

ANÁLISE COMPARATIVA REFERENTE A CABOS EM VIGAS DE CONCRETO PROTENDIDO ADERENTES NA PÓS-TRAÇÃO

ANDERSON LINS DE OLIVEIRA¹

RESUMO

O concreto protendido é a realização da utilização de uma combinação, do concreto normalmente utilizados nas obras com a aplicação de um estado de tensão prévio sobre a estrutura, esta mistura garante a eficiência sobre tensões de tração, onde o material estrutural citado possui tanta complexidade. É neste contexto que o presente trabalho possui como objetivo realizar a análise sobre vigas de concreto protendido com diferentes traçados de cabos aderentes na pós-tração. A justificativa de realização deste se dá, devido há pouca resistência do concreto pela tensão de tração e por este fator estar presente constantemente nas estruturas. Desta forma, a pesquisa apresentada se deu através de um estudo baseado na literatura, ilustrando uma análise exploratória, realizada por meio de um estudo de caso validando os conceitos teóricos, e exibindo a partir de resultados por meio de tabelas, figuras e gráficos, a análise feita entre os diferentes métodos de traçado com variado número de cabos sobre a viga de concreto protendido. A partir dos resultados apresentados foi possível concluir que viga de concreto protendido com cordoalhas aderentes na pós-tração, apresenta um melhor desempenho a partir do traçado utilizado divididos em trechos sendo reto com parabólico, por demonstrar menor perdas de protensão.

Palavras-chave: Vigas Protendidas; Concreto Protendido; Cordoalhas na Pós-tração.

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado usualmente utilizado na construção civil possui baixa resistência à tração, sendo na ordem 10% com relação a compressão o que demonstra a sua pouca eficiência neste tipo de tensão, é perceptível este contexto pois quando a estrutura não é executada de forma adequada a própria retração da peça pode gerar fissuras e trincas degradando a estrutura antes mesmo do seu uso, devido a estas entre outras deficiências que o concreto protendido tem sido visto como alternativa viável para estruturas de concreto.

O concreto protendido é visto como uma classe superior ao concreto armado normalmente utilizado na construção civil, nesta realização diferentemente da convencional é aplicado um estado prévio de tensões na estrutura, onde o concreto está sendo forçado a trabalhar à compressão (CORREIA, 2016). A aplicação desta determinação faz com que a estrutura tenha uma maior capacidade de resistências as tensões de tração, sendo que a peça fica comprimida antes mesmo de estar recebendo os esforços ao qual será aplicado.

¹ Graduando de Engenharia Civil pela Universidade de Araraquara - anderson.linsoliveira@hotmail.com.

Como contextualizado o desenvolvimento de peças estruturais pré-tensionadas, se demonstram como uma boa alternativa para a realização de esforços de tração, demonstrando ser uma boa aplicação para vigas de concreto. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as vigas são elementos lineares onde a flexão é majoritária, desta forma, as vigas determinadas sobre as estruturas estão preponderantemente tracionadas, nesta aplicação é possível perceber o concreto protendido como uma alternativa estruturalmente adequada no seu uso.

A partir do conteúdo apresentado a presente pesquisa possui o intuito de demonstrar a análise realizando a comparação referente a diferentes tipos de traçados de viga de concreto protendido com cordoalhas aderentes nos pós tração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO PROTENDIDO

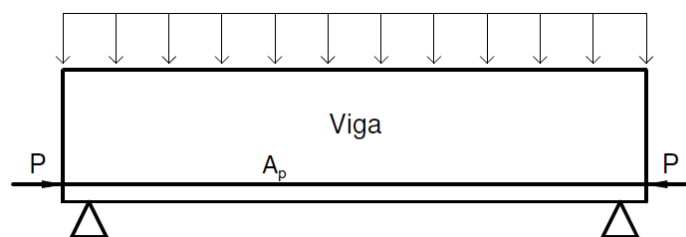
O concreto é um material resistente às tensões de compressão, mas sua resistência à tração varia de 8 a 15 % da resistência à compressão, como demonstrado.

A partir da aplicação dos esforços de flexão sobre a estrutura de concreto armado é possível notar o desenvolvimento de trincas e fissuras, mesmo nos estágios iniciais do carregamento, de acordo com Bastos (2014), para diminuir ou ausentar tal realização, um estado de forças de compressão excêntrica ou mesmo concêntrica, pode ser introduzida sobre o eixo longitudinal da peça e assim agir reduzindo ou até mesmo eliminando as tensões de tração, sobre frações críticas da estrutura, além de aumentar a capacidade das seções aos esforços de flexão, torção e força cortante. Desta forma, as estruturas podem agir elasticamente e torna-se possível utilizar a capacidade total da estrutura de concreto referente a compressão.

A estrutura é constituída de concreto protendido, a partir da aplicação de forças especiais e determinadas permanentemente, denominadas forças de protensão, e a partir da aplicação desses esforços simultaneamente, os carregamentos variáveis e permanentes, não solicitam a estrutura a tração, somente nos limites determinados de acordo com a norma (HANAI, 2005).

A Figura 1 ilustra o contexto apresentado.

Figura 1 - Tensão de compressão sobre uma viga demonstrando protensão.



Fonte: BASTOS (2014).

Para realização então da protensão no concreto, deve-se recorrer a um sistema que possibilite a introdução da armadura que vai produzir a força normal necessária, assim como a ancoragem dessa armadura (HANAI, 2005).

2.1.1 Pós tração

Como descrito a armadura das peças de concreto protendida necessitam da aplicação de uma força normal, sobre a armadura, essa realização de aplicação do esforço normal sobre o elemento.

Os elementos estruturais constituídos na pós-tração, contém aderência entre a armadura de protensão e o concreto, podendo também ser produzidas sem a aderência. No concreto protendido pós-tracionado, a realização do alongamento das armaduras de protensão é determinado após o endurecimento do concreto, fazendo o uso de apoios e criando aderência com o concreto de forma permanente, devido as suas propriedades no estado em questão. (CARVALHO, 2012).

2.1.2 Materiais do Concreto Protendido

O Concreto Protendido é composto além dos materiais do concreto simples, o aço de protensão, bem como os dispositivos de ancoragem, bainhas metálicas, cordoalhas, etc.

A execução das estruturas de concreto protendi determina um maior controle de qualidade do concreto, pois as peças são fabricadas com resistências que estão no intervalo de 30 a 50 MPa, onde se precisam de peças com menor peso próprio para maiores vãos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

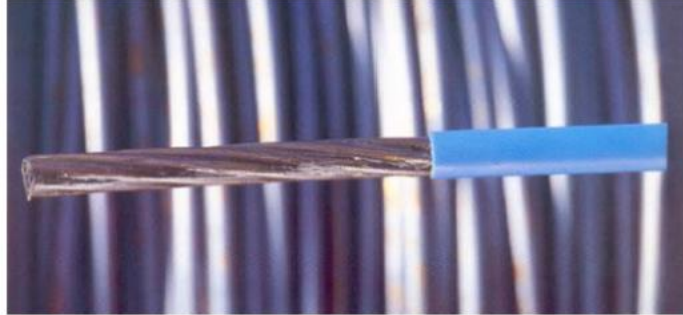
Com relação aos aços utilizados no concreto protendido, segundo Barros (2014), são determinados pela propriedade de alta resistência e por não ter o patamar de escoamento. A elevada resistência é essencial para os alongamentos exigidos no regime elásticos e para equilibras a ocorrência das perdas de protensão, as resistências podem chegar a 415 MPa. Os materiais utilizados, também devem apresentar ductilidade, aderência, baixa relaxação, resistência a fadiga e a corrosão.

O aço se apresenta como, segundo a ABNT (2008):

- a) Fios trefilados de aço, diâmetro de 3 a 8 mm, em rolos ou bobinas (Figura 4 e Tabela 1);
- b) Cordoalhas, sendo fios enrolados em hélice, com 2, 3 ou 7 fios (Figura 2 e Tabela 2);

c) Barras de aço-liga de alta resistência, laminadas a quente, com diâmetro maior ou igual a 12 mm, e com comprimento limitado (Figura 3).

Figura 2 - Cordoalhas sete fios.



Fonte: ARCELORMITTAL (2018)

Figura 3 - Barra de aço com fixação.



Fonte: DYWIDAG (2018).

Figura 4 - Rolos de fios de aço.



Fonte: ARCELORMITTAL (2018)

Tabela 1 - Dimensões dos fios de aço.

Fios: dimensões e pesos dos rolos				
Diâmetro nominal do fio (mm)	Diâmetro interno (cm)	Diâmetro Externo (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)
4,0	150	180	18	700
5,0 - 6,0 - 7,0 - 8,0 - 9,0	180	210	18	700

Os fios para concreto protendido são fornecidos em rolos de grande diâmetro, obedecendo às dimensões da tabela.

Fonte: HANAI (2005).

Tabela 2 - Dimensões das cordoalhas.

Cordoalhas: dimensões e pesos dos rolos				
Cordoalha	Peso nominal líquido (kg)	Diâmetro interno (cm)	Diâmetro externo (cm)	Largura do rolo (cm)
3 e 7 fios	3.000	76	139	79
Os rolos são compostos por lances com comprimentos superiores a 600 metros. Mediante acordo prévio poderão ser fornecidos rolos com outros pesos. As cordoalhas são fornecidas em rolos sem núcleo nas dimensões da tabela. Os rolos são compostos por lances, com comprimentos superiores a 600 metros. Mediante acordo prévio poderão ser fornecidos rolos com outros pesos.				

Fonte: HANAI (2005).

Na realização das estruturas de concreto protendido também são utilizadas as bainhas como demonstrado na Figura 5, no qual segundo Hanai (2005), são tubos dentro dos quais a armadura de protensão é colocada, utilizados em protensão com aderência posterior ou também sem aderência. São fabricados em aço, com espessura de 0,1 a 0,35 mm, costurados em hélice. Para criar aderência com a armadura de protensão, as bainhas são preenchidas com calda de cimento.

Figura 5 - Bainha metálica.

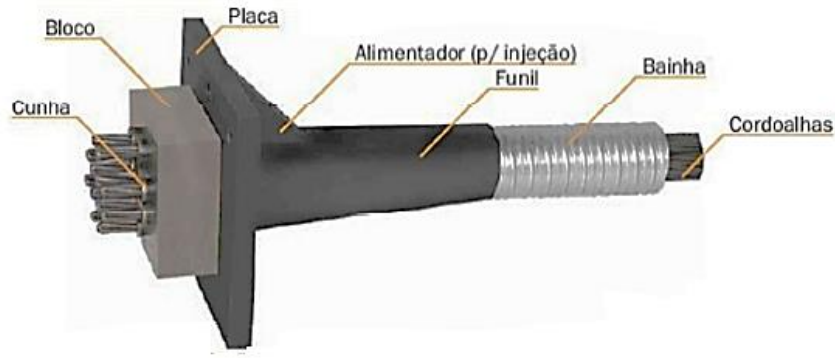


Fonte: BASTOS (2014).

A calda ou nata de cimento injetada no interior da bainha metálica, tem como função proporcionar a aderência entre a armadura de protensão e o concreto da peça, na pós-tração, e proteger a armadura contra a corrosão. Utiliza-se cerca de 36 a 44 kg de água para cada 100 kg de cimento (BASTOS, 2014).

De acordo com Bastos (2014) a forma mais simples e econômica de fixação dos fios e cordoalhas é por meio de cunhas e porta-cunhas. As cunhas podem ser bi, ou tripartidas, e ficam alojadas em cavidades de blocos ou placas de aço (porta-cunha).

Figura 6 - Conjunto dos materiais da protensão.



Fonte: HANAI (2005).

2.2 PERDAS DE PROTENSÃO

De acordo com Leopoldo et al. (2001), a força efetiva de protensão varia ao longo do cabo e a mesma é inferior a determinada pelo aparato de protensão. Esta realização é denominada perda de protensão, sendo resultante de diversos fatores, podendo ser:

a) Perdas Permanentes que acontecem durante o alongamento e ancoragem dos cabos, devido:

- Atrito devido o cabo e a bainha;
- Arranjo do cabo na ancoragem;
- Deformação da peça devido aos esforços de protensão.

b) Perdas variáveis que acontecem ao longo do tempo:

- Fluência e retração da peça de concreto;
- Armadura de protensão sofre relaxamento.

Na realização do Momento máximo, ou os esforços solicitantes da estrutura associado aos estados limites, segundo NBR 6118 (ABNT, 2014), é necessário ser aplicado as combinações de ações de acordo com a verificação de segurança do ELU, sendo:

- CR: Combinação rara;
- CF: Combinação frequente;
- CQP: Combinação quase permanente

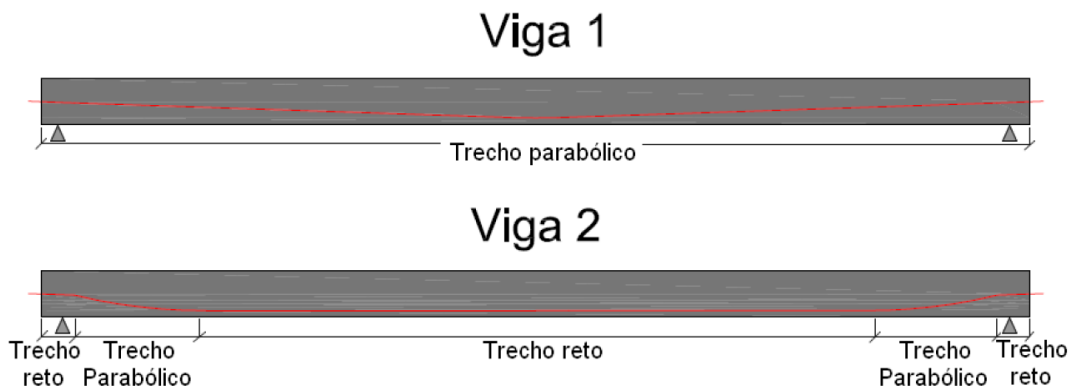
3 METODOLOGIA

A partir da fundamentação teórica com base na literatura para a partir das referências obtidas qualificar e desenvolver a presente pesquisa. A pesquisa bibliográfica procura explicar

e discutir um tema com base em referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos e outros. Busca também conhecer e analisar conteúdos científicos sobre determinado tema (MARTINS; PINTO, 2001). A abordagem da pesquisa foi qualitativa, por se basear na realidade para fins de compreender uma situação única (RAUEN, 2002).

Desta forma na sequência para conclusão do objetivo proposto foi analisado duas vigas de concreto protendido comparando as perdas de protensão e alongamento do cabo para suportar os esforços necessários determinados. A primeira viga considerada possui um traçado parabólico por toda a sua extensão, enquanto que a segunda é dividida em três trechos, que inicia reta, torna-se parabólica e contínua reta até a extremidade onde é simétrica, o desenvolvimento dos cálculos e resultados obtidos foram tidos com base na NBR 6118. Os dados apresentados referentes as vigas são com base em projetos já elaborados apenas para efeito de comparação dos métodos de execução. A Figura 7 ilustra as vigas analisadas e a Tabela 3 apresenta suas informações.

Figura 7 - Vigas analisadas.



Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 3 - Dados para desenvolvimento do método.

DADOS DA VIGA ANALISADA	
Comprimento	15,00 m
Altura	0,70 m
Largura	0,30 m
Excentricidade do cabo de protensão	0,25 m
Cobramento	0,05 m
Concreto	35 MPa
Aço (Armaduras Passivas)	CA50
Cordoalha (Aço Protensão)	CP190RB
Carga permanente (Caso 1)	35 kN/m
Carga acidental (Caso 1)	15 kN/m
Carga permanente (Caso 2)	8 kN/m
Carga acidental (Caso 2)	2 kN/m

Fonte: Próprio Autor (2018).

O desenvolvimento dos cálculos foi realizado apenas para protensões completa e limitada na pós-tensão. Seguindo as determinações na norma e a partir dos dados da viga foram analisadas as combinações raras, combinações frequentes e combinações quase permanente.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Com as informações referente a viga foi possível introduzir os mesmos na planilha utilizada para dimensionamento prévio do cabo para os esforços e o tipo de protensão, uma vez que estes valores não interferem nos diferentes traçados a serem analisados. A Figura 8 demonstra os dados inseridos na planilha.

Figura 8 - Dados inseridos na planilha com dimensionamento prévio do cabo.

Dados									
L=	15,0 m	Es=	21000,0 kN/cm ²	fptk=	190,0 kN/cm ²	ψ0	ψ1	ψ2	
bw=	30,0 cm	Ep=	19500,0 kN/cm ²	fpyk/fptk=	0,9	0,4	0,3	0,2	
bf=	0,0 cm	fck=	3,50 kN/cm ²	fpyk=	171,0 kN/cm ²	0,7	0,6	0,4	
h=	70,0 cm	Ec=	879,3 kN/cm ²	fpyd=	148,696	0,8	0,7	0,6	
hf=	0,0 cm	fctk,inf=	0,42 kN/cm ²	εpyd=	7,63 ‰	0,6	0,3	0	
d=	65,0 cm	fctk,med=	0,32 kN/cm ²	εpoo=					
dp=	60,0 cm	fctk,sup=	0,22 kN/cm ²	σi=	146,3 kN/cm ²				Pré-tensão
d'=	5,0 cm	fct=	0,24 kN/cm ²	σi=	140,6 kN/cm ²				Pós-tensão
ys=	35,0 cm		0,63						
yi=	35,0 cm	d'p=	6,0 cm						
Ac=	0,210 m ²	ep=	25,0 cm						
Ic=	0,00858 m ²								
Carregamentos									
Tipo de ocupação e carga (Situação 1,2,3 ou4)					2	Valores de ψ			
						ψ0	ψ1	ψ2	
	g1k= 35,0 kN/m		q1k= 15,0 kN/m			0,7	0,6	0,4	
	g2k= 0,0 kN/m								
				Momento 1/4 vão	Momento 1/2 vão				
	p,cr= 50,0 kN/m		M,cr= 703,1 kN/m	1406,3 kN/m		ηi			
	p,cf= 44,0 kN/m		M,cf= 618,8 kN/m	1237,5 kN/m		ηs			
	p,cqp 41,0 kN/m		M,cqp 576,6 kN/m	1153,1 kN/m		5,442			
	p,sit prot= 35,0 kN/m		M,sit prot= 492,2 kN/m	984,4 kN/m					
Tipos de protensão					Pré-tensão	Pós-tensão			
Completa	σi=	Fpoo =	Fpi =	Ap	Ap	σs<=0,6fck	-2,1		
	0 CR	3835,23	5113,6	35,0 cm ²	36,4 cm ²	-2,96	OK		
	fc, fl CF	3212,63	4283,5	29,3 cm ²	30,5 cm ²	-2,72	OK		
Limitada									
	0 CQP	3144,89	4193,2	28,7 cm ²	29,8 cm ²	-2,42	OK		
	fc, fl CF	3212,63	4283,5	29,3 cm ²	30,5 cm ²	-2,72	OK		

Fonte: Próprio Autor (2018).

Com os dados disponibilizados pela planilha foi possível determinar as perdas de protensão e assim dimensionar a armadura passiva e força de protensão necessária, para o alongamento devido ao atrito entre o cabo e a bainha, sendo este o **Caso 1**. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4 e 5, sendo estes referentes a viga 1 e a viga 2 respectivamente.

Tabela 4 - Dimensionamento da viga 1 com alongamento devido ao atrito entre o cabo e a bainha para o caso 1

	Viga 1			
	Protensão Completa		Protensão Limitada	
	CR	CF	CQP	CF
	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão
Ap	36,4 cm ²	30,5 cm ²	29,8 cm ²	30,5 cm ²
Perda de protensão	29,70%	29,30%	32,50%	29,40%
Fp	4974,3 kN	4121,8 kN	4164,3 kN	4157,2 kN
As	As min	As min	As min	As min
Alongamento do cabo	40 mm	53,4 mm	53,5 mm	53,4 mm

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 5 - Dimensionamento da viga 2 com alongamento devido ao atrito entre o cabo e a bainha para o caso 1

	Viga 2			
	Protensão Completa		Protensão Limitada	
	CR	CF	CQP	CF
	Pós tensão	Pós tensão	Pós tensão	Pós tensão
Ap	36,4 cm ²	30,5 cm ²	29,8 cm ²	30,5 cm ²
Perda de protensão	30,20%	23,20%	27,00%	23,20%
Fp	4393,5 kN	3958 kN	3991,5 kN	3958 kN
As	As min	As min	As min	As min
Alongamento do cabo	41,1 mm	53,3 mm	53,4 mm	53,3 mm

Fonte: Próprio autor (2018).

Continuando, para a segunda análise foram considerados 5 cabos, resultando a partir do encurtamento devido à perda de protensão originado ao concreto na realização da protensão dos cabos. As Tabelas 6 e 7 demonstram os resultados obtidos com os cabos enumerados de C1 a C5.

Tabela 6 – Encurtamento da viga 1 devido ao concreto na protensão.

	Viga 1 - Unidades em mm			
	Protensão Completa		Protensão Limitada	
	CR	CF	CQP	CF
	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão
C1	480	547,2	612	557,6
C2	360	410,4	459	418,2
C3	240	273,6	306	278,8
C4	120	136,8	153	139,4
C5	0	0	0	0

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 7 - Encurtamento da viga 2 devido ao concreto na protensão.

	Viga 2 - Unidades em mm			
	Protensão		Protensão	
	CR	CF	CQP	CF
	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão
C1	412,8	428,8	505,2	428,4
C2	309,6	321,6	378,9	321,3
C3	206,4	214,4	252,6	214,2
C4	103,2	107,2	126,3	107,1
C5	0	0	0	0

Fonte: Próprio autor (2018).

Para o **Caso 2**, foram considerados os mesmos procedimentos, entretanto determinando um carregamento menor para a estrutura, onde seria utilizado apenas 1 cabo de protensão e como resultado o alongamento devido ao concreto por encurtamento é desconsiderado. Os dados inseridos na planilha são vistos na Figura 9 e os resultados obtidos vistos na Tabela 8 e 9.

Figura 9 - Dados inseridos na planilha com dimensionamento prévio do cabo para o caso 2.

Dados									
L=	15,0 m	Es=	21000,0 kN/cm ²	fptk=	190,0 kN/cm ²	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	
bw=	30,0 cm	Ep=	19500,0 kN/cm ²	fpyk/fptk=	0,9	0,4	0,3	0,2	
bf=	0,0 cm	fck=	3,50 kN/cm ²	fpyk=	171,0 kN/cm ²	0,7	0,6	0,4	
h=	70,0 cm	Ec=	879,3 kN/cm ²	fpyd=	148,696	0,8	0,7	0,6	
hf=	0,0 cm	fctk,inf=	0,42 kN/cm ²	apyd=	7,63 ‰/oo	0,6	0,3	0	
d=	65,0 cm	fctk,med=	0,32 kN/cm ²	apoo=					
dp=	60,0 cm	fctk,sup=	0,22 kN/cm ²	σ _i =	146,3 kN/cm ²	Pré-tensão			
d'=	5,0 cm	fct=	0,24 kN/cm ²	σ _i =	140,6 kN/cm ²	Pós-tensão			
ys=	35,0 cm		0,63						
yi=	35,0 cm	d'p=	6,0 cm						
Ac=	0,210 m ²	ep=	25,0 cm						
Ic=	0,00858 m ²								
Carregamentos									
Tipo de ocupação e carga (Situação 1,2,3 ou4)				2		Valores de ψ			
						ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	
g1k= 8,0 kN/m				q1k= 2,0 kN/m		0,7	0,6	0,4	
g2k= 0,0 kN/m									
				Momento 1/4 vão	Momento 1/2 vão	η _i			
p,cr= 10,0 kN/m				M,cr=	140,6 kN/m	281,3 kN/m	14,966		
p,cf= 9,2 kN/m				M,cf=	129,4 kN/m	258,8 kN/m	η _s		
p,cqp= 8,8 kN/m				M,cqp=	123,8 kN/m	247,5 kN/m	5,442		
p,sit prot= 8,0 kN/m				M,sit prot=	112,5 kN/m	225,0 kN/m			
Tipos de protensão				Pré-tensão		Pós-tensão			
Completa		σ _i =	F _{poo} =	F _{pi} =	Ap	Ap	σ _s ≤ 0,6fck	-2,1	
		0 CR	767,05	1022,7	7,0 cm ²	7,3 cm ²	-0,59	OK	
		fc, fl CF	543,31	724,4	5,0 cm ²	5,2 cm ²	-0,66	OK	
Limitada									
		0 CQP	675,00	900,0	6,2 cm ²	6,4 cm ²	-0,52	OK	
		fc, fl CF	543,31	724,4	5,0 cm ²	5,2 cm ²	-0,66	OK	

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 8 - Dimensionamento da viga 1 com alongamento devido ao atrito entre o cabo e a bainha para o caso 2.

Viga 1				
	Protensão		Protensão	
	CR	CF	CQP	CF
	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão
Ap	7,3 cm ²	5,2 cm ²	6,4 cm ²	5,2 cm ²
Perda de protensão	16,30%	13,90%	16,30%	16,40%
Fp	892,1 kN	618,8 kN	785 kN	632,4 kN
As	As min	As min	As min	As min
Alongamento do cabo	53,3 mm	53,0 mm	53,5 mm	53,0 mm

Fonte: Próprio autor (2018).

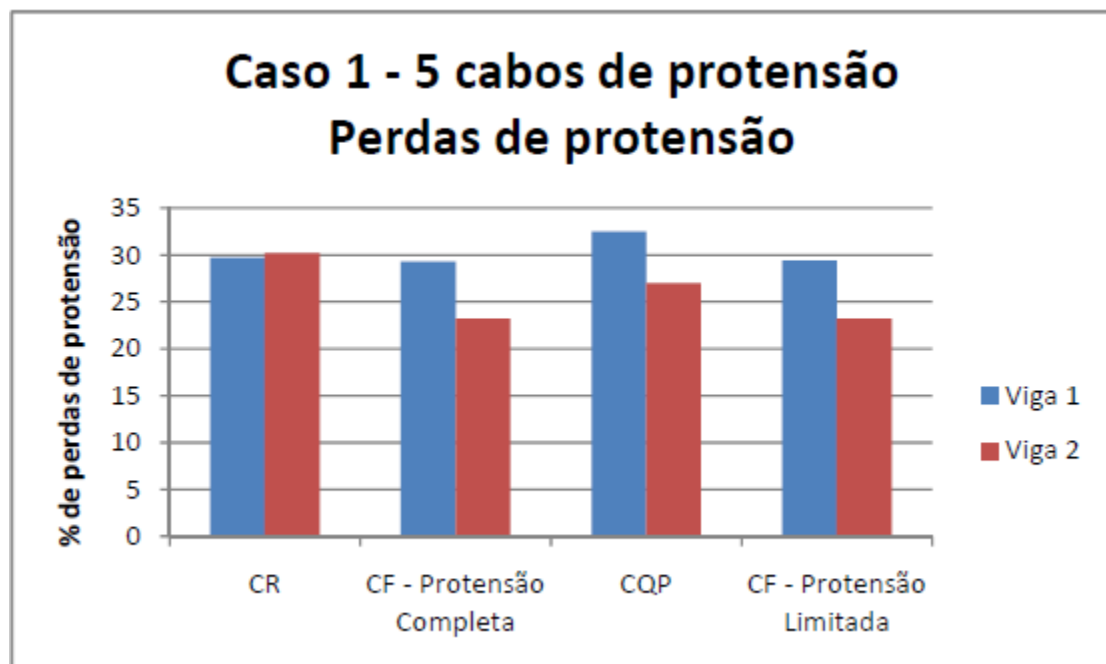
Tabela 9 - Dimensionamento da viga 1 com alongamento devido ao atrito entre o cabo e a bainha para o caso 2.

	Viga 2			
	Protensão		Protensão	
	CR	CF	CQP	CF
	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão	Pós-tensão
Ap	7,3 cm ²	5,2 cm ²	6,4 cm ²	5,2 cm ²
Perda de protensão	16,40%	17,00%	14,00%	17,00%
Fp	892,8 kN	635,6 kN	769,5 kN	635,6 kN
As	As min	As min	As min	As min
Alongamento do cabo	53,2 mm	52,9 mm	53,4 mm	52,9 mm

Fonte: Próprio autor (2018).

Para facilitar a compreensão dos resultados obtidos e realizar uma análise comparativa mais conclusiva, foram construídos gráficos demonstrando os dois traçados, tendo em consideração o percentual da perda de protensão e o alongamento dos cabos. Os Gráficos de 1 a 5 demonstram as perdas de protensão.

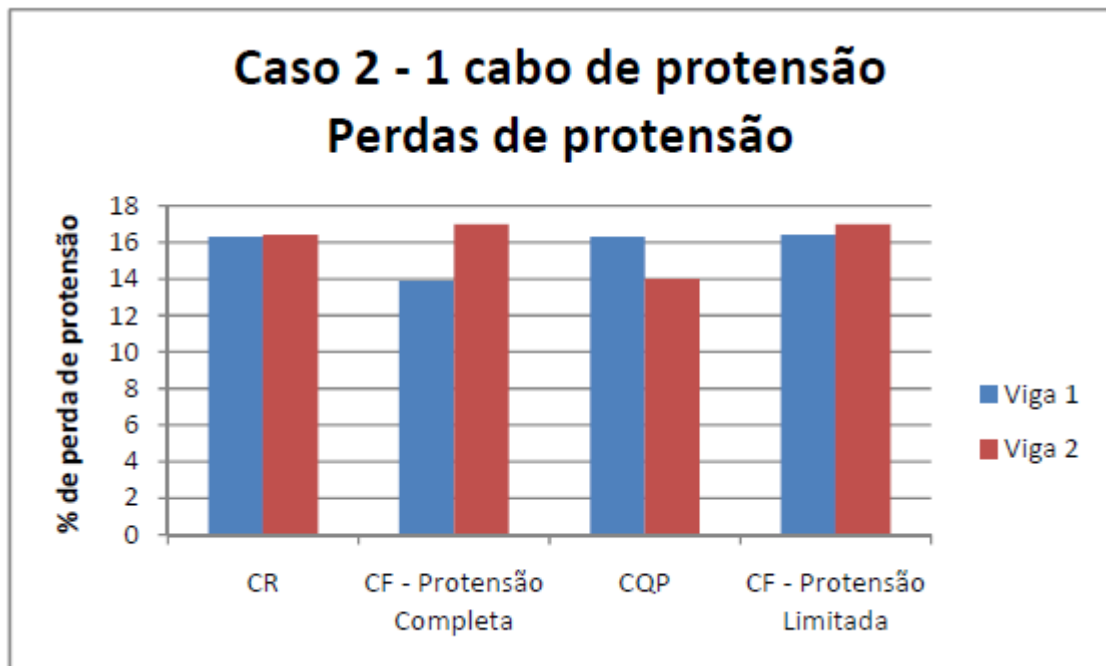
Gráfico 1 - Percentual de perda de protensão do caso 1.



Fonte: Próprio autor (2018).

O gráfico 1 ilustra a utilização de 5 cabos de protensão, e com exceção do CR da viga 2, percebe-se que o percentual das perdas de protensão de todos os casos considerado o trecho reto com parábola, obteve perdas menores do que com o trecho todo reto.

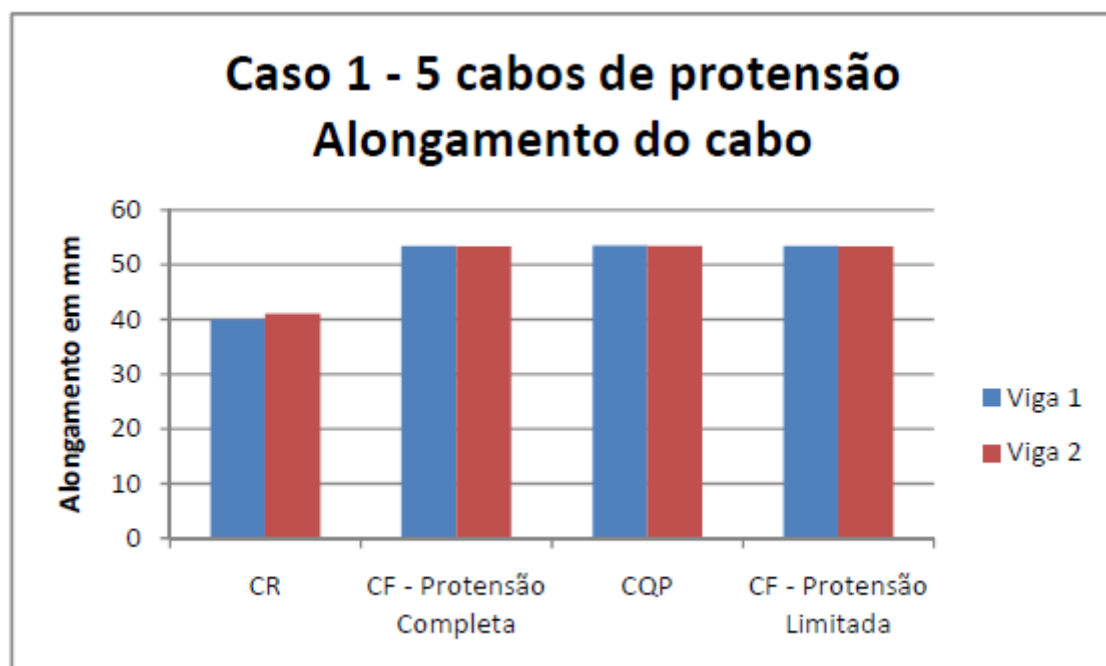
Gráfico 2 - Percentual de perda de protensão do caso 2.



Fonte: Próprio autor (2018).

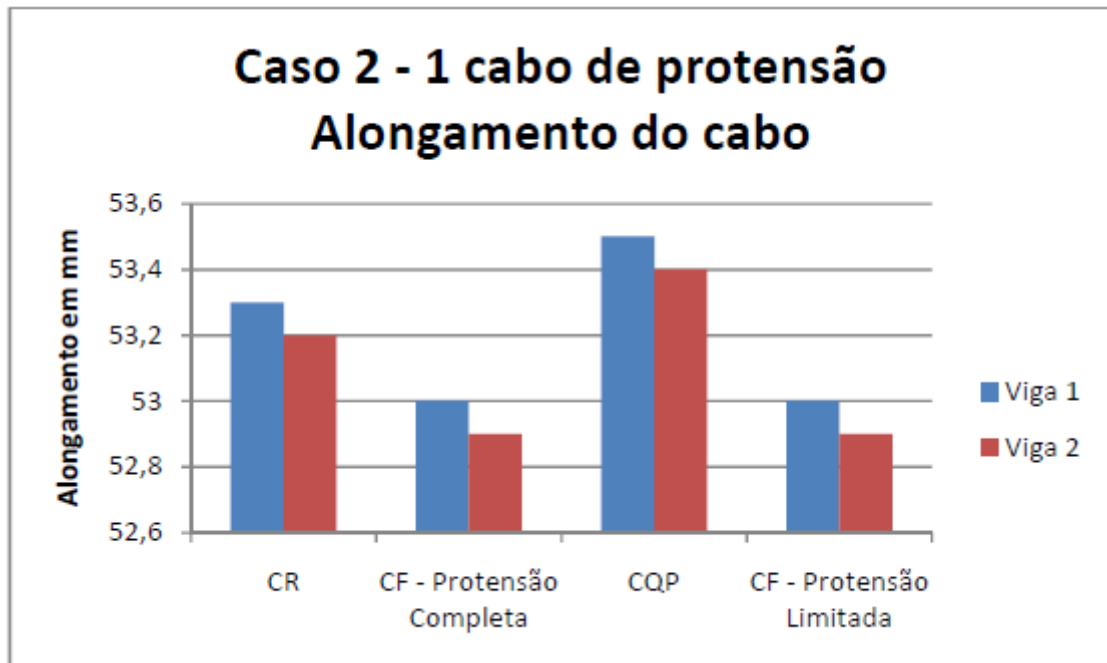
A partir dos dados demonstrados no Gráfico 2, percebe-se que foi considerado apenas 1 cabo de protensão, percebe-se que as perdas de protensão são semelhantes, isso ocorre devido a relação da quantidade de cabos e traçado, onde quanto maior o número de cabos é necessário determinar menos força de protensão para os mesmos parâmetros estabelecidos para a estrutura.

Gráfico 3 - Alongamento devido à perda de protensão originada pelo atrito do caso 1.



Fonte: Próprio autor (2018).

Gráfico 4 - Alongamento devido à perda de protensão originada pelo atrito do caso 2.

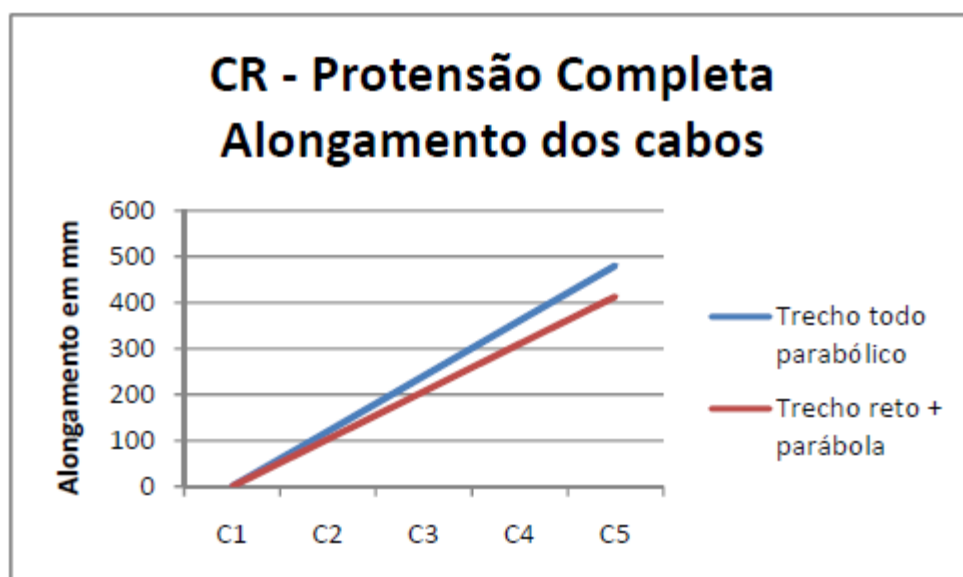


Fonte: Próprio autor (2018).

Analisando os Gráficos 3 e 4, é possível determinar que os alongamentos dos cabos resultam em dados semelhantes demonstrando que não existe relação entre as perdas de protensão e alongamento do cabo devido à perda do atrito.

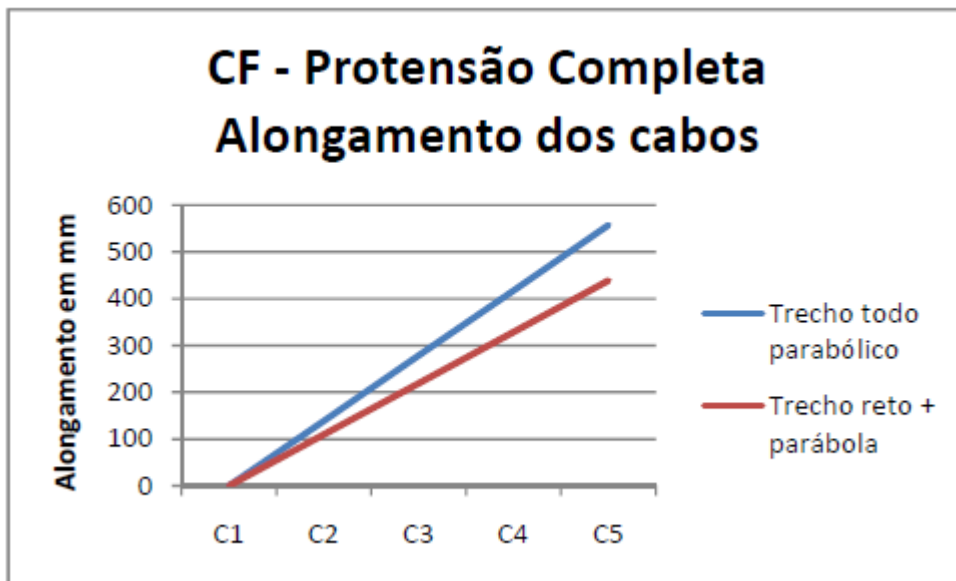
Os Gráficos de 5 a 8 ilustram os alongamentos dos cabos devido à perda por encurtamento para cada tipo de combinação e tipo de protensão.

Gráfico 5 - Alongamento originado pela perda por encurtamento do cabo para a CR.



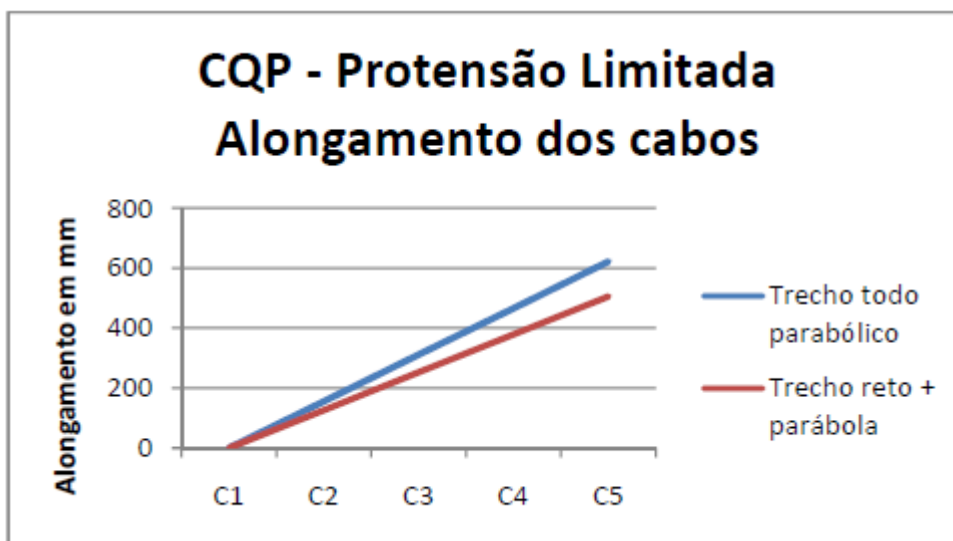
Fonte: Próprio autor (2018).

Gráfico 6 - Alongamento originado pela perda por encurtamento do cabo para a CF (Protensão Completa).



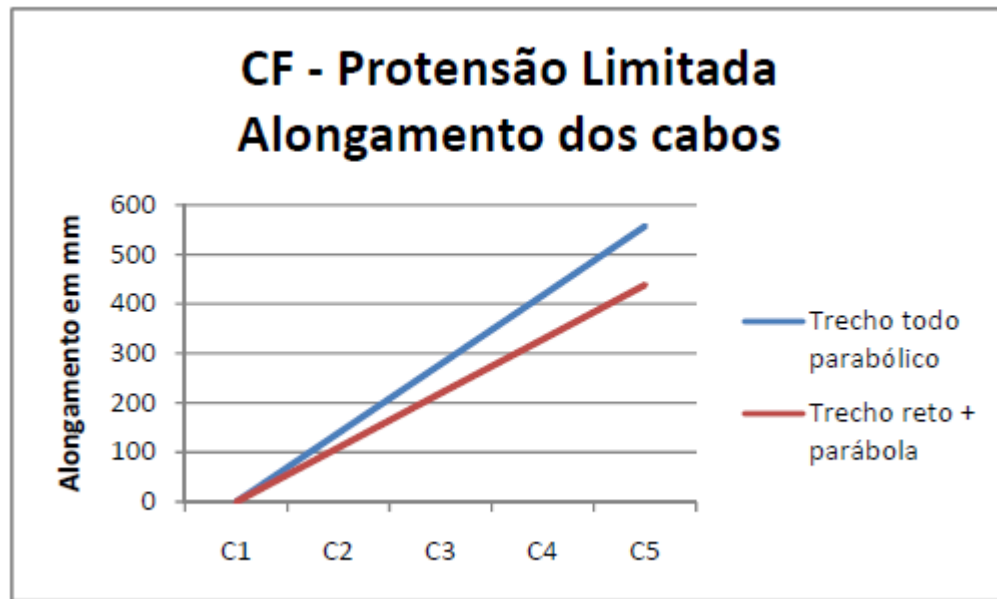
Fonte: Próprio autor (2018).

Gráfico 7 - Alongamento originado pela perda por encurtamento do cabo para a CQP.



Fonte: Próprio autor (2018).

Gráfico 8 - Alongamento originado pela perda por encurtamento do cabo para a CF (Protensão Limitada).



Fonte: Próprio autor (2018).

Analisando os Gráficos 5, 6, 7 e o 8, percebe-se que nos tipos de protensão demonstrados a viga 2 sendo o trecho reto com a parábola contém alongamentos inferiores que o trecho todo parabólico, determinado pelas perdas de protensão originadas pelo encurtamento do concreto.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve o objetivo de apresentar a análise demonstrando a partir de um estudo realizado, a comparação referente a dois tipos de traçados de uma viga de concreto com cordoalhas aderentes na pós-tração, a fim de determinar as perdas de protensão que ocorrem na estrutura devido as diferentes propostas adotadas. Para o estudo em si foram determinadas as diferentes combinações de carregamentos sendo a CR, CF e CQP, determinados pelo ELU, com base na NBR 6118, a partir das protensão limitada e protensão completa e analisando os resultados com base no alongamento por perdas de protensão originada pelo concreto, e determinada pelo atrito.

A partir dos dados apresentados nos gráficos 1 e 2, têm-se valores menores na ordem de 5%, associados aos traçados parábola com reto (viga 2), do que as perdas para o traçado totalmente parabólico, este fator demonstra uma influência direta, na força necessária de protensão para suportar as mesmas condições de esforços na viga. Com relação aos gráficos 3 e 4 é possível perceber que os valores apresentados são semelhantes, o que demonstra na avaliação dos dados que o a perda originada pelo alongamento devido ao atrito não depende do número de cabos e a força de protensão não tem relação direta neste caso. Entretanto, fica claro

a partir da análise realizada dos gráficos 5, 6, 7 e 8 que traçado totalmente parabólico não foi tão eficiente nas combinações e tipos de protensão determinada, quanto o trecho reto com parábola.

Portanto, conclui-se que a partir da pesquisa realizada a viga de concreto protendido com cordoalhas aderentes na pós-tração, apresenta um melhor desempenho a partir do traçado utilizado divididos em trechos sendo reto com parabólico, por demonstrar menos perdas de protensão, sendo este um fator excepcional para peças e estruturas de concreto protendido.

REFERENCIAS

ARCELORMITTAL. **Catálogo fios Cordoalhas.** Disponível em: <http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/construcao-civil/fios-cordoalhas/catalogo-fios-cordoalhas.pdf> Acessado em: 25/09/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**, Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado**. Rio de Janeiro, 2008.

BASTOS P. S. S. **Concreto Protendido** – Notas de aula. Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, 2014.

CARVALHO, R.C. **Estruturas em Concreto Protendido**. São Paulo, Editora PINI, 2012.

CORREIA, D. D. **Comparação de Cabos em Viga Protendida**. Monografia (Engenharia Civil), Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2016.

DYWIDAG. **Sistemas de Protensão com Barras DYWIDAG**. Disponível em: <https://www.dywidag.com.br/produtos/sistemas-de-protensao-reforcos-estruturais/sistemas-de-protensao-com-barras-dywidag/sistemas-dywidag-st-95105/> Acessado em: 25/09/2018.

HANAI, J. B. **Fundamentos do concreto protendido**. USP – Universidade de São Carlos, 2005.

LEOPOLDO, R.; FRANÇA, S.; ISHITANI, H. **Concreto Protendido – Fundamentos Iniciais**. São Paulo, 2001.

MARTINS, G. A.; PINTO, R. L. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos**. São Paulo: Atlas, 2001.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Ed. PINI, 2008.

RAUEN, F.J. **Roteiros de investigação científica**. Tubarão: Ed. UNISUL, 2002.