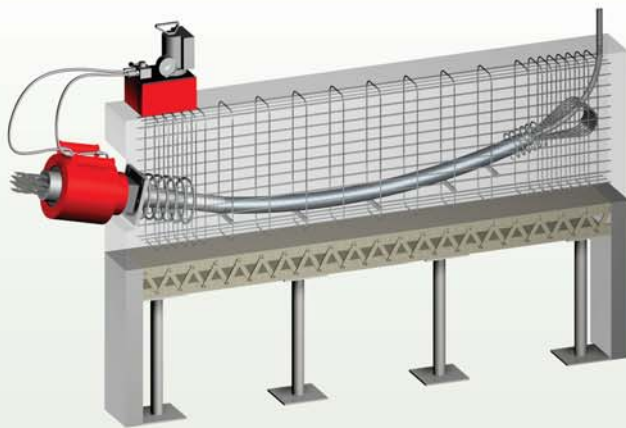
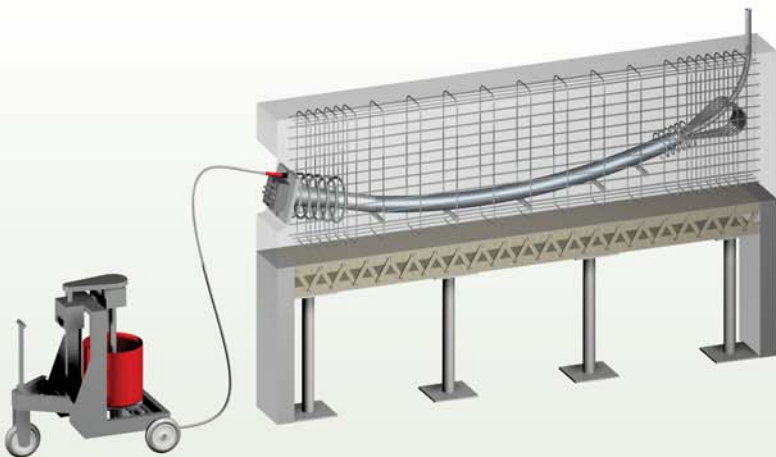


Preparação



Protensão



Injeção

CONCRETO PROTENDIDO





Imagem Aérea da Empresa



Pátio Fabril Usinagem



Horta Comunitária



Pátio Fabril Engenharia



Cursos In Company ministrados pelo SENAI

Rudloff: Tradição, Agilidade e Experiência

A **Rudloff** foi fundada em 1960, como indústria de materiais para a construção civil, com especialização em concreto protendido. Ao longo de mais de 50 anos, a empresa se desenvolveu em diversos campos de atuação, capacitando-se para fornecer soluções de engenharia diferenciadas e serviços especializados. Atualmente, entre os produtos e serviços oferecidos pela **Rudloff** destacam-se principalmente:

- Protensão de estruturas;
- Emendas para barras de aço CA-50;
- Aparelhos de apoio metálicos;
- Pontes executadas por segmentos empurrados;
- Movimentação de cargas pesadas;
- Usinagem mecânica.

Em cada área onde atua, a **Rudloff** tem a preocupação constante de oferecer aos clientes uma solução técnica e economicamente interessante, através de soluções personalizadas. A empresa trabalha obedecendo elevados padrões de qualidade, normas técnicas e exigências do mercado globalizado. É pioneira e a única brasileira com Sistema de Gestão da Qualidade certificada pela ISO 9001:2008 como fornecedora de componentes de concreto protendido, entre outros produtos.

A preocupação da empresa em atingir excelência tecnológica, de serviços e produtos, respeitando o meio ambiente, o homem e a sociedade onde se insere lhe permite buscar uma atuação voltada para a sustentabilidade. Com o objetivo de se desenvolver neste sentido, a **Rudloff** é associada do Instituto Ethos, afirmando seu compromisso em adotar práticas sociais e responsáveis, contribuindo para a construção de um cenário mais promissor para todos.

Visite nosso site e saiba mais!
www.rudloff.com.br

POR QUE USAR ESTE CATÁLOGO

Este catálogo é recomendado aos profissionais envolvidos no projeto e/ou na execução das estruturas em concreto protendido, para fins didáticos e de divulgação desta tecnologia.

Seu conteúdo envolve a apresentação de informações básicas sobre o sistema de protensão Rudloff, suas principais características e etapas, seus componentes, equipamentos e alguns cuidados a serem tomados para a aplicação da tecnologia de protensão.

Aqui não serão tratados casos especiais, mas soluções convencionais genéricas, conforme a linha padrão de produção da Rudloff. Informações sobre casos específicos, que não podem ser solucionados por meio deste catálogo, devem ser solicitadas ao departamento técnico da Rudloff.

POR QUE PROTENDER

Protender uma estrutura de concreto é fazer uso de uma tecnologia inteligente, eficaz e duradoura. Inteligente, pois permite que se aproveite ao máximo a resistência mecânica dos seus principais materiais constituintes, o concreto e o aço, reduzindo assim suas quantidades; eficaz, devido à sua superioridade técnica sobre soluções convencionais, proporcionando estruturas seguras e confortáveis; duradoura, porque possibilita longa vida útil aos seus elementos. Só estas características já justificariam o uso da protensão em estruturas. Mas além disso tudo, uma das principais vantagens das soluções em concreto protendido é o fato delas possibilitarem ótimas relações custo-benefício. A protensão pode resultar, em muitos casos, em estruturas com baixa ou nenhuma necessidade de manutenção ao longo de sua vida útil, além de permitir outras características como:

- Grandes vãos;
- Controle e redução de deformações e da fissuração;
- Possibilidade de uso em ambientes agressivos;
- Projetos arquitetônicos ousados;
- Aplicação em peças pré-fabricadas;
- Recuperação e reforço de estruturas;
- Lajes mais esbeltas do que as equivalentes em concreto armado: isso pode reduzir tanto a altura total de um edifício, como o seu peso e, conseqüentemente, o carregamento das fundações.

As vantagens da tecnologia são diversas e justificam o seu emprego mundialmente, para a execução de projetos arquitetônicos convencionais e arrojados, em obras de pequeno, médio e grande porte.



Imagem 01: Protensão do Edifício Igarassu, São Paulo - SP

POR QUE USAR O SISTEMA RUDLOFF

O sistema de protensão Rudloff foi criado em 1954, como o primeiro processo genuinamente brasileiro para protender estruturas. Permite às estruturas o aproveitamento de todas as vantagens técnicas que a tecnologia do concreto protendido possibilita. Desde a sua criação, o sistema vem sendo constantemente aperfeiçoado, em busca de equipamentos mais seguros e modernos, visando soluções mais ágeis e econômicas.

Com exceção do aço de protensão, a Rudloff fabrica todos os componentes do seu sistema de protensão. É pioneira ao fazê-lo no Brasil a partir de um sistema de gestão certificado pela Norma ISO 9001, o que confere às peças um alto padrão de qualidade, uma vez que elas são produzidas a partir de fornecedores de matéria-prima homologados e com inspeções de controle periódicas, nos diferentes estágios de fabricação. Isso permite sua total rastreabilidade, desde a entrada da matéria-prima nas máquinas produtivas, até a instalação do produto no local de aplicação.

Além de fornecer material e mão-de-obra para o serviço de protensão, a Rudloff disponibiliza pessoal tecnicamente preparado para colaborar com projetistas no detalhamento de projetos e na definição de métodos de execução práticos, seguros e econômicos.

O equipamento de protensão Rudloff é simples, robusto e confiável para garantir a segurança em todas as operações de instalação, protensão e injeção dos cabos.

O sistema de protensão Rudloff é apropriado para obras de pequeno a grande porte. Destina-se principalmente ao pós-tensionamento de estruturas de concreto, porém pode ser utilizado para a protensão de outros materiais, como aço e madeira, em casos de projetos especiais.

Suas aplicações mais comuns são em edifícios, reservatórios, pistas de aeroportos, pisos, pontes, viadutos e barragens. As principais características do sistema são:

- Simplicidade, rapidez e segurança na obtenção da protensão;
- Possibilidade de aplicação para cordoalhas de diâmetro 12,7mm ou 15,2mm;
- Versatilidade de uso, podendo ser aplicado tanto para protensão aderente, com a injeção de nata de cimento nas bainhas, como para protensão não aderente, com cordoalhas engraxadas;
- Possibilidade de protensões parciais;
- Gama variada de ancoragens ativas, passivas, de emenda e intermediárias;
- Tensionamento simultâneo de todas as cordoalhas, com cravação individual de cada uma no bloco de ancoragem;
- Possibilidade de enfição dos cabos nas bainhas antes ou após a concretagem;
- Possibilidade de uso para unir peças pré-moldadas;
- Eficácia na injeção das bainhas;
- Fabricação dos componentes mecânicos e equipamentos com padrão de qualidade ISO 9001.



Imagem 02: Certificados de Qualidade NBR ISO 9001:2008 reconhecido pelo Inmetro (nacionalmente) e IQNet (internacionalmente), respectivamente



Imagem 03: Interior da Fábrica



Imagem 04: Ponte Jurubatuba, São Paulo - SP
Entre outras vantagens, a protensão em pontes pode permitir geometrias complexas, sobrecargas elevadas, grandes vãos, flechas reduzidas e longa vida útil às estruturas.



Imagem 05: Usina Hidrelétrica Foz de Chapecó, Chapecó - SC
Devido aos grandes esforços é importante a protensão nos pilares e vigas dos vertedouros das UHE.



Imagem 06: Shopping Center em São Paulo - SP
Entre outras vantagens, a protensão de lajes possibilita estruturas esbeltas e grandes vãos entre os pilares, resultando em espaços amplos e estacionamentos confortáveis para o usuário.



Imagem 07: Santuário Madre Paulina, Nova Trento - SC
A tecnologia do concreto protendido possibilita a execução de projetos arquitetônicos e estruturais arrojados e personalizados para os mais diversos fins.

O QUE É PROTENSÃO ADERENTE

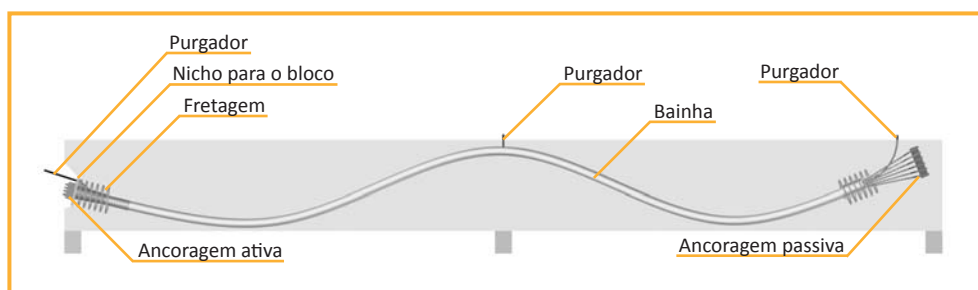


Imagem 08: Representação esquemática de um cabo Rudlof de cordoalhas aderentes em corte longitudinal

É o sistema de protensão no qual a injeção de nata de cimento nas bainhas garante a aderência mecânica da armadura de protensão ao concreto em todo o comprimento do cabo, além de assegurar a protensão das cordoalhas contra a corrosão.

O cabo de protensão é composto basicamente por uma ou mais cordoalhas de aço, ancoragens, bainha metálica e purgadores. As cordoalhas ficam inicialmente soltas dentro da bainha, o que permite a sua movimentação na ocasião da protensão. Após a concretagem da estrutura e a cura do concreto, os cabos são protendidos e é injetada nata de cimento no interior das bainhas.

As cordoalhas mais utilizadas neste sistema de protensão são compostas de sete fios e têm diâmetro de 12,7mm ou 15,5mm. São produzidas sempre na condição de relaxação baixa e fabricadas com seis fios de mesmo diâmetro nominal encordoados em torno de um fio central de diâmetro ligeiramente maior do que os demais.

CARACTERÍSTICAS DAS CORDOALHAS DE AÇO CP190 PARA PROTENSÃO ADERENTE		
ESPECIFICAÇÃO	Ø12,7 mm ou Ø1/2"	Ø15,2 mm ou Ø5/8"
Diâmetro nominal da cordoalha*	12,7mm	15,2mm
Área nominal da seção de aço da cordoalha* (valor recomendado para cálculo estrutural)	100,9mm ²	143,4mm ²
Massa nominal*	0,792kg/m	1,126kg/m
Carga de ruptura mínima*	18730kgf = 187,30 kN	26580kgf = 265,80kN
Carga a 1% de deformação mínima*	16860kgf = 168,60 kN	23920kgf = 239,20kN
Relaxação máxima após 1000h*	3,5%	3,5%
Módulo de elasticidade**	202 kN/mm ² , +/-3%	202kN/mm ² , +/- 3%

* Conforme NBR 7483:2004 **Conforme a NBR 7483:2004, este valor é fornecido pelo fabricante. Adotamos valor sugerido em Catálogo Belgo / Setembro 2003.

Tabela 01: Características das cordoalhas para protensão aderente

BAINHAS

As principais funções das bainhas são possibilitar a movimentação das cordoalhas durante a operação de protensão e receber a nata de cimento, na operação de injeção.

As bainhas metálicas Rudloff são normalmente fabricadas em barras de 6,0m de comprimento, com espessura mínima de 0,3mm. São resistentes para suportar o peso dos respectivos cabos e garantir sua fixação e posicionamento. Suas ondulações helicoidais lhes permitem flexibilidade longitudinal e rigidez transversal.

Bainhas usadas em vigas têm seção transversal circular, enquanto em lajes, usa-se bainhas chatas. Sua escolha deve ser feita em função da quantidade de cordoalhas do cabo, conforme as dimensões indicadas na Tabela 18.

As emendas de bainha são asseguradas por meio de luvas externas, feitas com o mesmo material das bainhas e diâmetro ligeiramente maior.

POR QUE PROTENDER COM ADERÊNCIA

Quando a protensão é aplicada nas cordoalhas, são criadas tensões internas na estrutura, para combater esforços resultantes dos carregamentos e melhorar o desempenho do conjunto. As cordoalhas ficam constantemente esticadas, durante toda a vida útil da estrutura. As tensões elevadas necessárias para esticar as cordoalhas devem ser absorvidas pelo sistema de protensão, de forma a proteger as estruturas e seus usuários.

A protensão aderente é um dos recursos capazes de oferecer esta proteção, pois permite que a armadura de protensão e o concreto trabalhem em conjunto, de forma integrada. Isso significa que se, eventualmente, um cabo for cortado ou se romper, a estrutura absorverá as tensões resultantes do rompimento. Nestes casos, a perda de força será localizada, pois a aderência permite que o comprimento remanescente do cabo conserve a protensão. A protensão aderente possibilita, assim, estruturas mais seguras.

A etapa de injeção das bainhas pode ser realizada simultaneamente ao cronograma da obra, sem interferir em outras etapas da mesma.



Imagem 09: Execução de laje com protensão aderente. No detalhe, seção transversal de um corpo de prova de ensaio com aderência.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- O aço de protensão pode ser considerado no cálculo do estado limite último, pois está solidarizado com o concreto. Isso permite redução expressiva na quantidade de armadura passiva necessária à estrutura.
- A aderência possibilita a execução de eventuais furos e colocação de chumbadores nas peças concretadas, após a devida aprovação do projetista a este respeito.
- A injeção de nata de cimento oferece maior proteção ao cabo contra a corrosão.
- As cordoalhas podem ser colocadas nas bainhas antes ou depois da concretagem. Isso permite, por exemplo, que elementos pré-fabricados sejam unidos por meio da protensão.
- As estruturas com protensão aderente apresenta maior capacidade de resistência ao fogo em caso de incêndio.
- O sistema apresenta variada gama de ancoragens passivas, ativas, intermediárias e de emenda, tanto para cordoalhas de 12,7mm, quanto de 15,2mm.

O QUE É PROTENSÃO NÃO ADERENTE

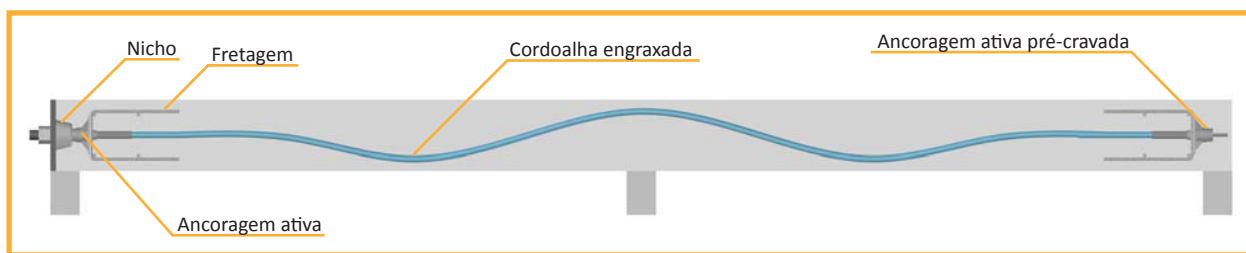


Imagem 10: Representação esquemática de um cabo Rudloff de monocordoalha engraxada em corte longitudinal

É o sistema de protensão no qual não existe aderência entre o aço de protensão e a estrutura de concreto. Os cabos são compostos basicamente por uma ancoragem em cada extremidade e uma cordoalha de aço envolta com graxa e capa de polietileno de alta densidade. A graxa possibilita a movimentação das cordoalhas nas bainhas, por ocasião da protensão. Após a concretagem da estrutura e a cura do concreto, os cabos são protendidos e ancorados.

Neste sistema, como não existe aderência entre a armadura de protensão e o concreto, a manutenção da tensão ao longo da vida útil da estrutura se concentra nas ancoragens. Devido a isso, é fundamental que elas sejam fabricadas com elevado padrão de qualidade.

As cordoalhas usadas no sistema de protensão não aderente são as mesmas utilizadas no sistema aderente, compostas de sete fios e com diâmetro de 12,7mm ou 15,2mm.

CARACTERÍSTICAS DAS CORDOALHAS DE AÇO CP190 PARA PROTENSÃO NÃO ADERENTE		
ESPECIFICAÇÃO	Ø12,7 mm ou Ø1/2"	Ø15,2 mm ou Ø5/8"
Diâmetro nominal da cordoalha*	12,7mm	15,2mm
Área nominal da seção de aço da cordoalha* (valor recomendado para cálculo estrutural)	100,9mm ²	143,4mm ²
Massa nominal*	0,890kg/m	1,240kg/m
Carga de ruptura mínima*	18730kgf = 187,30 kN	26580kgf = 265,80kN
Carga a 1% de deformação mínima*	16860kgf = 168,60 kN	23920kgf = 239,20kN
Relaxação máxima após 1000h*	3,5%	3,5%
Módulo de elasticidade**	202 kN/mm ² , +/-3%	202kN/mm ² , +/- 3%

* Conforme NBR 7483:2004 **Conforme a NBR 7483:2004, este valor é fornecido pelo fabricante. Adotamos valor sugerido em Catálogo Belgo / Setembro 2003.

Tabela 02: Características das cordoalhas para protensão não aderente

O CABO ENGRAXADO

O cabo engraxado é fabricado por meio de processo contínuo, através do qual a cordoalha é coberta com graxa inibidora de corrosão e então revestida com uma capa de polietileno de alta densidade (PEAD), a qual constitui a bainha do cabo.

As bainhas de PEAD que revestem individualmente as cordoalhas devem ter espessura da parede mínima de 1mm e seção circular com diâmetro interno que permita o livre movimento da cordoalha em seu interior. Devem ser impermeáveis, duráveis e resistentes aos danos provocados por manuseio no transporte, instalação, concretagem e tensionamento.

A graxa de proteção anticorrosiva e lubrificante deve ter características que não ataquem o aço, tanto no estado de repouso, como no estado limite característico de tensão desse aço.

POR QUE PROTENDER SEM ADERÊNCIA



Imagem 11: Execução de laje com protensão não aderente. No detalhe, seção transversal de um cabo não aderente.

O uso de cordoalhas engraxadas apresenta características próprias, a serem observadas na escolha do tipo de protensão. A protensão não aderente pode ser executada a partir de equipamentos leves, facilmente aplicáveis em obras de pequeno porte. Isso possibilita ao concreto protendido ser competitivo com o concreto armado em edifícios residenciais com vãos pequenos (de 3 a 5 metros), o que não acontece com a protensão aderente. Além disso, os cabos engraxados são leves, de fácil manuseio e flexíveis, o que permite a existência de curvas em sua disposição em planta e possibilita o desvio de eventuais obstáculos.

Na protensão sem aderência não existe a etapa de injeção de nata de cimento nas bainhas e, conseqüentemente, não há no interior das bainhas o espaço destinado a esta nata. Isso possibilita que o centro de gravidade do cabo fique próximo às bordas inferior ou superior do elemento de concreto, permitindo melhor aproveitamento da altura útil do concreto.

A fabricação dos cabos é simples, pois as cordoalhas são fornecidas engraxadas e plastificadas pelo fabricante, sem a necessidade da sua enfição posterior em bainhas. Porém, cabos engraxados requerem maior cuidado de manuseio, para evitar rasgos na bainha plástica, a qual é mais sensível que a bainha metálica.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- O coeficiente de atrito entre cabo e bainha é menor que no sistema aderente, possibilitando perdas menores e maior tensão remanescente na cordoalha.
- As cordoalhas podem ser instaladas uma a uma ou em feixes. São protendidas e ancoradas individualmente.
- As cordoalhas recebem proteção anticorrosiva de fábrica. Porém, as ancoragens convencionais não recebem proteção anticorrosiva, o que reduz a segurança do sistema. Por isso, a protensão sem aderência, a princípio, não é recomendada para ambientes agressivos.
- Eventuais falhas nas ancoragens significam desativação instantânea do cabo e de sua colaboração na estrutura.
- A execução de furos ou chumbamentos nas peças concretadas deve ser evitada, sob pena de machucar ou romper a cordoalha e provocar conseqüente perda total da protensão no cabo.
- A ausência de nata de cimento ao redor das cordoalhas diminui sua proteção contra o fogo, em caso de incêndio.
- Cabos engraxados possibilitam maiores excentricidades em sua disposição.

COMO É FEITA A CONFECÇÃO DOS CABOS

FABRICAÇÃO DOS CABOS DE PROTENSÃO

Os cabos de protensão podem ser fabricados fora da forma de concretagem. Isso compreende o corte das cordoalhas, sua enfição nas bainhas (na protensão aderente) e o posicionamento das ancoragens passivas existentes em suas extremidades. Os cabos podem, assim, ser transportados prontos até o local de concretagem e posicionados diretamente sobre os estribos de suporte, na forma.

De acordo com a NBR 14931:2003, o diâmetro interno das bainhas deve ser pelo menos 10 mm a mais do que o diâmetro do respectivo cabo, para bainhas de seção circular, ou 6mm para bainhas chatas. Os diâmetros das bainhas indicados na Tabela 18 respeitam este requisito.



Imagem 12: Fabricação de cabos. Nos detalhes, equipamentos para o corte de cordoalhas.

CABOS ENFIADOS APÓS A CONCRETAGEM

A enfição das cordoalhas nas bainhas pode ser feita após a concretagem da estrutura. As bainhas, com diâmetro interno maior que nos cabos pré-fabricados (ver Tabela 18), são colocadas vazias nos estribos de suporte. Deve-se ter muito cuidado com a vedação das uniões das bainhas e eventuais danos, para evitar a penetração de nata do concreto no seu interior, obstruindo a passagem das cordoalhas. A enfição pode ser manual, para cabos curtos, ou mecânica, através de equipamento especial da Rudloff, no caso de cabos longos.

O processo apresenta vantagens como economia de mão-de-obra e equipamentos de transporte e diminuição do perigo de corrosão das cordoalhas. Oferece a possibilidade de se fazer parte da fabricação de cabos durante a cura do concreto, o que pode diminuir os prazos de execução da estrutura.

RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

Para a fabricação dos cabos, convém atender as seguintes recomendações:

- Inspeccionar todo o aço de protensão antes do seu uso. O aço deve estar limpo, isento de óleo e de resíduos.
- Remover manualmente oxidações superficiais uniformes no aço e permitir o seu uso somente se, após a remoção, a superfície do metal estiver intacta, sem poros, riscos ou sinais de ataque. Oxidações localizadas podem ser perigosas e não admitidas.
- Executar ensaios para a comprovação das propriedades mecânicas do aço, sempre que houver dúvidas quanto à sua integridade.
- Cortar o aço por meio de disco esmeril rotativo ou tesoura, de acordo com o comprimento indicado no projeto. Verificar se neste já está incluído o comprimento necessário para a fixação do macaco de protensão.
- Fabricar cada cabo preferencialmente com aço de uma mesma bobina.
- Montar os cabos de protensão se possível antes da colocação de condutores de eletricidade e outros dispositivos mecânicos.

- Impedir que cabos e cordoalhas sejam arrastados sobre o solo ou sobre superfícies abrasivas.
- Providenciar a limpeza das extremidades dos cabos, retirando da superfície das cordoalhas, onde serão apoiados os macacos, todo o tipo de impureza existente, de forma a garantir o ajuste perfeito das cunhas do macaco de protensão.
- Proteger cabos e cordoalhas das intempéries.

ATENÇÃO!

Conforme a NBR 14931:2004, item A.5.4: “É vedado efetuar no elemento tensor, o corte com maço, bem como o endireitamento através de máquinas endireitadoras ou qualquer outro processo, pois esses procedimentos alteram radicalmente as propriedades físicas do aço.”

COMO SÃO AS ANCORAGENS RUDLOFF

As ancoragens são dispositivos capazes de manter o cabo em estado de tensão, transmitindo a força de protensão ao concreto ou ao elemento estrutural. São basicamente de quatro tipos:

- Ancoragens ativas tipo E, B, EL e AF: são as ancoragens nas quais se promove o estado de tensão no cabo, através do macaco de protensão.
- Ancoragens passivas tipo U, H e PC: são dispositivos embutidos no concreto, destinados a fixar a extremidade do cabo oposta àquele da ancoragem ativa. Somente recebem o esforço advindo da protensão executada na ancoragem ativa. A transferência da força de protensão para o concreto se dá por aderência das cordoalhas e por tensões de compressão entre a ancoragem e o concreto.
- Ancoragens de emenda tipo K e UK: são combinações de duas ancoragens, uma passiva e uma ativa, que permitem a continuação de cabos a partir de pontos intermediários.
- Ancoragens intermediárias tipo Z: são ancoragens posicionadas no meio dos cabos, quando suas extremidades forem inacessíveis para a protensão.

As combinações de ancoragens mais comuns são duas ativas ou uma ativa e uma passiva, as quais podem ser adotadas para protensão com ou sem aderência.

A nomenclatura Rudloff para ancoragens segue o seguinte padrão:

Exemplo:

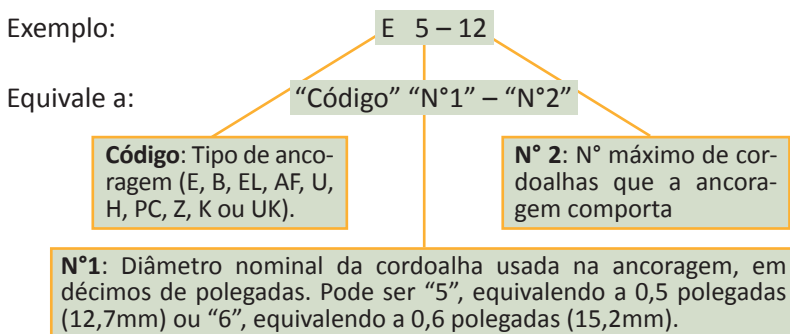


Imagem 13: Padrões de ancoragem Rudloff

ATENÇÃO!

A protensão faz com que a região das ancoragens seja altamente solicitada. Por isso, o concreto deve ter resistência adequada já desde o momento da aplicação da protensão. O valor da resistência do concreto deve ser indicado pelo projetista da estrutura.



ANCORAGEM ATIVA TIPO “E”

É composta por bloco de ancoragem com furos troncos cônicos, cunhas tripartidas e placa funil, repartidora de esforços sobre o concreto. A placa funil é o único componente da ancoragem que é posicionado na estrutura antes da concretagem.

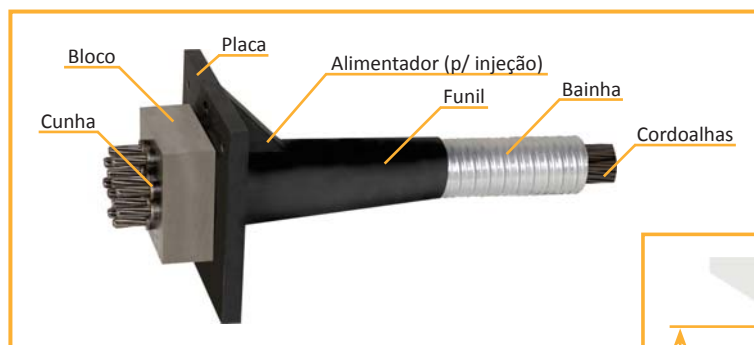
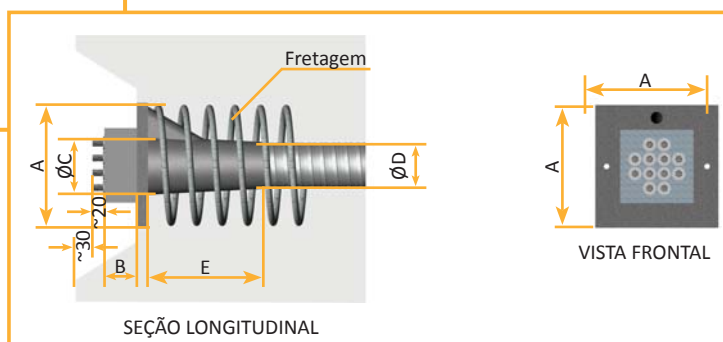


Imagem 14: Ancoragem ativa Rudloff tipo “E” (VISTA DO CONJUNTO)

Imagem 15: Ancoragem ativa Rudloff tipo “E” (SEÇÃO LONGITUDINAL E VISTA FRONTAL)



	DENOMINAÇÃO	A (PLACA)	B (BLOCO)	ØC INTERNO (FUNIL)	ØD INTERNO (FUNIL)	E (FUNIL)	PESO APROXIMADO DO CONJUNTO
CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")	E 5-8 / E 5-9	220	63,5	110	75	280	16,0 kg
	E 5-12	245	63,5	110	75	280	20,0 kg
	E 5-19	300	76,2	135	95	340	35,0 kg
	E 5-22	340	88,9	150	100	435	48,0 kg
	E 5-27	380	101,6	170	110	440	76,0 kg
	E 5-31	400	101,6	170	120	440	101,0 kg
CORDOALHA Ø15,2mm (ou Ø0,6")	E 6-5 / E 6-6	200	63,5	85	65	220	14,0 kg
	E 6-7	220	63,5	85	65	220	16,0 kg
	E 6-8 / E 6-9	245	63,5	110	75	280	20,0 kg
	E 6-10	270	76,2	120	85	340	31,0 kg
	E 6-12	300	76,2	135	95	340	35,0 kg
	E 6-15	340	88,9	150	100	435	48,0 kg
	E 6-19	370	101,6	150	100	435	70,0 kg
	E 6-22	400	101,6	170	120	435	101,0 kg

Tabela 03: Características da ancoragem ativa tipo “E”

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para f_{ck} mínimo = 25 MPa.
- Tamanhos dos nichos e espaçamento das ancoragens devem obedecer ao estabelecido nas Tabelas 19 e 20 e no catálogo eletrônico da Rudloff (www.rudloff.com.br).
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 e 24.

ANCORAGEM ATIVA TIPO "B"

É composta por uma peça principal de aço de formato tronco piramidal e cunhas tripartidas.

O bloco de ancoragem é colocado após a concretagem e apoia-se diretamente na superfície da estrutura. Esta deve ser plana e perpendicular à saída do cabo. Diferenças no ângulo de saída ou superfícies irregulares devem ser evitadas.

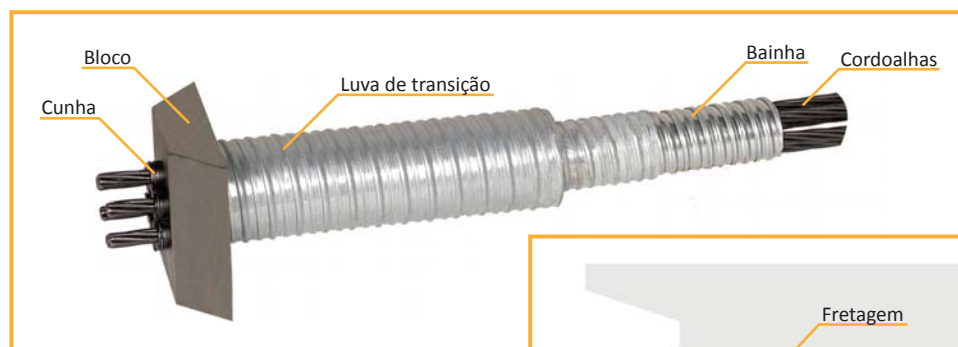
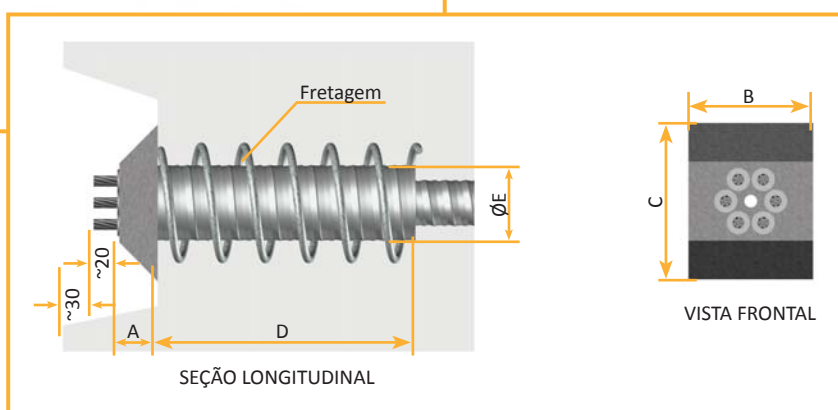


Imagem 16: Ancoragem ativa Rudloff tipo "B" (VISTA DO CONJUNTO)

Imagem 17: Ancoragem ativa Rudloff tipo "B" (SEÇÃO LONGITUDINAL E VISTA FRONTAL)



	DENOMINAÇÃO	A (BLOCO)	B (BLOCO)	C (BLOCO)	D (LUVA)	ØE EXTERNO (LUVA)	PESO APROXIMADO DO CONJUNTO
CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")	B 5-1	Ver ancoragem EL 5-1					
	B 5-2	44,5	100	110	300	70	4,0
	B 5-3	44,5	100	130	300	70	5,0
	B 5-4	44,5	115	155	300	70	6,0
	B 5-6	44,5	145	182	300	85	8,0
	B 5-7	50,8	170	182	300	90	8,0
CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6")	B 6-1	Ver ancoragem EL 6-1					
	B 6-2	44,5	110	130	300	70	5,0
	B 6-3	50,8	115	155	300	70	6,0
	B 6-4	50,8	135	194	300	90	9,0

Tabela 04: Características da ancoragem ativa tipo "B"

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para f_{ck} mínimo = 25 MPa.
- Tamanhos dos nichos e espaçamento das ancoragens devem obedecer ao estabelecido nas Tabelas 19 e 20 e no catálogo eletrônico da Rudloff (www.rudloff.com.br).
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 e 24.

ANCORAGEM ATIVA TIPO “EL”

Tem formato achatado e destina-se à protensão de lajes, pisos, tabuleiros de pontes e outras estruturas delgadas. Os cabos, com até 4 cordoalhas de 12,7mm ou 15,2mm, são colocados em bainhas metálicas chatas (com exceção das bainhas para cabos monocordoalhas, que são redondas) e as cordoalhas são protendidas uma a uma.

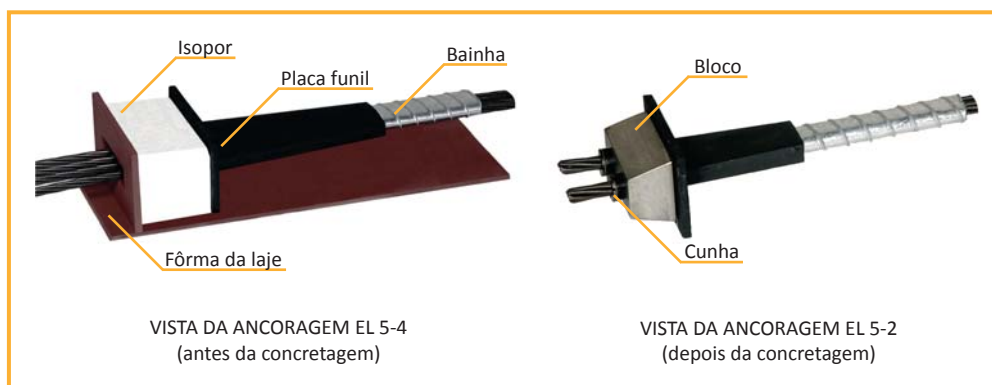


Imagem 18: Ancoragem ativa Rudloff tipo “EL”, antes e depois da concretagem (VISTA DO CONJUNTO)

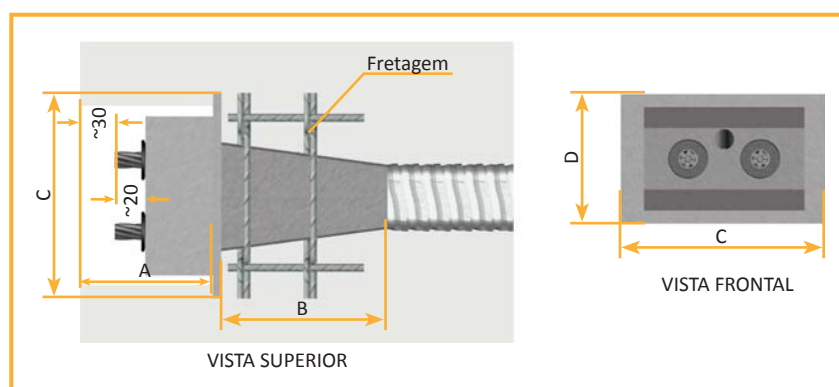


Imagem 19: Ancoragem ativa Rudloff tipo “EL” (VISTAS SUPERIOR E FRONTAL)

	DENOMINAÇÃO	A (NICHOS)	B (FUNIL)	C (PLACA)	D (PLACA)	PESO APROXIMADO DO CONJUNTO
CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")	EL 5-1	100	125	100	80	2,0 kg
	EL 5-2	100	128	140	80	3,0 kg
	EL 5-3	100	290	200	110	4,0 kg
	EL 5-4	100	300	210	110	6,0 kg
CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6")	EL 6-1	100	128	110	100	3,0 kg
	EL 6-2	100	150	155	110	5,0 kg
	EL 6-3	100	300	200	120	7,0 kg
	EL 6-4	100	420	245	125	8,0 kg

Tabela 05: Características da ancoragem ativa tipo “EL”

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para fck mínimo = 25 MPa.
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 a 24.

ANCORAGEM ATIVA TIPO "AF"

É a ancoragem usada para cabos engraxados de monocordoalha. É composta basicamente por um bloco de ferro fundido, uma luva, uma cunha bi-partida e a cordoalha engraxada e plastificada.

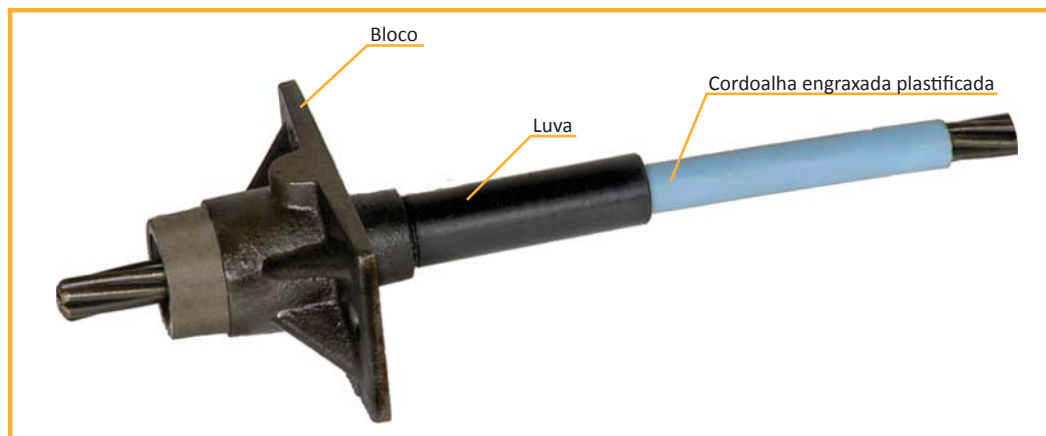


Imagem 20: Ancoragem ativa Rudloff tipo "AF" (VISTA DO CONJUNTO)

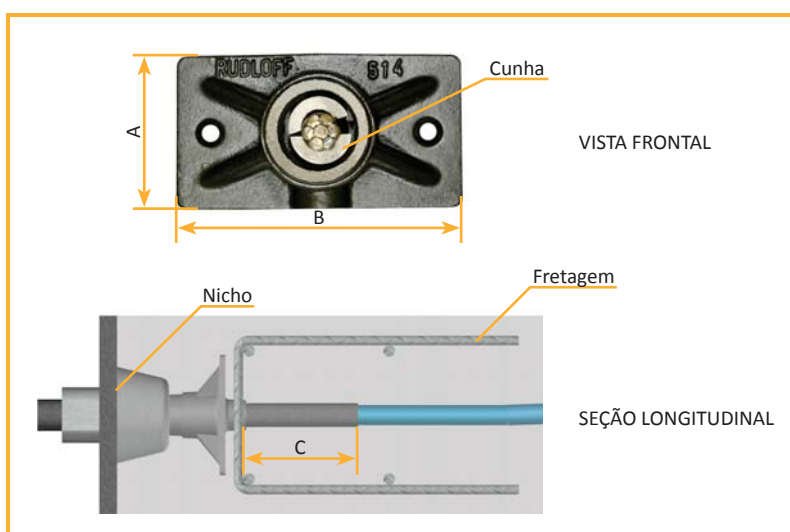


Imagem 21: Ancoragem ativa Rudloff tipo "AF" (VISTA FRONTAL E SEÇÃO LONGITUDINAL)

CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")					CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6")				
DENOMINAÇÃO	A	B	C	PESO APROXIMADO DO CONJUNTO	DENOMINAÇÃO	A	B	C	PESO APROXIMADO DO CONJUNTO
AF 5-1	70	130	90	1,30 kg	AF 6-1	70	130	90	1,30 kg

Tabela 06: Características da ancoragem ativa tipo "AF"

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para fck mínimo = 25 MPa.
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 a 24.

ANCORAGEM PASSIVA TIPO “U”

É uma ancoragem fixa na qual a transferência da força de protensão para o concreto que envolve a ancoragem dá-se por aderência ao longo das cordoalhas na parte descoberta (parte da cordoalha fora da bainha) e por tensões de compressão ente a placa de aço curvada (placa “U”) e o concreto.

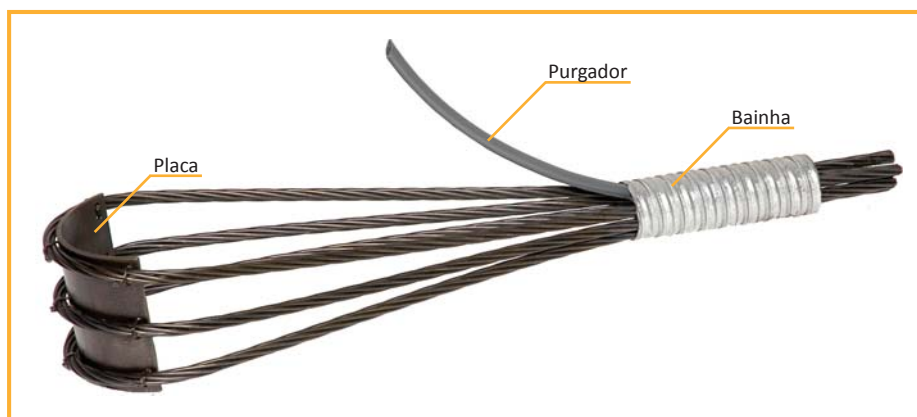


Imagem 22: Ancoragem passiva Rudloff tipo “U” (VISTA DO CONJUNTO)

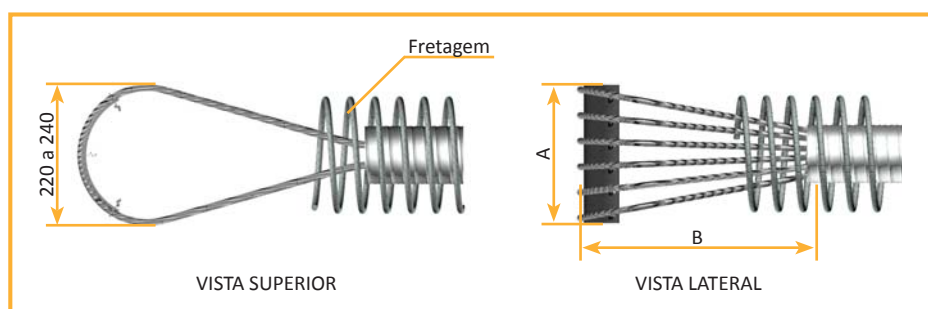


Imagem 23: Ancoragem passiva Rudloff tipo “U” (VISTA SUPERIOR E LATERAL)

CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5”)				CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6”)			
DENOMINAÇÃO	A	B	PESO APROXIMADO DO CONJUNTO	DENOMINAÇÃO	A	B	PESO APROXIMADO DO CONJUNTO
U 5-2	38	600	0,4 kg	U 6-2	38	600	0,4 kg
U 5-4	76	600	0,7 kg	U 6-4	76	600	0,7 kg
U 5-6	140	600	1,3 kg	U 6-6	140	700	1,3 kg
U 5-8	180	600	1,6 kg	U 6-8	180	700	1,6 kg
U 5-10	220	700	2,1 kg	U 6-10	220	800	2,1 kg
U 5-12	280	700	2,5 kg	U 6-12	280	900	2,5 kg
U 5-19	390	800	3,5 kg	U 6-15	280	1300	2,6 kg
U 5-22	428	900	3,8 kg	U 6-19	390	1300	2,6 kg
U 5-27	542	1300	4,8 kg	U 6-22	428	1400	3,8 kg
U 5-31	618	1300	5,4 kg				

Tabela 07: Características da ancoragem passiva tipo “U”

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para fck mínimo = 25 MPa.
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 a 24.

ANCORAGEM PASSIVA TIPO "H"

É uma ancoragem fixa, na qual um equipamento especial faz o "desencordoamento" das pontas das cordoalhas. A transferência da força de protensão para o concreto que envolve a ancoragem dá-se por aderência ao longo das cordoalhas na parte descoberta e desencordoada.

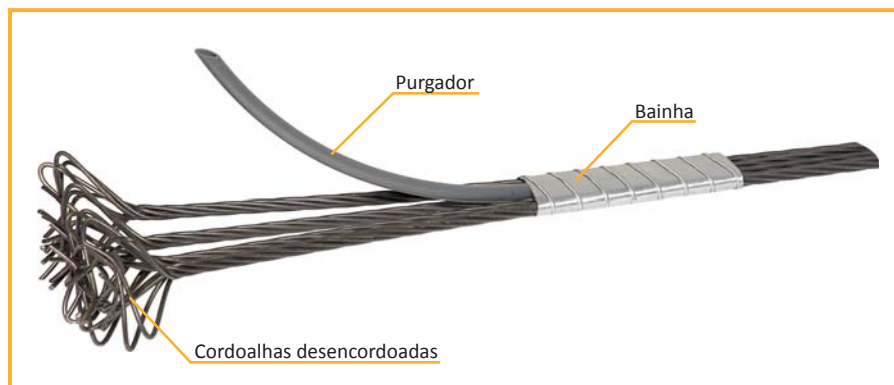


Imagem 24: Ancoragem passiva Rudloff tipo "H" (VISTA DO CONJUNTO)

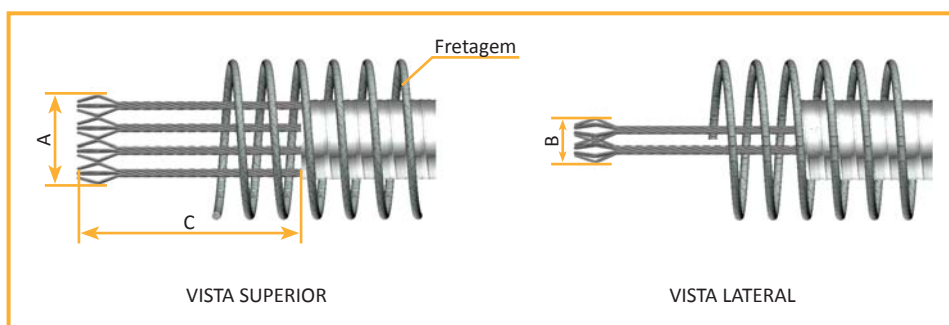


Imagem 25: Ancoragem passiva Rudloff tipo "H" (VISTA SUPERIOR E LATERAL)

CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")				CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6")			
DENOMINAÇÃO	A	B	C	DENOMINAÇÃO	A	B	C
H 5-1	80	-	800	H 6-1	90	-	800
H 5-2	160	-	800	H 6-2	180	-	800
H 5-3	240	-	800	H 6-3	270	-	800
H 5-4	320	-	800	H 6-4	360	-	800
H 5-6	240	160	800	H 6-5	270	180	800
H 5-7	320	160	800	H 6-6	270	180	800
H 5-8	320	160	800	H 6-7	360	180	800
H 5-9	240	240	800	H 6-9	270	270	900
H 5-12	320	240	900	H 6-10	360	270	900
H 5-19	400	320	900	H 6-12	360	270	1000
H 5-22	400	400	1000	H 6-15	360	360	1100
H 5-27	400	480	1100	H 6-19	450	360	1100
H 5-31	400	480	1200	H 6-22	450	450	1200

Tabela 08: Características da ancoragem passiva tipo "H"

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para fck mínimo = 25 MPa.
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 a 24.

ANCORAGEM PASSIVA TIPO “PC”

É semelhante a uma ancoragem ativa, com iguais dimensões e fretagens, porém, por motivos construtivos, as cordoalhas são pré-cravadas.

Este tipo de ancoragem substitui a ancoragem fixa tipo “U”, quando se deseja uma transferência bem definida da força e protensão para o concreto.

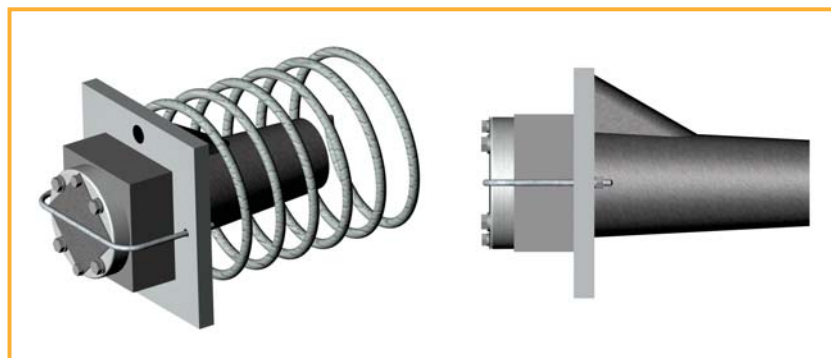


Imagem 26: Ancoragem passiva Rudloff tipo “PC” (VISTAS DO CONJUNTO MONTADO)

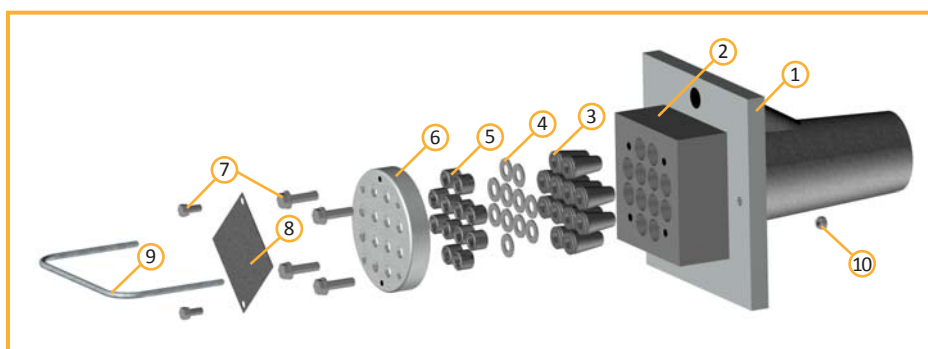


Imagem 27: Ancoragem passiva Rudloff tipo “PC” (VISTA DOS ELEMENTOS DO CONJUNTO)

ITEM	ELEMENTO	ITEM	ELEMENTO
1	Placa e funil	6	Tampa de aperto das cunhas
2	Bloco de ancoragem	7	Parafusos de fixação das tampas “6” e “8”
3	Cunhas	8	Tampa de vedação das cordoalhas
4	Arruelas de metal	9	Abraçadeira (fixação na placa de ancoragem)
5	Calços de borracha	10	Porca de fixação da abraçadeira

Tabela 09: Características da ancoragem passiva tipo “PC”

ATENÇÃO!

- IMPORTANTE: Após a montagem do conjunto, antes da concretagem, vedar bem os locais onde possa penetrar nata de cimento, com “Durepox”.
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 a 24.

ANCORAGEM DE EMENDA TIPO "K"

Trata-se de uma combinação de ancoragem ativa e passiva. Permite a continuação de um cabo a partir de um ponto de protensão intermediária. O primeiro trecho do cabo terá, numa extremidade, uma ancoragem ativa ou passiva e, na outra extremidade, a ancoragem tipo "K", que funcionará, nesta primeira fase, como uma ancoragem ativa do tipo "E". O acoplamento do segundo trecho do cabo na ancoragem tipo "K" é feito mediante buchas de compressão.



Imagem 28: Ancoragem de emenda Rudloff tipo "K" (VISTAS DO CONJUNTO ABERTO E FECHADO)

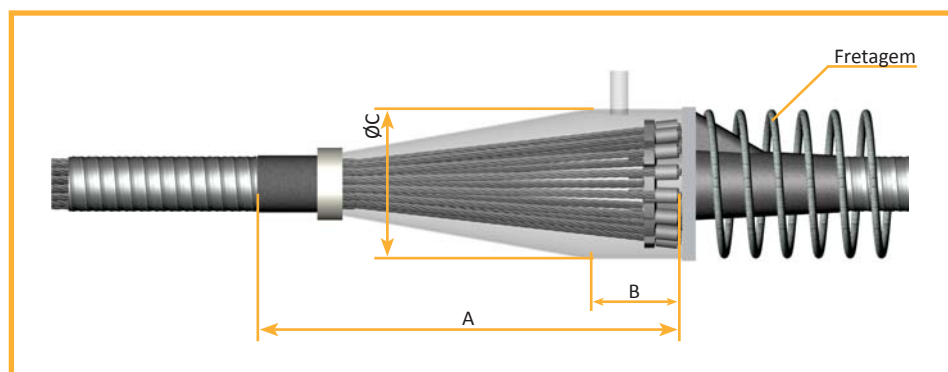


Imagem 29: Ancoragem de emenda Rudloff tipo "K" (SEÇÃO TRANSVERSAL)

CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")				CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6")			
DENOMINAÇÃO	A	B	ØC	DENOMINAÇÃO	A	B	ØC
K 5-3	430	140	130	K 6-2	380	150	130
K 5-7	550	140	170	K 6-4	520	160	160
K 5-12	650	140	200	K 6-7	630	160	190
K 5-19	740	140	240	K 6-12	730	160	240
K 5-22	830	140	260	K 6-19	860	160	280
K 5-31	1140	140	350	K 6-22	930	160	310

Tabela 10: Características da ancoragem de emenda tipo "K"

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para f_{ck} mínimo = 25 MPa.
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 a 24.

ANCORAGEM DE EMENDA TIPO "UK"

Tem a mesma finalidade de ancoragem tipo "K", com a diferença que na continuidade do cabo funciona como ancoragem passiva tipo "U". É normalmente utilizada em lajes.

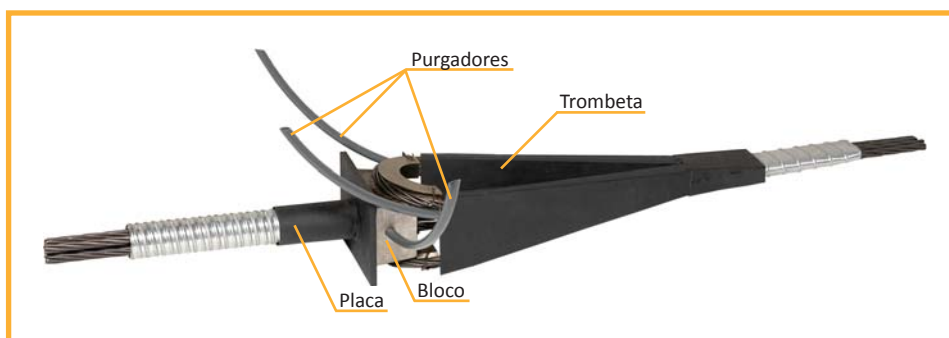


Imagem 30: Ancoragem de emenda Rudloff tipo "UK" (VISTA DO CONJUNTO)

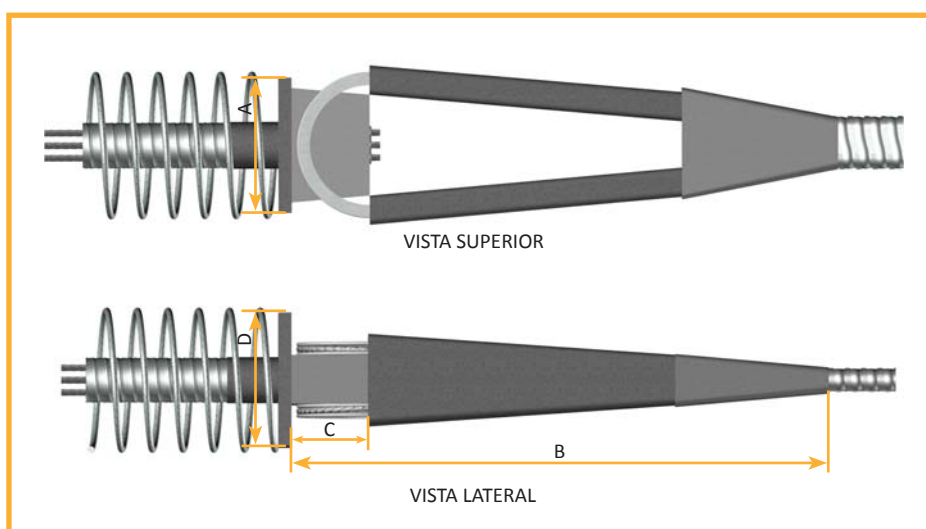


Imagem 31: Ancoragem de emenda Rudloff tipo "UK" (VISTAS SUPERIOR E LATERAL)

CORDOALHA $\varnothing 12,7$ mm (ou $\varnothing 0,5''$)					CORDOALHA $\varnothing 15,2$ mm (ou $\varnothing 0,6''$)				
DENOMINAÇÃO	A	B	C	D	DENOMINAÇÃO	A	B	C	D
UK 5-2	150	660	63	100	UK 6-2	155	660	75	100
UK 5-4	200	660	63	140	UK 6-4	220	660	75	150

Tabela 11: Características da ancoragem de emenda tipo "UK"

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para f_{ck} mínimo = 25 MPa.
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 a 24.

ANCORAGEM INTERMEDIÁRIA TIPO "Z"

É usada quando as extremidades de um cabo são inacessíveis para a protensão.

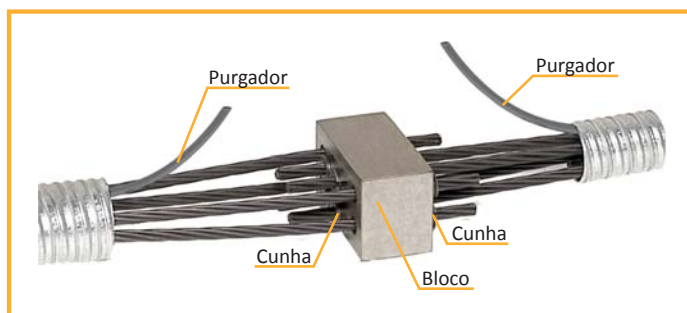


Imagem 32: Ancoragem intermediária Rudloff tipo "Z"
(VISTA DO CONJUNTO)

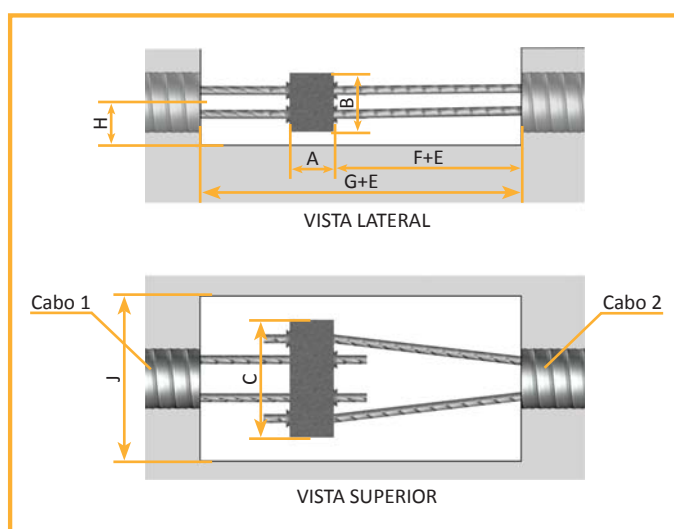


Imagem 33: Ancoragem intermediária Rudloff tipo "Z"
(VISTAS LATERAL E SUPERIOR)

	DENOMINAÇÃO	A	B	C	E	F	G	H	J	PESO APROXIMADO DO CONJUNTO
CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")	Z 5-2	60	80	130	ΔL_2	600	820	60	170	5,0 kg
	Z 5-4	70	90	160	ΔL_2	600	820	65	200	8,0 kg
	Z 5-6	90	130	200	ΔL_2	700	990	85	240	19,0 kg
	Z 5-12	140	140	280	ΔL_2	700	1210	90	320	43,0 kg
CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6")	Z 6-2	70	90	140	ΔL_2	650	820	65	180	7,0 kg
	Z 6-4	80	100	170	ΔL_2	900	1180	70	210	11,0 kg
	Z 6-6	100	140	210	ΔL_2	1000	1400	90	250	23,0 kg
	Z 6-12	160	160	300	ΔL_2	1350	1960	100	340	60,0 kg

Tabela 12: Características da ancoragem intermediária tipo "Z"

ATENÇÃO!

- As dimensões indicadas estão em mm e são válidas para f_{ck} mínimo = 25 MPa.
- A armadura de fretagem está indicada nas Tabelas 21 e 24.
- ΔL_2 = alongamento do Cabo2.
- As dimensões são válidas para superfícies retas.

COMO É O PROCESSO DE PROTENSÃO

A operação de protensão é aplicada através de macacos hidráulicos e bombas de alta pressão. Normalmente, é composta pelas etapas de preparação, colocação do equipamento, protensão das cordoalhas, cravação e acabamento.

ETAPAS DA OPERAÇÃO DE PROTENSÃO

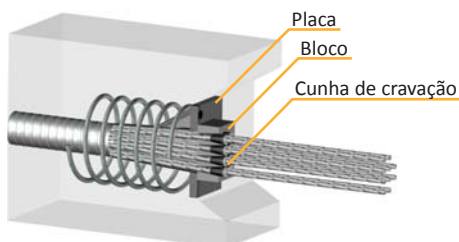


Imagem 34: Colocação de bloco e cunhas

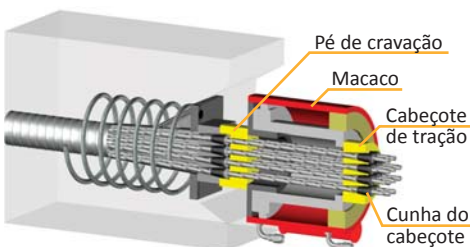


Imagem 35: Posicionamento do macaco de protensão

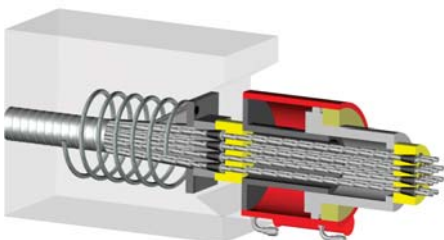


Imagem 36: Tracionamento das cordoalhas

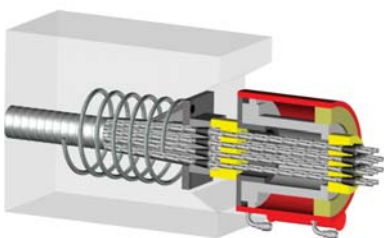


Imagem 37: Cravação das cunhas

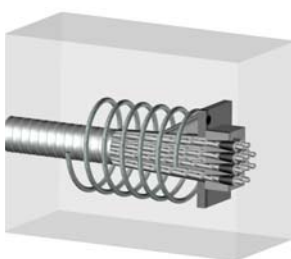


Imagem 38: Corte das pontas das cordoalhas e fechamento dos nichos

PREPARAÇÃO

As formas dos nichos devem ser retiradas, seguidas de limpeza, quando necessária, da área de apoio do bloco de ancoragem. Em seguida, deve ser feita a colocação do bloco e das cunhas, conforme a figura 34. Após o concreto atingir a resistência mínima indicada em projeto estrutural, deve ser providenciado o posicionamento do macaco hidráulico e dos seus acessórios, ilustrado na figura 35.

PROTENSÃO

A operação de protensão é realizada pelo acionamento do macaco, conforme a figura 36, através da bomba de alta pressão. As cordoalhas são tracionadas obedecendo à força indicada no projeto estrutural. Deve-se registrar a pressão indicada no manômetro e o correspondente alongamento dos cabos.

ANCORAGEM/CRAVAÇÃO

Quando o macaco atingir carga e/ou alongamento indicados no projeto estrutural, finaliza-se a protensão. A pressão no macaco é aliviada e as cordoalhas se ancoram automaticamente no bloco, conforme a figura 37. Em seguida, é feita a remoção do equipamento de protensão.

ACABAMENTO

Após a liberação da protensão, é feito o corte das pontas das cordoalhas, conforme a figura 38. Em seguida, deve-se providenciar o fechamento dos nichos e, no caso de protensão com aderência, a injeção dos cabos com nata de cimento.

COMO É O EQUIPAMENTO RUDLOFF?

MACACOS RUDLOFF DE PROTENSÃO

NOME	UNIDADE DE PROTENSÃO (NÚMERO DE CORDOALHAS)			ÁREA DO PISTÃO DE TENSÃO (cm ²)	PESO COM ACESSÓRIOS (kg)	CURSO ÚTIL (mm)	COMP. FECHADO (COM PÉ E CABEÇOTE) (mm)	MAIOR DIÂMETRO (mm)	COMP. MÍN. DE PEGA (mm)	ESFORÇO MÁXIMO (tf)	PRESSÃO MÁX. ADM. COM PERDA 2,5% (kgf/cm ²)	A (cm)	B (cm)
	Ø 8mm	Ø 1/2"	Ø 5/8"										
MONO-I-A	-	1	1	41,92	27	250	530	120	630	25	611	9	90
MONO-I-C	-	1	1	41,92	25	200	470	120	570	25	611	9	90
MONO-VI	-	1-E	-	40,52	19	230	350	191	360	18	455	11	90
MONO-VII	-	1-E	1-E	56,55	30	190	450	252	460	25	453	14	90
MP 5-4A	-	2 a 4	2 e 3	126,40	69	250	590	200	690	63	511	12	110
MP 5-4B	-	2 a 4	2 e 3	126,40	75	250	550	200	650	63	511	12	110
MP-110	12	4 a 7	4 a 6	221,80	110	190	540	250	640	115	531	15	120
MP 5-7-A	12	4 a 7	4 a 6	198,56	133	250	600	240	700	115	594	15	120
MP 5-7-B	12	4 a 7	4 a 6	198,56	103	150	470	240	570	115	594	15	120
MP 5-7-C	12	4 a 7	4 a 6	198,56	96	150	430	240	530	115	594	15	120
MP 5-12-A	-	8 a 12	7 a 9	355,30	237	280	640	330	740	190	548	18	120
MP 5-12-B	-	8 a 12	7 a 9	355,30	210	190	530	330	630	190	548	18	120
MP 5-12-C	-	8 a 12	7 a 9	355,30	224	240	560	330	660	190	548	18	120
MP 5-12-D	-	8 a 12	7 a 9	355,30	163	100	440	330	540	190	548	18	120
MP 5-22	-	13 a 22	10 a 15	651,39	410	190	580	430	800	350	551	27	150
MP 5-31	-	23 a 31	16 a 22	837,13	540	190	600	490	800	480	588	27	150

ESPAÇO MÍNIMO PARA O EQUIPAMENTO DE PROTENSÃO

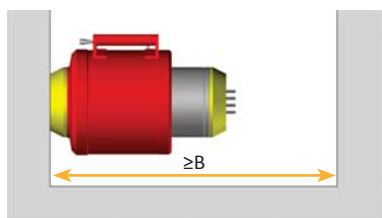


Imagem 39: Representação do macaco posicionado na estrutura - VISTA LATERAL

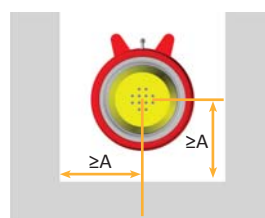


Imagem 40: Representação do macaco posicionado na estrutura - VISTA FRONTAL

Tabela 13: Características dos macacos Rudloff de protensão

BOMBAS RUDLOFF DE PROTENSÃO

NOME	DIMENSÕES (mm)	PESO	MOTOR	ÓLEO	PRESSÃO MÁXIMA (bar)
BEP 01	Comprimento: 880	190 kg	Trifásico - 5 CV 220 V / 380 V	Hidráulico 68/32 40 Litros	700
	Altura: 800				
	Largura: 550				
BEP 03	Comprimento: 560	125 kg	Trifásico - 5 CV 220 V / 380 V	Hidráulico 68/32 30 Litros	700
	Altura: 650				
	Largura: 530				

Tabela 14: Características das bombas Rudloff de protensão



COMO É O PROCESSO DE INJEÇÃO RECOMENDAÇÕES

A injeção de nata de cimento nas bainhas visa assegurar a aderência mecânica entre as armaduras de protensão e o concreto em todo o comprimento do cabo e a proteção das cordoalhas contra a corrosão. Para sua perfeita execução, recomenda-se:

- Obedecer as normas técnicas NBR 6118, 7681, 7682, 7683, 7684, 7685 e 14931.
- Estudar o melhor local para a instalação dos equipamentos de injeção antes de iniciá-la visando evitar deslocamento durante a operação ou mangueiras de comprimento excessivo.
- Injetar os cabos em até quinze dias após a sua protensão.
- Seguir a composição de nata de cimento definida em ensaios prévios, com a proporção correta entre água potável, cimento e aditivos.
- Controlar as propriedades da nata durante a injeção.
- Evitar executar a injeção com chuva ou sol forte. O ideal é fazê-lo pela manhã, aproveitando a queda de temperatura do concreto ocorrida durante a noite.
- Se houver necessidade de execução da injeção com temperaturas ambientes acima de 30 °C ou abaixo de 5 °C, aplicar técnicas especiais, fornecidas pela Rudloff.
- Lavar os cabos pouco tempo antes da injeção, com água limpa, preferencialmente removendo a água com ar comprimido.
- Executar a injeção a partir da extremidade mais baixa do cabo.
- Lavar o equipamento com água ao final de cada operação ou a cada 3 horas.

ATENÇÃO!

A injeção de nata de cimento nas bainhas é fundamental para o funcionamento da protensão com aderência. Dada a sua importância, a operação de injeção deve ser feita por pessoal qualificado, sob orientação de técnico especializado, seguindo as recomendações estabelecidas em normas técnicas.

O EQUIPAMENTO PARA INJEÇÃO

O equipamento Rudloff para a injeção possibilita a execução segura da operação, conforme as normas técnicas brasileiras. Porém, a injeção é um serviço de alta responsabilidade não somente do equipamento, mas também de seus operadores e pessoal de apoio. O sucesso da operação de injeção depende da eficiência de quem a executa.

O EQUIPAMENTO RUDLOFF PARA INJEÇÃO		
BOMBA INJETORA RUDLOFF	MISTURADOR RUDLOFF	COLETOR RUDLOFF
Peso: 266 kg Dimensões: 117x66x70cm Pressão máxima de trabalho: 20 kg/cm ² Potência do motor elétrico: 3 CV Voltagem do motor elétrico: 220V ou 380V Corrente elétrica do motor: 10,8 A (220V) ou 6,2 A (380V)	Peso vazio: 124 kg Motor elétrico: 2 CV, 1150 rpm Capacidade de cimento: 2 sacos de 50 kg Capacidade de água potável: 42 litros	Peso: 113 kg Diâmetro: 80 cm + 52 cm Altura total: 70 cm

Tabella 15: O equipamento Rudloff para injeção

COMO É O PROCESSO DE INJEÇÃO



Imagem 41: O equipamento Rudloff para injeção

INJEÇÃO DE NATA DE CIMENTO						
NÚMERO DE CORDOALHAS	CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")			CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6")		
	Ø INTERNO DA BAINHA (mm)	PESO DE CIMENTO (kg/m)	VOLUME DE CALDA (l/m)	Ø INTERNO DA BAINHA (mm)	PESO DE CIMENTO (kg/m)	VOLUME DE CALDA (l/m)
1	22	0,42	0,31	28	0,72	0,52
2	33	0,99	0,72	37	1,20	0,87
2 (lajes)	19x35	0,63	0,46	24x40	0,87	0,63
3	40	1,45	1,05	45	1,76	1,28
3 (lajes)	22x69	2,06	1,50	27x57	1,48	1,07
4	45	1,80	1,31	50	2,11	1,53
4 (lajes)	22x69	1,91	1,38	30x70	2,35	1,71
5	45	1,65	1,19	50	1,89	1,37
6	50	2,06	1,49	60	2,99	2,16
7	55	2,53	1,84	60	2,77	2,01
8	60	3,07	2,22	65	3,30	2,39
9	60	2,91	2,11	70	3,88	2,81
10	60	2,76	2,00	75	4,53	3,28
11	65	3,35	2,43	75	4,31	3,12
12	65	3,20	2,32	80	5,02	3,64
13	65	3,05	2,21	85	5,78	4,19
14	70	3,70	2,68	85	5,57	4,03
15	70	3,54	2,57	85	5,35	3,88
16	75	4,26	3,08	90	6,17	4,47
17	75	4,10	2,97	90	5,96	4,32
18	80	4,87	3,53	95	6,84	4,96
19	85	5,70	4,13	95	6,62	4,80
20	85	5,55	4,02	100	7,57	5,48
21	85	5,40	3,91	105	8,57	6,21
22	90	6,29	4,56	110	9,64	6,98
23	90	6,13	4,45	110	9,42	6,83
24	90	5,98	4,33	110	9,20	6,67
25	90	5,83	4,22	110	8,98	6,51
26	95	6,78	4,91	115	10,11	7,32
27	95	6,62	4,80	115	9,89	7,17
28	95	6,47	4,69	120	11,07	8,02
29	100	7,48	5,42	120	10,86	7,87
30	105	8,55	6,20	130	13,62	9,87
31	105	8,40	6,08	130	13,40	9,71

Tabela 16: Recomendações para a injeção de nata de cimento

COMPOSIÇÃO DA NATA DE CIMENTO

As características da calda de injeção variam ligeiramente com as diversas marcas de cimento e tipos de aditivos. Em média, para uma relação água-cimento aproximadamente 0,42, pode-se dizer que:

- 100kg de cimento (2 sacos) e 42 litros de água produzem aproximadamente 73 litros de calda;
- 1 litro de calda tem aproximadamente 0,57 litros de água e 1,38kg de cimento;
- Densidade da calda = aproximadamente 1,9kg/litro.

Os valores da tabela 16 são de utilidade para se planejar uma operação de injeção. Não foram consideradas as perdas nos respiros das bainhas, nas lavagens dos cabos e na expulsão da água do interior do cabo.

RECOMENDAÇÕES

1. A Rudloff recomenda que se aumente em pelo menos 10% o peso teórico de cimento indicado na Tabela 16.

2. A nata de injeção deve atender aos requisitos estabelecidos nas normas técnicas quanto a:

- Fluidez
- Resistência mecânica
- Tempo de pega
- Ausência de agentes agressivos
- Exsudação
- Retração
- Tempo de injetabilidade
- Expansão
- Absorção capilar
- Dosagem de aditivos

O QUE CONSIDERAR NO PROJETO ESCOLHA DO CABO

A Tabela 18 possibilita a escolha do cabo a ser usado em projeto. Foi desenvolvida para armadura pós-tracionada e aços da classe de relaxação baixa e indica a força máxima permitida no macaco pela norma, no momento da protensão, para cada cabo. Para os casos de armaduras pré-tracionadas, deve ser consultado o critério estabelecido na NBR6118.

A escolha do cabo deve ser feita respeitando-se o espaçamento mínimo necessário ao equipamento de protensão, conforme indicado na Tabela 13.

PERDA DE CRAVAÇÃO NAS ANCORAGENS E SUA COMPENSAÇÃO

A acomodação das cunhas nas ancoragens (cravação) provoca uma perda de aproximadamente 6 mm no alongamento inicial ao qual se chegou antes da cravação.

Em cabos muito curtos, com menos de 10m de comprimento e uma ancoragem ativa tipo “E”, pode-se compensar a perda de cravação através da colocação de calços de aço de aproximadamente 6 mm.

COEFICIENTES DE ATRITO

As perdas de protensão por atrito ao longo do cabo são calculadas em função da curvatura do cabo e dos seguintes coeficientes, que dependem das características dos materiais empregados:

- μ = coeficiente de atrito aparente entre cabo e bainha;
- k = coeficiente de perda por metro provocada por curvaturas não intencionais no cabo.

Na falta de dados experimentais, podem ser adotados os valores da tabela abaixo.

COEFICIENTES*	μ (1/RADIANOS)	K (1/m)
Entre barras com saliências e bainha metálica	0,30	$3,0 \times 10^{-3}/m$
Entre fios lisos ou cordoalhas e bainha metálica	0,20	$2,0 \times 10^{-3}/m$
Entre fios lisos ou cordoalhas e bainha metálica lubrificada	0,10	$1,0 \times 10^{-3}/m$
Entre cordoalha e bainha de polipropileno lubrificada	0,05	$0,5 \times 10^{-3}/m$

*Conforme NBR6118:2003

Tabela 17: Coeficientes médios de atrito

NICHOS DE PROTENSÃO

Por razões construtivas ou estéticas, normalmente é interessante que as ancoragens ativas fiquem reentrantes à superfície acabada do concreto. Para o acesso a elas, durante a aplicação da protensão, torna-se então necessário que se preveja, no projeto estrutural, a execução de nichos nos elementos de concreto (ver Tabelas 19 e 20). Após a protensão, os nichos são fechados, formando-se assim uma superfície plana que protege ancoragens e cordoalhas contra a corrosão.

FENDILHAMENTO E FRETAGEM

O concreto quando protendido é solicitado por tensões elevadas nas imediações das ancoragens, que provocam altos esforços de fendilhamento concentrados nestas regiões. É fundamental a existência de armadura que combata estes esforços, assim como de armaduras de fretagem para distribuí-los. Cabe ao calculista da estrutura especificar estas armaduras no projeto estrutural, obedecendo critérios seguros de cálculo.

Para a armadura de fretagem, a Rudloff recomenda que sejam seguidas as especificações das Tabelas 21 a 24. Para a armadura de fendilhamento, pode-se adotar a seguinte sugestão genérica:

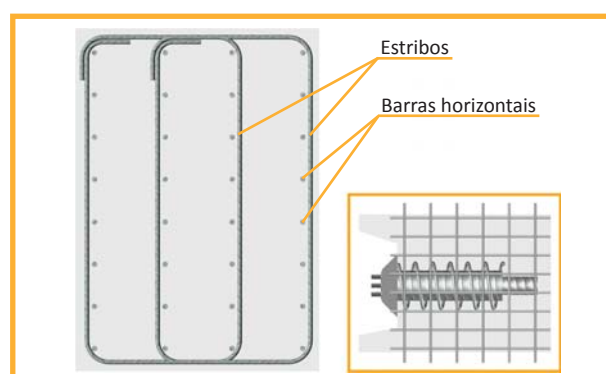


Imagem 42: Seção transversal de armadura de fendilhamento. No detalhe, seção longitudinal da mesma armadura.

O QUE CONSIDERAR NO PROJETO

CARACTERÍSTICAS DOS CABOS DE PROTENÇÃO ADERENTES, PARA AÇO CP190RB PÓS-TRACIONADO											
CORDOALHA Ø12,7 mm (ou Ø0,5")						CORDOALHA Ø15,2 mm (ou Ø0,6")					
Nº DE CORDOALHAS	DENOMINAÇÃO	PESO ¹ (kgf/m)	FORÇA DE PROTENÇÃO ² (kN)	BAINHA (mm)		Nº DE CORDOALHAS	DENOMINAÇÃO	PESO ¹ (kgf/m)	FORÇA DE PROTENÇÃO ² (kN)	BAINHA (mm)	
				CABOS FABRICADOS	CABOS PÓS ENFIADOS					CABOS FABRICADOS	CABOS PÓS ENFIADOS
1	5-1	0,792	138,3	22	28	1	6-1	1,126	196,1	28	33
2	5-2	1,584	276,5	33	37	2	6-2	2,252	392,3	37	45
2 (lajes)	L 5-2	1,584	276,5	19X35	-	2 (lajes)	L 6-2	2,252	392,3	24X40	-
3	5-3	2,376	414,8	40	45	3	6-3	3,378	588,4	45	50
3 (lajes)	L 5-3	2,376	414,8	22X69	-	3 (lajes)	L 6-3	3,378	588,4	27X57	-
4	5-4	3,168	553,0	45	50	4	6-4	4,504	784,6	50	55
4 (lajes)	L 5-4	3,168	553,0	22X69	-	4 (lajes)	L 6-4	4,504	784,6	30X70	-
5	5-5	3,960	691,3	45	50	5	6-5	5,63	980,7	50	55
6	5-6	4,752	829,5	50	55	6	6-6	6,756	1176,9	60	65
7	5-7	5,544	967,8	55	60	7	6-7	7,882	1373,0	60	65
8	5-8	6,336	1106,0	60	65	8	6-8	9,008	1569,2	65	70
9	5-9	7,128	1244,3	60	65	9	6-9	10,134	1765,3	70	75
10	5-10	7,920	1382,5	60	65	10	6-10	11,26	1961,4	75	80
11	5-11	8,712	1520,8	65	70	11	6-11	12,386	2157,6	75	80
12	5-12	9,504	1659,0	65	70	12	6-12	13,512	2353,7	80	85
13	5-13	10,296	1797,3	65	70	13	6-13	14,638	2549,9	85	90
14	5-14	11,088	1935,5	70	75	14	6-14	15,764	2746,0	85	90
15	5-15	11,880	2073,8	70	75	15	6-15	16,89	2942,2	85	90
16	5-16	12,672	2212,0	75	80	16	6-16	18,016	3138,3	90	95
17	5-17	13,464	2350,3	75	80	17	6-17	19,142	3334,4	90	95
18	5-18	14,256	2488,5	80	85	18	6-18	20,268	3530,6	95	105
19	5-19	15,048	2626,8	85	90	19	6-19	21,394	3726,7	95	105
20	5-20	15,840	2765,0	85	90	20	6-20	22,52	3922,9	100	110
21	5-21	16,632	2903,3	85	90	21	6-21	23,646	4119,0	105	115
22	5-22	17,424	3041,5	90	95	22	6-22	24,772	4315,2	110	120
23	5-23	18,216	3179,8	90	95	23	6-23	25,898	4511,3	110	120
24	5-24	19,008	3318,0	90	95	24	6-24	27,024	4707,5	110	120
25	5-25	19,800	3456,3	90	100	25	6-25	28,15	4903,6	110	120
26	5-26	20,592	3594,6	95	105	26	6-26	29,276	5099,7	115	130
27	5-27	21,384	3732,8	95	105	27	6-27	30,402	5295,9	115	130
28	5-28	22,176	3871,1	95	105	28	6-28	31,528	5492,0	120	135
29	5-29	22,968	4009,3	100	110	29	6-29	32,654	5688,2	120	135
30	5-30	23,760	4147,6	105	115	30	6-30	33,78	5884,3	130	145
31	5-31	24,552	4285,8	105	115	31	6-31	34,906	6080,5	130	145

Tabela 18: Características dos cabos de protensão aderentes, para aço CP190RB pós-tracionamento

OBSERVAÇÃO

¹ Peso nominal, conforme NBR7483:2004.

² Para a determinação da força de protensão, foram respeitados os limites de 0,74f_{ptk} e 0,82f_{pyk}, estabelecidos pela NBR6118:2003 e os valores mínimos de f_{ptk} e f_{pyk} indicados na Tabela 1, sendo:

f_{ptk} = carga de ruptura mínima;

f_{pyk} = carga a 1% de deformação mínima.

O QUE CONSIDERAR NO PROJETO

NICHOS DE PROTENSÃO VERTICAIS PARA $\alpha = 10^\circ$					
NÚMERO DE CORDOALHAS DE $\varnothing 12,7$ mm	2 e 3	4 a 7	8 a 12	13 a 22	23 a 31
NÚMERO DE CORDOALHAS DE $\varnothing 15,2$ mm	2 e 3	4 a 6	7 a 9	10 a 15	16 a 22
A (cm)	27,5	27,5	37,3	47,8	55,4
B (cm)	13,1	13,1	17,5	22,3	25,9
C (cm)	14,4	14,4	19,9	25,4	29,5
D (cm)	12,8	12,8	15,3	19,0	21,6
F (cm)	6,0	6,0	8,9	11,0	12,5
G (cm)	9,2	9,2	10,7	13,0	14,4
H (cm)	0,8	0,8	1,9	2,3	2,6
β (graus)	15°	15°	20°	20°	20°
U (cm)	12	14	18	25	27
V (cm)	16	19	27	37,5	40
W (cm)	15	18	25	25	27
X (cm)	18	19	27	37,5	40

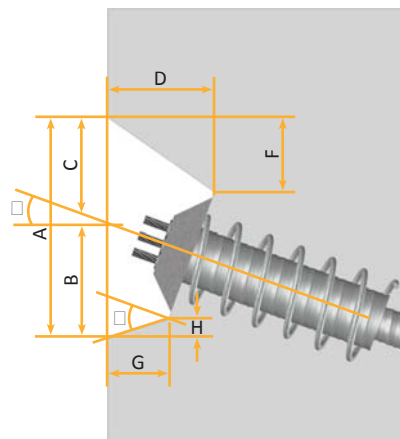


Imagem 43: Nicho de protensão vertical

Tabela 19: Nichos verticais e distâncias mínimas entre ancoragens

NICHOS DE PROTENSÃO HORIZONTAIS PARA $\alpha = 20^\circ$					
NÚMERO DE CORDOALHAS DE $\varnothing 12,7$ mm	2 e 3	4 a 7	8 a 12	13 a 22	23 a 31
NÚMERO DE CORDOALHAS DE $\varnothing 15,2$ mm	2 e 3	4 a 6	7 a 9	10 a 15	16 a 22
I (cm)	10,5	10,5	13,0	19,0	22,0
J (cm)	20,7	20,7	24,9	33,8	42,3
K (cm)	47,1	47,1	58,0	72,6	81,3
L (cm)	33,6	33,6	39,5	49,7	62,2
M (cm)	7,5	7,5	9,1	12,3	15,4
N (cm)	16,4	16,4	20,0	17,0	17,0
O (cm)	56,8	56,8	68,4	92,9	116,2
P (cm)	11,5	11,5	13,5	17,0	23,0
R (cm)	13,0	15,5	19,5	24,5	27,5
S (cm)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
T (cm)	10,5	13,0	17,0	22,0	25,0

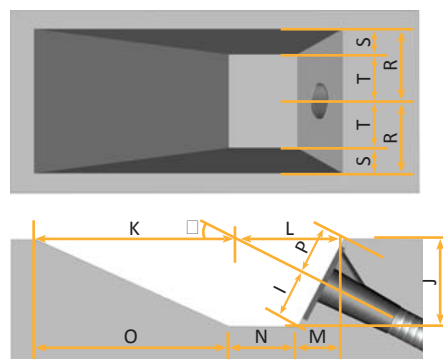


Imagem 44: Nicho de protensão horizontal

Tabela 20: Nichos horizontais

ESPAÇAMENTO MÍNIMO ENTRE ANCORAGENS

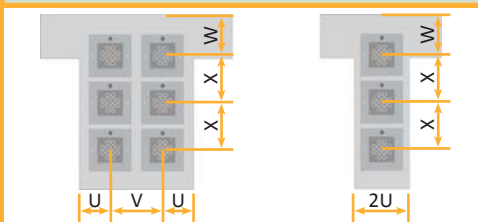


Imagem 45: Distância mínima entre ancoragens

ATENÇÃO!

- Os nichos indicados nas Tabelas 19 e 20 foram dimensionados para o equipamento Rudloff de protensão no caso de inclinações do cabo iguais a 10° e 20°, respectivamente. Para valores diferentes, deve-se consultar o catálogo eletrônico da Rudloff, disponível em www.rudloff.com.br
- As distâncias indicadas são mínimas e foram calculadas para $f_{ck}=25$ MPa.

O QUE CONSIDERAR NO PROJETO

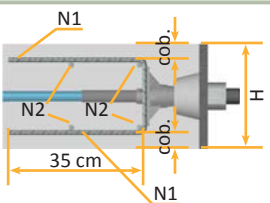
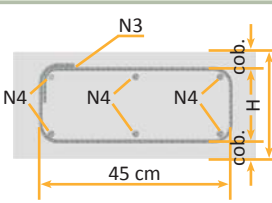
FRETAGEM DE LAJES TIPO "1"									
 <p>Imagem 46: Fretagem de lajes tipo "1", para cabos EL 5-1 e EL 6-1</p>	FRETAGEM TIPO "1" 5-1 6-1		 <p>Imagem 47: Fretagem de lajes tipo "1", para cabos EL 5-2 a 5-4 e EL 6-2 a 6-4</p>	FRETAGEM TIPO "1" 5-2 6-2 5-3 6-3 5-4 6-4					
	ØN1 (mm) 8,0 8,0 ØN2 (mm) 10,0 10,0 Tipo de Aço CA-50 CA-50	ØN3 (mm) 6,3 6,3 ØN4 (mm) 10,0 10,0 Tipo de Aço CA-50 CA-50							
OBS.: -N1: Uma barra entre cada cabo monocordoalha. -N2: Barras corridas ao longo da borda da laje. -N3: Uma barra a cada 20 cm, ao longo de toda a borda da laje. -N4: Barras corridas ao longo da borda da laje.									

Tabela 21: Fretagem de lajes tipo "1".

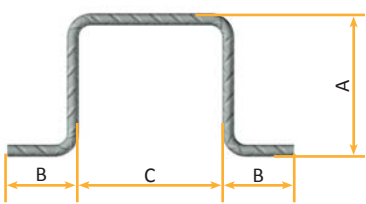
FRETAGEM DE LAJES TIPO "2"									
 <p>Imagem 48: Fretagem de lajes tipo "2"</p>	5-1		5-2	5-3	5-4	6-1	6-2	6-3	6-4
	A (cm)	12	12	14	14	12	12	14	14
B (cm)	6	6	8	8	6	6	8	8	
C (cm)	12	12	16	16	12	12	16	20	
Ø BARRA (mm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
COMP. UNIT. (cm)	48	48	60	60	48	48	60	64	
QUANTIDADE	2	2	4	4	2	2	4	4	
TIPO DE AÇO	CA-50				CA-50				

Tabela 22: Fretagem de lajes tipo "2".

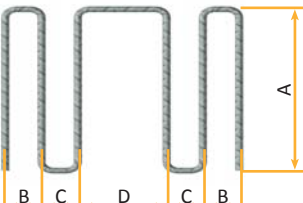
FRETAGEM TIPO "M"							
 <p>Imagem 49: Fretagem tipo "M"</p>	5-4		5-6	5-7	6-3	6-4	6-6
	A (cm)	24	29	29	42	42	42
B (cm)	0	4,5	4,5	8	8	8	
C (cm)	8	4,5	4,5	7	7	7	
D (cm)	8	11	11	12	12	12	
Ø BARRA (mm)	10,0	10,0	10,0	12,5	12,5	12,5	
COMP. UNIT. (cm)	110	191	191	276	276	276	
QUANTIDADE	4	4	4	4	4	4	
TIPO DE AÇO	CA-50			CA-50			

Tabela 23: Fretagem tipo "M".

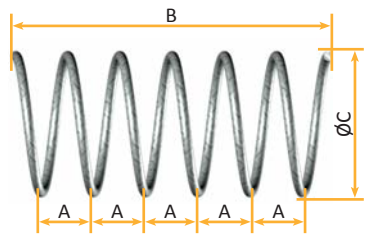
FRETAGEM TIPO "ESPIRAL"																					
 <p>Imagem 50: Fretagem tipo "Espiral"</p>	5-4		5-6	5-7	5-8	5-9	5-12	5-19	5-22	5-27	5-31	6-3	6-4	6-6	6-7	6-8	6-9	6-12	6-15	6-19	6-22
	A (cm)	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7
B (cm)	25	30	30	35	35	35	42	49	56	56	25	30	30	35	35	35	49	49	49	56	
Ø C (cm)	14	19	19	22	22	25	31	31	40	42	14	19	20	25	25	25	31	31	40	42	
Nº DE VOLTAS	5	6	6	7	7	7	6	7	8	8	5	6	6	7	7	7	7	7	7	8	
Ø BARRA (mm)	10,0	10,0	10,0	12,5	12,5	12,5	16,0	16,0	16,0	16,0	10,0	10,0	10,0	12,5	12,5	12,5	16,0	16,0	16,0	16,0	
COMP. UNIT. (cm)	220	360	360	484	484	550	585	682	1006	1056	220	360	380	550	550	550	682	682	1006	1056	
TIPO DE AÇO	CA-50										CA-50										

Tabela 24: Fretagem tipo "Espiral".

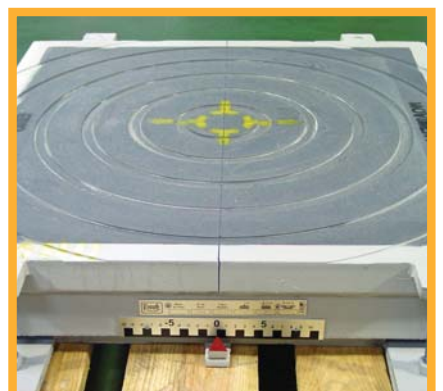
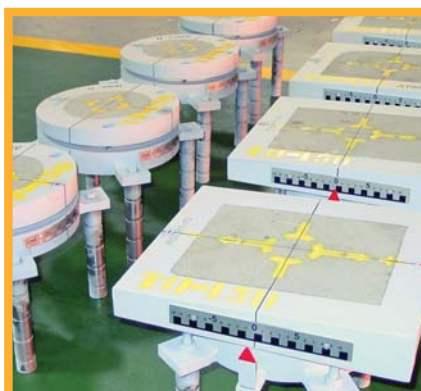
O QUE MAIS A RUDLOFF FAZ



USINAGEM MECÂNICA PARA FINS DIVERSOS



EMENDAS PARA BARRAS DE AÇO



APARELHOS DE APOIO



São Paulo - SP:

Rua Bogaert, 64 - Vila Vermelha - CEP 04298-020

TEL.: (11) 2083-4500 - FAX: (11) 2947-7773

Curitiba - PR:

Rua Padre Antônio, 247 - Alto da Glória - CEP 80030-100

TEL. / FAX: (41) 3262-8383 - curitiba@rudloff.com.br

www.rudloff.com.br