN) (Massad, 1987)
T1001	1.270
T1002	-1.100
T1003	3.350
T1004	860
T1005	-110
T1006	770
T1007	960
T1008	20.760
T1009	4.170
T1010	-1.990

Ao observar os valores encontrados para a carga de ruptura dos tirantes através da extrapolação matemática de Massad, alguns resultados são destoantes dos demais, como resultados negativos, ou cargas de ruptura muito elevadas. Este fato deve-se à curva carga x deslocamento dos ensaios realizados, que não alcançou a forma de uma equação exponencial, fator este, essencial para a perfeita adequação do método. Observou-se, portanto, uma limitação para o uso generalizado do método. Para funções próximas de uma reta o método não se aplica. Os gráficos não seguem a equação exponencial quando os ensaios de qualificação não são perfeitamente executados. Portanto, o método não se aplica aos tirantes T1002; T005; T1008 e T1010, os quais serão desconsiderados.

Para evitar possíveis inconsistências nas estimativas é indispensável a realização de ensaios conforme as orientações na NBR5629.

Por se tratar de tirantes provisórios, os tirantes estudados foram ensaiados, conforme a norma, até 1,5 x carga de trabalho. A Tabela 6 mostra os resultados da comparação da capacidade de carga dos tirantes ensaiados segundo a recomendação normativa, e da capacidade de carga geotécnica (obtida através de extrapolação matemática).

Tabela 6. Fator de segurança, comparação das capacidades de carga.

Tirante	Carga Máxima ensaiada (kN)	Carga Extrapolada por Massad (1987) (kN)	Fator de segurança
T1001	525	1.270	2,42
T1003	525	3.350	6,38
T1004	525	860	1,64
T1006	525	770	1,47
T1007	525	960	1,83
T1009	525	4.170	7,94

De acordo com a Tabela 6 apresentada, os tirantes estudados estão superdimensionados, e seus comprimentos de ancoragem poderiam ser ajustados. As obras em cortina atirantada, podem, assim, ser mais econômicas com a utilização dos métodos de extrapolação matemática para ajustar os comprimentos de ancoragem dos tirantes, que, na maioria das vezes, são muito superiores aos comumente ensaiados.

6 CONCLUSÕES

Percebe-se que para a obra em estudo e considerando F.S normativo, o L_b (comprimento ancorado) poderia ser ajustado, portanto, a obra poderia obter economia sem perdas na segurança. O uso do aplicativo *web - CsA Geo*, implicaria em maior controle da obra através do uso da tecnologia, evitando, assim, trabalhos manuais, mais passíveis de erros, perda de dados importantes da obra, além de proporcionar maior sincronia entre as partes envolvidas com o projeto. Espera-se que com este trabalho as empresas executoras, em parceria com as projetistas possam realizar projetos de engenharia, que quer dizer segurança e economia (simultaneamente).

REFERÊNCIAS

- Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975). An approximate method to estimate the bearing of piles. *Panamerican Conference on soil mechanics and foundation engineering*, Buenos Aires. Anais... Buenos Aires. v.1, p. 367-376.
- ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. Nbr 5629 – Estruturas ancoradas no terreno - Ancoragens injetadas no terreno: Procedimento. Rio de Janeiro, 1977.
- Dutra, V. A. (2013). Projeto de estabilização de taludes e estruturas de contenção englobando dimensionamento geotécnico e estrutural. *Projeto de graduação em Engenharia Civil - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro*, p. 05-52.
- Massad, F. D. (1986). Notes on the interpretation of failure load from routine pile load tests. *Solos e rochas*. Vol. 9, São Paulo, abril 1986. p.33-36.
- Mecsi, J. (1997). Some practical and theoretical aspects of grouted soil anchors. *ICE Conference on Ground Anchors and Anchored Structures*, London, p. 119-130.
- More, J. Z. P. (2003). Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Pontifícia universidade Católica do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, p. 18 - 47.
- Porto, T. B. (2015). Ancoragens em solos – comportamento geotécnico e metodologia via web para previsão e controle. *Tese (doutorado em geotecnia – Núcleo de geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG*. p. 130-152.
- Souza, R. N. (2001). Ancoragens reinjetáveis e protendidas em solo: previsão de comportamento e controle de execução. *Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo*, 331 p.
- Van der Veen, C. (1953). The Bearing Capacity of Pile Proceedings. *Third Intern. Conf. On Soil Mechanics and Foundations Engineering*, Zurich , Vol. 2, p. 84-89.