



AFTHAP
Associação de Fabricantes de tubagens em betão
pré-esforçado e Pretensão

Cálculo de tubos de betão armado e pós-esforçado programa AFTHAP 2009



ÍNDICE

1.	<u>INTRODUÇÃO</u>	4
1.1	O PROGRAMA	4
1.2	UTILIZAÇÃO DA AJUDA	6
2.	<u>INICIAR O CÁLCULO</u>	10
3.	<u>TUBOS DE BETÃO ARMADO COM REVESTIMENTO METÁLICO</u>	21
3.1	EQUILÍBRIO ENTRE ARMADURAS INTERIOR E EXTERIOR	22
3.2	ARMADURA EXTERIOR	24
3.3	REVESTIMENTO E ESPIRAS	24
3.4	ESPESSURA MÁXIMA DO REVESTIMENTO METÁLICO	24
4.	<u>RESISTÊNCIA E SEGURANÇA</u>	25
4.1	BETÃO À COMPRESSÃO	25
4.2	BETÃO À TRACÇÃO	25
4.3	LIMITE DE ELASTICIDADE DO AÇO	25
4.4	TENSÃO DE CÁLCULO DO AÇO	25
5.	<u>TIPO DE COLOCAÇÃO</u>	26
6.	<u>DIMENSÕES DO TUBO</u>	27
6.1	DIÂMETRO INTERIOR	27
6.2	ESPESSURA	27
6.3	REVESTIMENTO EXTERIOR	27
6.4	DENSIDADE	27
7.	<u>CAMA E ENCHIMENTO</u>	28
7.1	TIPO DE APOIO	28
7.2	TIPO DE COLOCAÇÃO	30
7.3	ALTURA DE ENCHIMENTO	31
7.4	LARGURA DE VALA	34
7.5	CARACTERÍSTICAS DO ENCHIMENTO	34
8.	<u>CARGA VERTICAL TOTAL</u>	35
9.	<u>CARGAS CONCENTRADAS</u>	36
10.	<u>VALA TERRAPLENADA</u>	37
11.	<u>ATERRO</u>	38
12.	<u>TUBOS DE BETÃO PÓS-ESFORÇADO</u>	39
12.1	BETÃO PÓS-ESFORÇADO COM REVESTIMENTO METÁLICO EMBEBIDO	40
12.2	BETÃO PÓS-ESFORÇADO REVESTIDO COM TUBO CILÍNDRICO	



	DE AÇO	41
13.	<u>CÁLCULO DE TUBOS PÓS-ESFORÇADOS</u>	42
13.1	MÓDULOS DE ELASTICIDADE	42
13.2	ESPESSURA DO REVESTIMENTO METÁLICO	42
13.3	RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS	43
	13.3.1 <u>Do primário à colocação de cintas</u>	43
	13.3.2 <u>Do primário ao final</u>	43
	13.3.3 <u>Do revestimento</u>	44
13.4	TENSÕES	44
	13.4.1 <u>Tensão de rotura do arame de pré-esforçar</u>	44
	13.4.2 <u>Tensão aplicada ao dar tensão</u>	44
	13.4.3 <u>Relaxamento</u>	45
13.5	COEFICIENTES	46
14.	<u>CÁLCULO E IMPRESSÃO DE RESULTADOS</u>	47
15.	<u>CÁLCULO HIDRÁULICO</u>	51
16.	<u>MEDIDAS DE PROTECÇÃO</u>	55



1.- INTRODUÇÃO

Na presente jornada, vamos tentar explicar como calcular um tubo de pressão de betão armado ou pós-esforçado com o programa da AFTHAP, versão 2009.

Em primeiro lugar, peço desculpa aos especialistas, pois uma grande parte da minha intervenção soar-lhes-á elementar e obviamente conhecida, mas pareceu-me oportuno abordar esta apresentação para principiantes e não para especialistas, aos quais, por outro lado, pouco posso ensinar.

1.1 O PROGRAMA



Em 1992, foi homologado pela AFTHAP como programa comum a todas as empresas da associação e começou a ser repartido de forma gratuita a clientes, empresas e projectistas.

Em 1994, com motivo de um jornada semelhante a esta, o programa, com algumas modificações de formato foi entregue como programa de MOPU - CEDEX - AFTHAP.

Nas jornadas de 2000, renovou-se totalmente a entrada de dados adaptando-a às



vantagens do sistema Windows e, apesar das subrotinas de cálculo serem as mesmas do antigo programa, com ligeiras correcções de pormenor, está pois mais do provado durante mais de 20 anos.

Em 2009, o programa é totalmente revisto para o adaptar à norma europeia de tubos, normas UNE-EN 639 (prescrições comuns), 641 (tubo de betão armado com revestimento metálico) e 642 (tubo de betão pós-esforçado com revestimento metálico).

Introduziram-se novidades importantes, tanto em cálculos como em listagens de saída.

- Os intervalos de cálculo de pressões podem ser diferentes para cada troço, ou então, pode-se dar uma pressão por defeito a aplicar se não se define pressão de troço.

- Os intervalos de cálculo de alturas de terra podem ser diferentes para cada troço, ou então pode dar-se uma altura ou intervalo por defeito, a aplicar se não se definem valores específicos de troço.

- O método de cálculo e as hipóteses de acções seguem as citadas normas europeias UNE-EN 639, 641 e 642.

- Cumrem-se também as prescrições da Instrução Eduardo Torroja, edição 2007, uma vez que esta edição é compatível com a norma europeia.

- Incluem-se dois métodos novos para o cálculo hidráulico e para a protecção anticorrosão.

- Inclui-se uma memória técnica e uma proposta de caderno de prescrições.

- Incluem-se novas línguas de utilização da aplicação e de listagens de saída.

- O programa permite escolher o sistema de unidades SI ou mks



1.2 UTILIZAÇÃO DA AJUDA

Ao entrar no menu de ajuda, aparecem várias possíveis escolhas:

- < Índice da ajuda
- < Acerca do programa
- < Aviso
- < Memória técnica



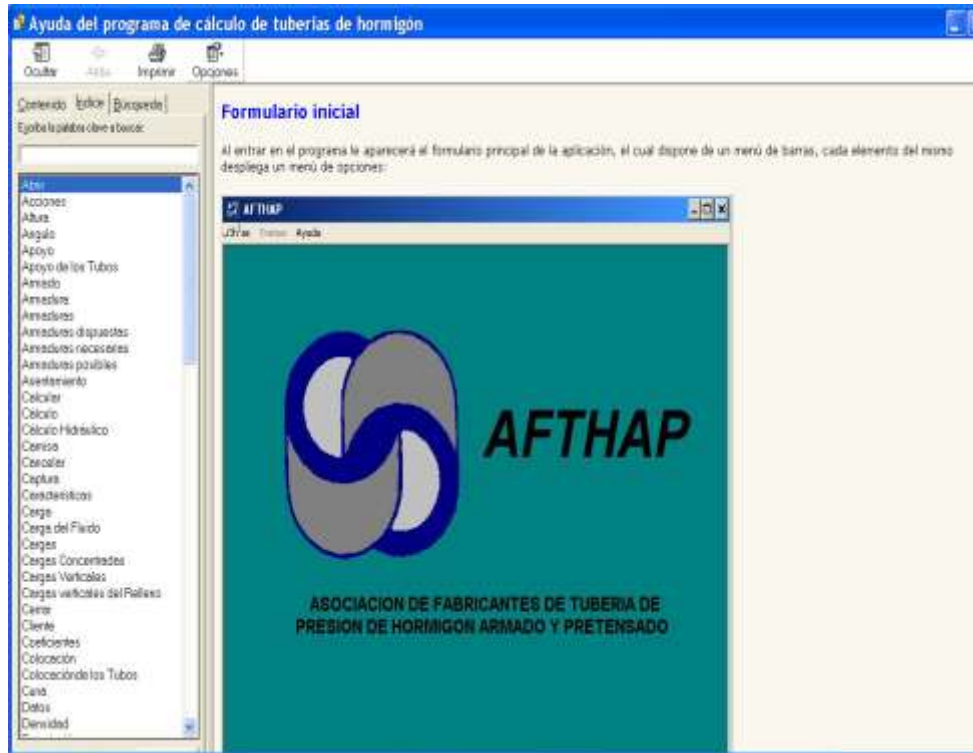


Carregando em *Acerca del Programa*, obtém-se o ecrã seguinte:



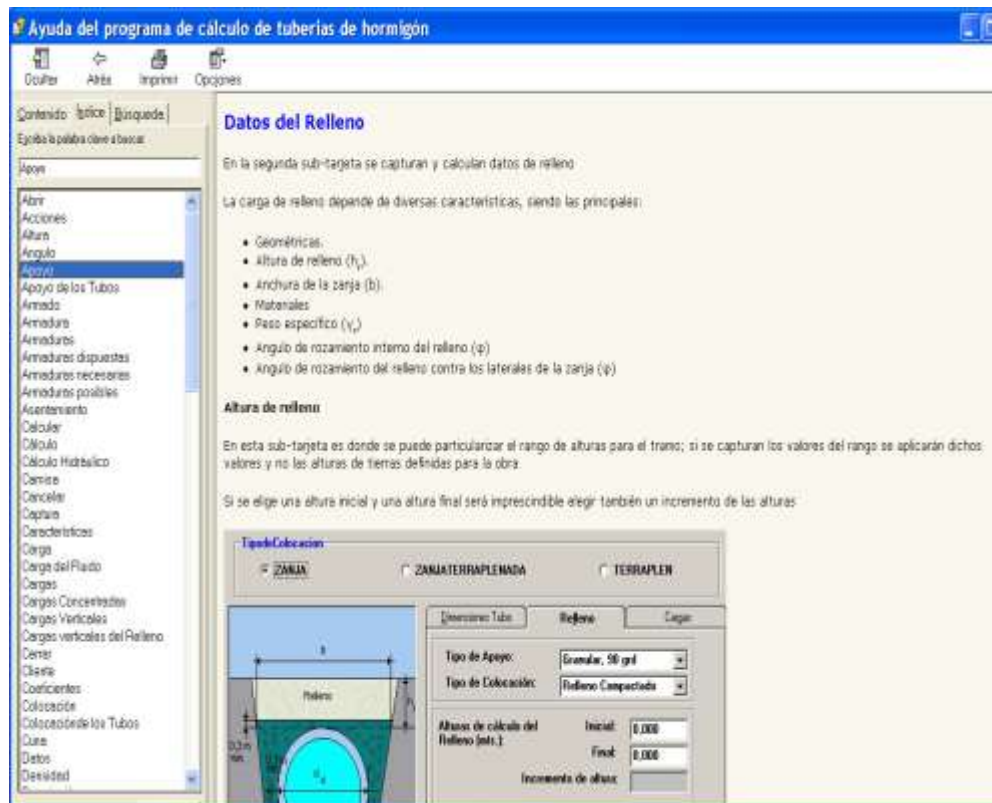
Este ecrã serve para saber que programa estamos a usar e para preencher as memórias de anexo de cálculo, nas quais os controladores de qualidade insistem que ponhamos em que programa e versão o tubo é calculado.

Se carregarmos na aba *Índice de la ayuda* obtemos:



Onde temos um índice de assuntos e a possibilidade de procurar por palavras-chave.

Ao carregar num assunto específico, chega-se à página correspondente do manual.



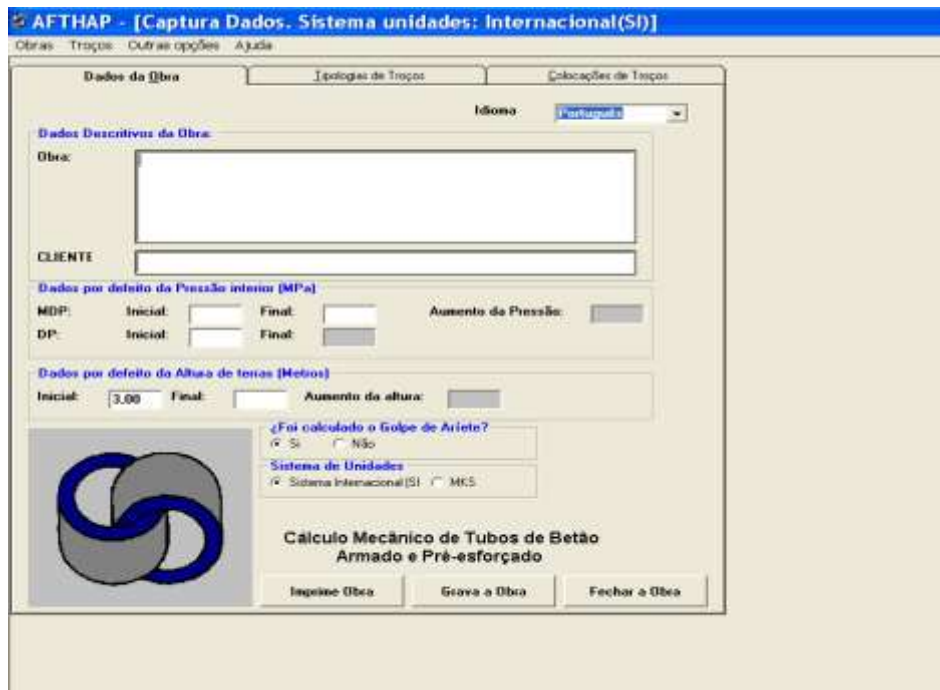


INICIAR O CÁLCULO

O programa oferece-nos a possibilidade de abrir uma obra previamente guardada ou de iniciar uma nova obra.



Se escolhermos *Nueva Obra*, obtemos



Os dados descritivos de obra e cliente aparecerão nas listagens e podem deixar-se em branco.

Neste ecrã, podemos escolher a língua (que se manterá em sucessivas entradas no programa até a mudarmos), bem como o sistema de unidades, internacional ou mks.

Tanto a língua como o sistema de unidades, afectam tanto os ecrãs do programa como a entrada de dados e a saída dos resultados.

Podemos alterar a língua e o sistema de unidades de uma obra já introduzida. Para alterar o sistema de unidades é preciso gravar a obra, fechar e voltar a abrir, uma vez que esta alteração só se pode fazer a partir do ecrã inicial e fica bloqueada quando começamos a introduzir dados de troço.



O dado seguinte a preencher, é a *pressão de cálculo*:

AFTHAP - [Captura Dados. Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

Dados da Obra Tipologias de Troços Colocações de Troços

Idioma Português

Dados Descritivos da Obra:

Obra:

CLIENTE

Dados por defeito da Pressão interior (MPa)

MDP: Inicial: 1,50 Final: 1,70 Aumento da Pressão: 0,10

DP: Inicial: 1,36 Final: 1,55

Dados por defeito da Altura de terras (Metros)

Inicial: 3,00 Final: 3,00 Aumento da altura:

Foi calculado o Golpe de Aríete?

Sim Não

Sistema de Unidades

Sistema Internacional (SI) MKS

Cálculo Mecânico de Tubos de Betão Armado e Pré-esforçado

Imprime Obra Grava a Obra Fecha a Obra

Estes dados são gerais e funcionam como valores por defeito para todos os troços; posteriormente, troço a troço, podem-se introduzir valores específicos para o troço considerado.

Como vemos, é preciso introduzir pressões iniciais de cálculo, pressões finais e, no caso de ambas não coincidirem, um incremento de cálculo.

Se não se preenche DP, o programa considera por defeito que MDP é igual a 1,1 vezes DP. Analogamente à pressão, definem-se neste ecrã valores por defeito de alturas de terra e incremento no caso de o valor inicial e final não coincidirem. Refere-se sempre a altura de enchimento sobre a geratriz superior do tubo.

A pressão de cálculo varia consoante a norma que estivermos a empregar ou a hipótese que considerarmos. Nas figuras 1.1 e 1.2 representaram-se os vários estados de pressão de funcionamento ou cálculo, incluindo os definidos na norma europeia.

Nas normas AWWA, as sobrepensões acidentais e o golpe de aríete (choque hidráulico) englobam-se dentro dos coeficientes de segurança e, portanto, a pressão de concepção é pressão máxima sem incluir sobrepensões, salvo que o golpe de aríete tenha



sido calculado especificamente e tenha um valor superior ao que é estimado pela norma. As várias combinações definidas de pressão / altura de terra geram uma tabela que o programa irá calculando.

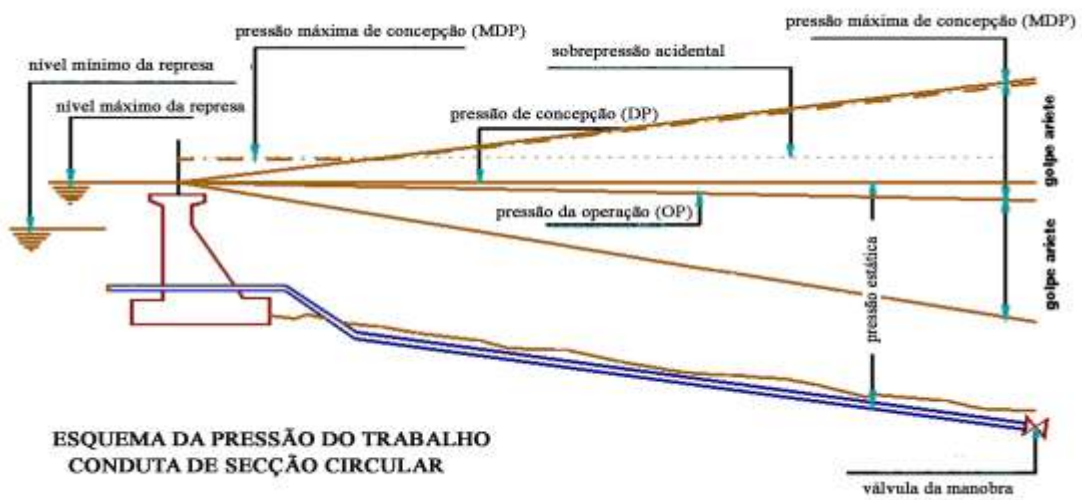
Além disso, aparecem famílias de hipóteses adicionais, definidas nas normas, combinando pressões de concepção com cargas móveis e pressões máximas sem cargas móveis.

O programa gera automaticamente condições adicionais definidas nas normas para teste de rede (teste na vala), teste na fábrica e, no caso de pós-esforçado, condições transitórias de fabrico e/ou uso.

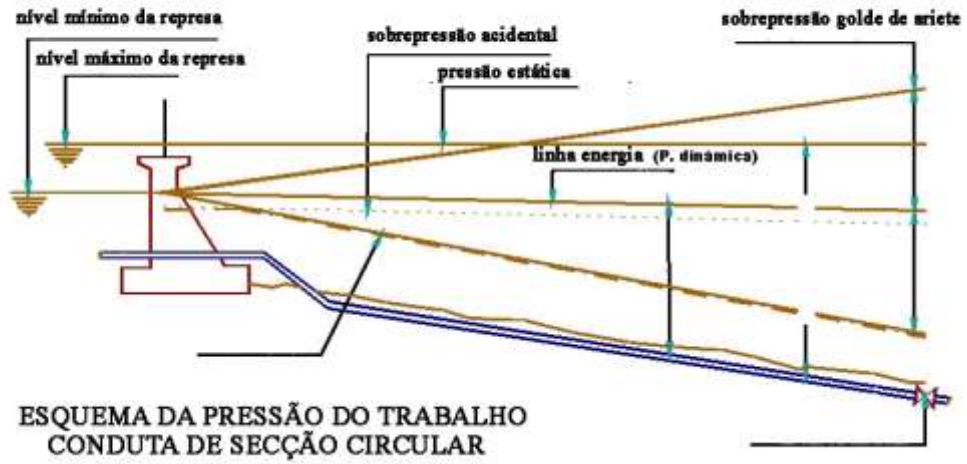
Para o teste de rede, é gerada uma hipótese adicional de 1 m de terra de enchimento, independentemente das alturas de terra definidas no ecrã de dados.



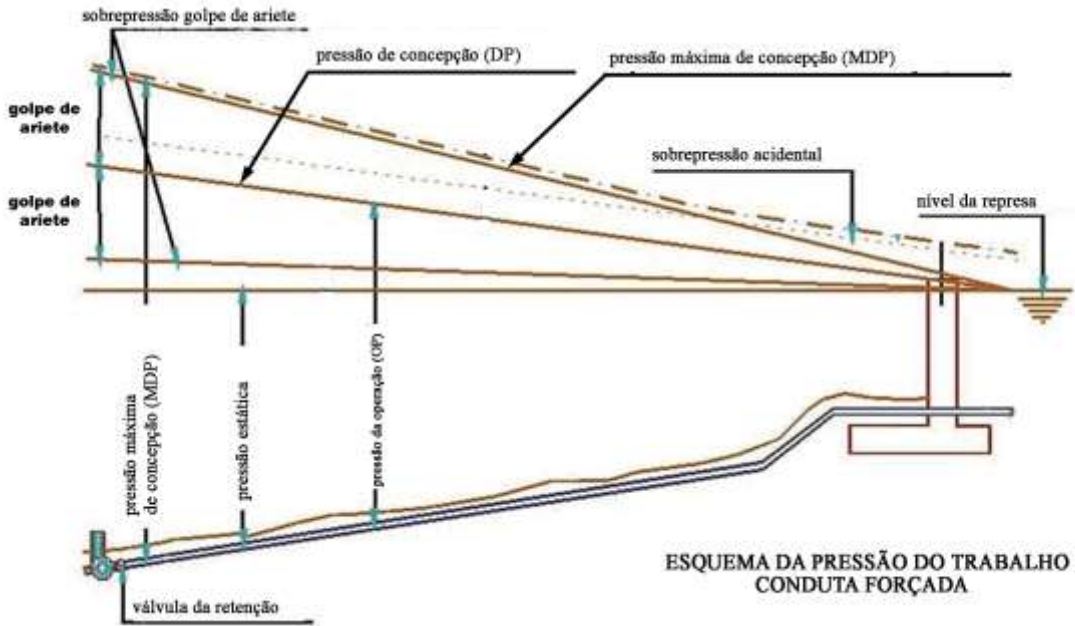
Envolvente de pressões máximas, conduta de secção circular



Envolvente de pressões mínimas, conduta de secção circular



Envolvente de pressões máximas, conduta forçada





Pressão dinâmica

É a cota na extremidade de montante da conduta menos a perda de carga, para o caudal de cálculo. Corresponde à cota que a água alcançaria num tubo piezométrico, em funcionamento normal, passando o caudal de cálculo pela conduta.

Pressão estática

É a cota máxima da água no reservatório de montante ou jusante. Corresponde à cota que a água poderá alcançar num tubo piezométrico quando o caudal circulante é zero (perda de carga nula). No esquema de conduta de secção circular, alcança-se esta pressão quando a válvula final se fecha; no esquema de impulsão, alcança-se quando se pára o bombeamento e a válvula de retenção actua.

Sobrepessão acidental

No enchimento de tubagens e no funcionamento normal, geram-se ligeiras sobrepressões, geralmente devidas ao ar ocluso. Um funcionamento correcto das ventosas reduz enormemente esta sobrepressão. A sobrepressão acidental não é um valor calculável e geralmente emprega-se um coeficiente de segurança ou um valor de sobrepressão para ter em conta o seu efeito no tubo.

Sobrepessão por golpe de aríete

Ocorre ao aplicar uma mudança de regime de caudal, no caso da conduta de secção circular ao fechar a válvula, no caso de impulsão ao deter o bombeamento.

A sobrepressão por golpe de aríete é maior quanto mais longa for a conduta e quanto mais brusca for a manobra de mudança de regime.

No caso de conduta de secção circular pode reduzir-se a valores ínfimos empregando válvulas de fecho lento ou dispositivos que prolonguem a manobra de fecho (by-pass com válvula de pequeno diâmetro).

No caso de bombeamento com válvula de retenção, a manobra de fecho é sempre brusca, embora a sobrepressão possa ser reduzida com caldeiras anti-aríete ou chaminés de equilíbrio

Em qualquer caso, a pressão máxima pode ser limitada com válvulas de alívio de pressão.

Pressão de concepção, *DP* (Design Pressure):

Pressão máxima de funcionamento (em regime permanente) da rede ou da zona de pressão, fixada pelo projectista, considerando futuras ampliações mas excluindo o golpe de aríete.



Pressão máxima de concepção, *MDP* (Maximum Design Pressure):

Pressão máximo de funcionamento da rede ou da zona de pressão, fixada pelo projectista, considerando futuras ampliações e incluindo o golpe de aríete; designa-se por *MDPa* quando se fixar previamente o golpe de aríete admitido, e *MDPc* quando o golpe de aríete for calculado.

Pressão de teste de rede, *STP* (System Test Pressure):

Pressão hidrostática aplicada a uma conduta recentemente instalada por forma a assegurar a sua integridade e estanquidade. A pressão de teste da rede é calculada a partir da pressão máxima de concepção (*MDP*), conforme o definido no artigo 59.2.2 da IET 2007. Pressão de teste.

Pressão de funcionamento, *OP* (Operating Pressure):

Pressão interna que surge num momento dado num determinado ponto da rede de abastecimento de água.

Pressão de serviço, *SP* (Service Pressure):

Pressão interna no ponto de ligação à instalação do consumidor, com caudal nulo na derivação.

Pressão de funcionamento admissível, *PFA*:

Pressão hidrostática máxima que um componente é capaz de suportar de forma permanente em serviço.

Pressão máxima admissível, *PMA*:

Pressão máxima, incluindo o golpe de aríete, que um componente é capaz de suportar em serviço.

Pressão de teste admissível em obra, *PEA* (*Pression d'Épreuve Admissible sur Chantier/Allowable Site Test Pressure*):

Pressão hidrostática máxima que um componente recém-instalado em obra é capaz de suportar durante um período de tempo relativamente curto, com o objectivo de garantir a integridade e estanquidade da conduta.

Pressão de teste em fábrica, *PP*:

Pressão hidráulica aplicada durante um período de tempo relativamente breve a um tubo a fim de verificar a sua integridade, estanquidade e/ou concepção.



Pressão mínima

É a envolvente mínima dos valores descritos anteriormente. Deve-se comprovar que a pressão mínima é sempre maior do que zero, ou seja, a linha de energia não deve cortar a conduta em nenhum caso. Se a pressão se aproximar de zero, ocorre cavitação, o fornecimento corta-se e elementos como peças, juntas ou o próprio tubo podem ficar seriamente danificados.

A pressão máxima pode e deve ser reduzida o máximo possível, empregando os vários sistemas de segurança disponíveis.

As sobrepensões de enchimento e de funcionamento reduzem-se enormemente com uma boa disposição de ventosas nos pontos elevados e um correcto dimensionamento e funcionamento das mesmas.

Nas condutas de secção circular, o golpe de aríete pode ser reduzido a valores quase nulos aplicando válvulas de fecho lento e/ou criando ponte na válvula com uma conduta de pequeno diâmetro, com válvula encravada que realize o fecho final. Em condutas de impulsão, o golpe por paragem brusca das bombas não pode ser evitado mas pode ser reduzido colocando as bombas em turbina, se tal for possível, ou, o que é mais frequente, por meio de caldeiras anti-aríete ou chaminés de equilíbrio.

No que diz respeito ao intervalo, este também é um dado importante a ter em consideração ao projectar uma conduta; o tubo deve ser calculado para o valor mais alto do intervalo escolhido, portanto, se escalonarmos o salto com muita diferença, estaremos a encarecer desnecessariamente a obra, ao passo que se utilizarmos intervalos muito pequenos poderemos chegar ao absurdo de não haverem dois tubos seguidos iguais. Uma norma de boa prática pode ser a de escalonar ao máximo sempre que não fiquem menos de 6 tubos seguidos iguais.



Uma vez definida a obra, passa-se à introdução dos dados troço a troço. Também se pode modificar um troço já introduzido.

Na actual versão, em cada troço pode-se redefinir o intervalo de pressões de cálculo, definido no ecrã inicial. Obra. Os valores dados no ecrã obra permanecem como valores por defeito para os troços, mas se se preencherem as quadrículas de pressões de cálculo num ou vários troços, estes valores prevalecem relativamente ao geral para esse ou esses troços.

Os troços novos podem basear-se ou não nos do último troço introduzido (captura de troço). Por defeito, o programa captura sempre o troço anteriormente introduzido e para limpar os dados do troço é preciso carregar em **cancelar captura**.

AFTHAP - [Captura Dados (Alta de Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

Novo Troço Ctrl+N
Cancelar Captura Ctrl+K
Gravar o Troço Ctrl+S
Calcular o Troço Ctrl+T
Personalizar Armaduras Ctrl+R

Estratégias de Troços Colocações de Troços

Pres. Interior (DP) (MPa) Inicial: Final: Aumento da Pressão:

Betão Armado Betão Pós-tensionado

¿ Fija el valor Máximo de la Armadura Exterior ?

Tipo de Controlo

Indicador de Espessura máxima (mm.)

Resistências (MPa)

Característica do betão à compressão (35)	<input type="text"/>
Característica del hormigón a tracción	<input type="text"/>
Limite elástico do aço (210)	<input type="text"/>
De cálculo do aço (2/3 LE)	<input type="text"/>

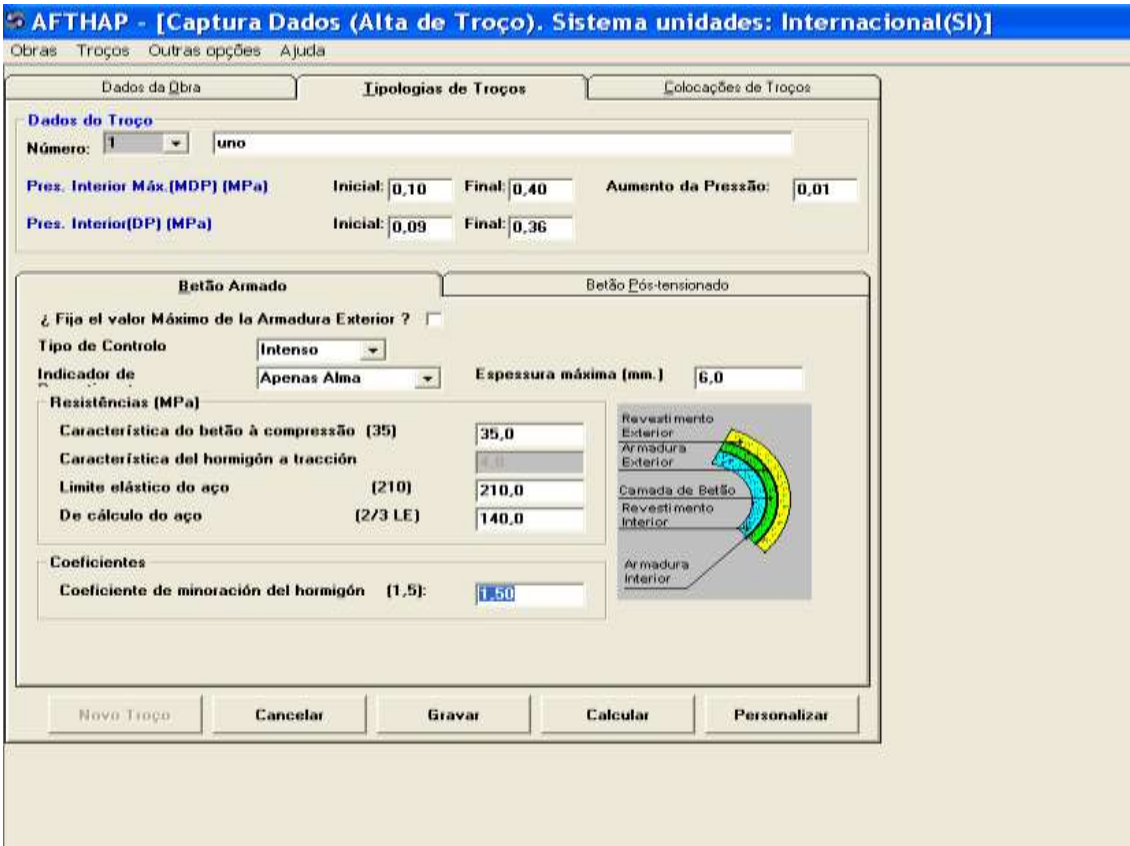
Coeficientes

Coeficiente de minoración del hormigón (1,5):

Revestimento Exterior
Armadura Exterior
Camada de Betão
Revestimento Interior
Armadura Interior

Novo Troço Cancelar Gravar Calcular Personalizar

3.- TUBOS DE BETÃO ARMADO COM REVESTIMENTO METÁLICO



The screenshot shows the 'AFTHAP - [Captura Dados (Alta de Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]' window. It features three tabs: 'Dados da Obra', 'Tipologias de Troços', and 'Colocações de Troços'. The 'Dados do Troço' section includes fields for 'Número' (set to 1), 'Pres. Interior Máx. (MDP) (MPa)' (Initial: 0,10, Final: 0,40, Aumento da Pressão: 0,01), and 'Pres. Interior(DP) (MPa)' (Initial: 0,09, Final: 0,36). Below this, there are two sub-sections: 'Betão Armado' and 'Betão Pós-tensionado'. The 'Betão Armado' section has a checkbox '¿ Fija el valor Máximo de la Armadura Exterior ?' (unchecked), a 'Tipo de Controlo' dropdown (Intenso), an 'Indicador de' dropdown (Apenas Alma), and an 'Espessura máxima (mm.)' field (6,0). It contains a table of resistances (MPa) and coefficients. The 'Betão Pós-tensionado' section is currently empty. A diagram on the right shows a cross-section of a pipe with layers: 'Revestimento Exterior', 'Armadura Exterior', 'Camada de Betão', 'Revestimento Interior', and 'Armadura Interior'. At the bottom, there are buttons for 'Novo Troço', 'Cancelar', 'Gravar', 'Calcular', and 'Personalizar'.

Resistências (MPa)	
Característica do betão à compressão (35)	35,0
Característica del hormigón a tracción	4,0
Limite elástico do aço (210)	210,0
De cálculo do aço (2/3 LE)	140,0

Coeficientes	
Coeficiente de minoración del hormigón (1,5):	1,50

Estes tubos são constituídos por duas armaduras, das quais uma delas, geralmente a interior, é total ou parcialmente constituída por um revestimento metálico de aço.

É possível personalizar as armaduras, quer escolhendo uma das soluções propostas quer definindo totalmente uma determinada. Esta opção é particularmente útil para verificar um cálculo existente ou para equilibrar as armaduras entre face interior e exterior.



3.1 EQUILÍBRIO ENTRE ARMADURAS INTERIOR E EXTERIOR

O cálculo do tubo é feito pelo método clássico considerando o betão totalmente fissurado.

Salvo que limitemos o valor máximo da armadura exterior, o programa calcula com armadura simétrica. Esta disposição da armadura é válida e é a de menor peso, mas não é a única possível e, dependendo do sistema de fabrico, pode não ser a solução mais económica; pode-se reduzir o valor de uma das armaduras aumentando a outra.

Quando se tiver definido a solução escolhida, o programa comprova a sua validade apresentando as armaduras necessárias e dispostas em chave, em cintas e sapata. No caso de, nalgumas secções, a armadura colocada ser menor do que a necessária, surge um semáforo vermelho a avisar de tal circunstância.

O aviso tem carácter de advertência; no entanto, o programa aceita a solução **apesar da armadura ser inferior à necessária**, o que não será admissível de acordo com o critério do técnico que calcula o tubo. Esta opção de personalização de armaduras deve ser usada com prudência e não a recomendamos em absoluto a utilizadores com pouca experiência, salvo para fins de verificação.



Carregando nas setas que surgem ao lado da quadrícula de pressão de cálculo, pode-se ir percorrendo as várias pressões de cálculo definidas para o troço.

As armaduras personalizadas passam a fazer parte integrante e aparecerão nas listagens de saída, substituindo as calculadas pelo programa enquanto não variarmos os dados básicos que afectam a armadura calculada.

Neste mesmo ecrã, acrescentou-se uma entrada para a verificação da mudança de revestimento; esta opção é importante se estivermos a explorar soluções com armadura em várias camadas (recordemos que o programa trabalha com revestimentos mecânicos e não físicos).

Se utilizarmos esta subrotina, aparecerá um aviso indicando que é válida apenas como sondagem, ou seja, o novo revestimento **não ficará agregado ao ficheiro**. Se quisermos efectivamente alterar o revestimento, deveremos fazê-lo no ecrã de definição de características geométricas do tubo.



3.2 ARMADURA EXTERIOR

A armadura exterior pode ficar bloqueada com um valor fixo que não será ultrapassado, sempre à custa de aumentar a armadura interior.

Esta opção é muito interessante para evitar aplicar 2 camadas de armadura exterior. O programa faz saber através de uma mensagem de aviso quando o valor máximo de uma camada de redondos de 12 mm é ultrapassado.

3.3 REVESTIMENTO E ESPIRAS

Podemos escolher uma armadura interior composta apenas por revestimento metálico ou por tubo cilíndrico mais espiras.

A Instrução do Instituto Eduardo Torroja e o programa não distinguem uma armadura da outra, mas a AWWA permite tensões de cálculo mais elevadas quando se utiliza uma combinação de chapa e espiras, e a norma europeia permite que se calcule a plasticidade levando cada aço ao limite admissível, consoante a sua resistência.

3.4 ESPESSURA MÁXIMA DO REVESTIMENTO

O programa permite bloquear este valor, o que pode ser interessante devido à disponibilidade de chapas, às dificuldades de dobragem dependendo do diâmetro ou às restrições de fabrico.



4.- RESISTÊNCIAS E SEGURANÇA

Por defeito, o programa introduz os valores que eram habituais para estes parâmetros na antiga norma; com a nova norma, terão de se alterar as hipóteses de cálculo e os valores por defeito.

4.1 BETÃO À COMPRESSÃO

Costumam-se utilizar resistências elevadas. Dada a excelente qualidade do betão, para obter uma compactação adequada, os valores muito elevados são absolutamente normais.

O programa adopta por defeito 35 Mpa (350 kp/cm²) que se trata de um valor conservador para o habitual betão em tubo.

4.2 BETÃO À TRACÇÃO

É um campo calculado, resultado da resistência à compressão, de acordo com a norma do betão.

4.3 LIMITE DE ELASTICIDADE DO AÇO

Utiliza por defeito 210 Mpa (2100 kp/cm²)

4.4 TENSÃO DE CÁLCULO DO AÇO

A tensão do aço não deve ultrapassar nas hipóteses de cálculo 2/3 do limite elástico. A utilização e consideração no cálculo de limites elásticos superiores a 140 Mpa (1400 kp/cm²) correspondentes a limites elásticos de 210 Mpa (2100 kp/cm²) deverá ser devidamente justificada. Se se introduzir um valor maior, o programa gera uma mensagem de aviso.

No caso do betão pós-esforçado, devem-se cumprir uma série de condições que assegurem a compressão residual do núcleo de 0,5 ou 0 Mp de acordo com a hipótese considerada, e não se deverão ultrapassar os valores admissíveis de tensões nos materiais durante as fases intermédias, antes de se terem desenvolvido todas as perdas de tensão do aço.

O programa efectua todas estas comprovações de forma interna, dimensionando a seguir a armadura ou gerando uma mensagem de erro se for necessário.

As combinações de cálculo a ter em consideração são:

- Pressão máxima de concepção MDP + cargas fixas
- Pressão de concepção DP + cargas fixas + cargas móveis
- Pressão de teste em fábrica PP
- Pressão de teste de rede STD + cargas fixas correspondentes a 1 m de terra em chave
- Uma combinação de cargas fixas e móveis sem pressão (tubo vazio)

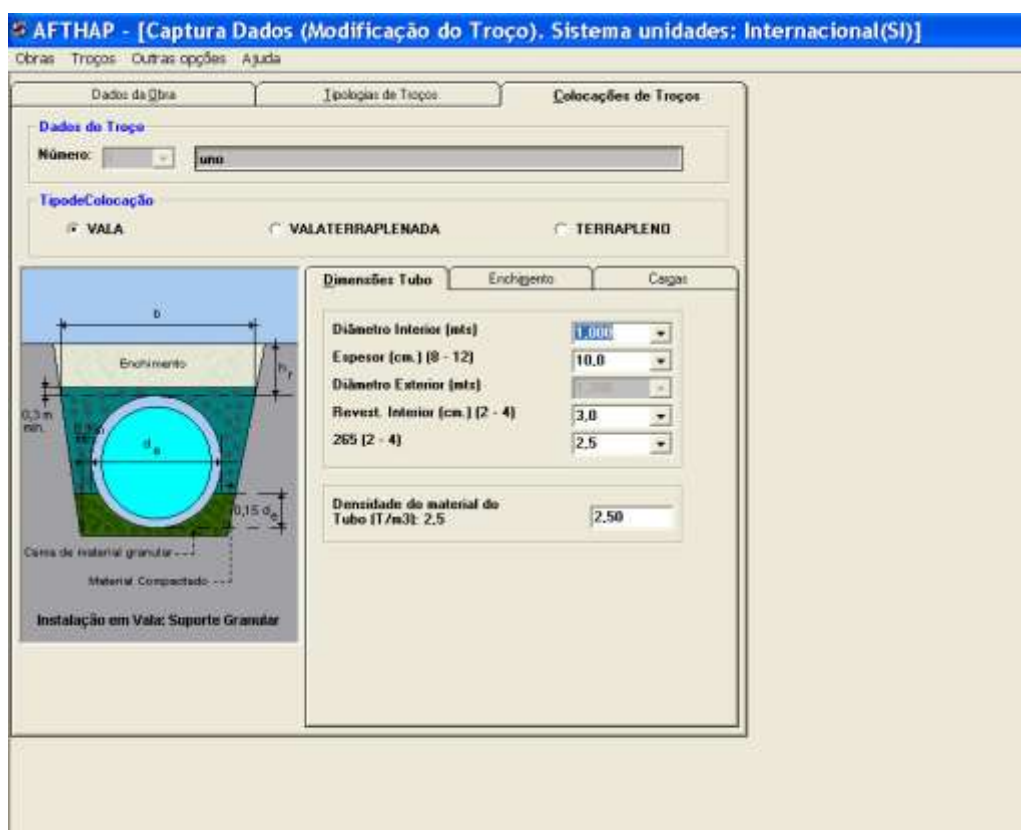
5.- TIPO DE COLOCAÇÃO

O programa distingue três casos:

- < Vala
- < Vala terraplenada
- < Aterro

Seguindo a Instrução do Instituto Torroja, a cada uma delas corresponde uma formulação diferente das cargas de terra.

Vendo as figuras que se seguem, que são as mesmas que aparecem no ecrã ao calcular, a diferença entre os três casos é evidente.





6. DIMENSÕES DO TUBO

6.1 DIÂMETRO INTERIOR

É a magnitude que define os tubos de betão armado com revestimento metálico.

O programa oferece como escolha a lista dos diâmetros comerciais, que é mais ou menos a mesma que tipifica a norma europeia; não obstante, para casos especiais, podem-se introduzir à mão valores não tipificados.

6.2 ESPESSURA

O programa oferece um valor razoável por defeito e apresenta no ecrã um intervalo recomendado de valores, não obstante, em princípio são válidos outros valores e não existe uma espessura óptima, que em geral dependerá da tipificação do fabricante e dos conjuntos de ferramentas de que disponha.

6.3 REVESTIMENTO EXTERIOR

O programa adopta um valor por defeito que corresponde ao revestimento recomendável para um tubo enterrado em condições normais. Em casos especiais pode ser reduzido desde que se proporcione uma protecção passiva adicional, como é o caso de uma pintura.

6.4 DENSIDADE

O programa utiliza por defeito o valor habitual de 2'5 t/ m³.



7.- CAMA E ENCHIMENTO

7.1 TIPO DE APOIO

Os tubos devem descansar sobre um apoio adequado, geralmente uma cama de areia, de material granular ou de betão.

O tipo de apoio influencia enormemente sobre os esforços que o tubo irá suportar. (Ver figura 5-1).

O apoio, seja do tipo que for, deve adaptar-se perfeitamente ao tubo para repartir verdadeiramente as forças de reacção.

No caso de apoios granulares, basta não os compactar excessivamente para que o próprio peso do tubo consiga uma adaptação correcta.

No caso de apoios de betão, pontuais ou contínuos, o tubo é nivelado através de apoios provisórios de madeira e posteriormente enche-se com betão a zona de cama prevista no projecto.

Para dar uma ideia sobre a importância do tipo de apoio na distribuição de reacções no tubo, desenharam-se na figura 5-1 três casos muito representativos.

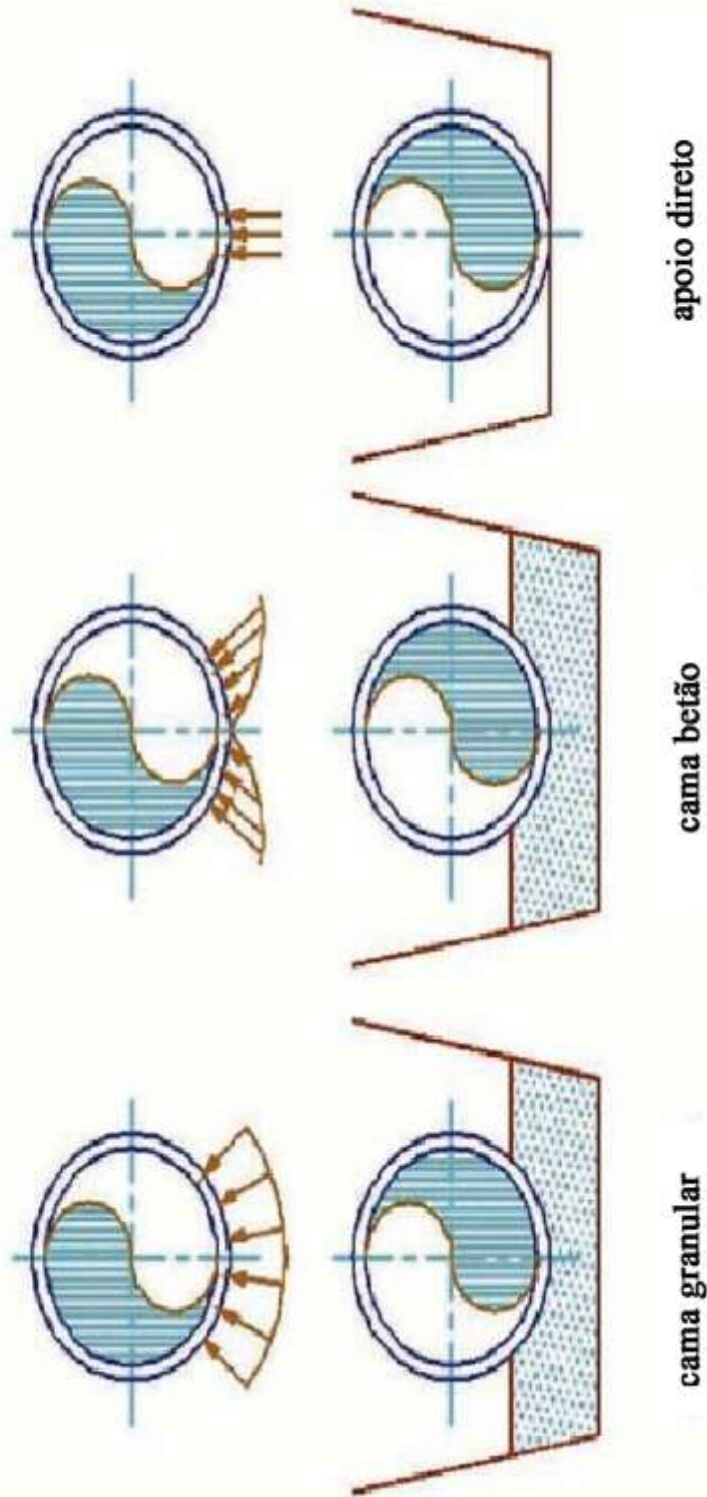
O primeiro caso corresponde a uma cama granular, sendo a reacção do terreno uniforme na zona apoiada.

O segundo caso apresenta uma cama de betão. A reacção é contínua mas a sua distribuição não é linear, concentrando-se nas extremidades do apoio.

O terceiro caso corresponde a um apoio directo, sendo a reacção muito concentrada.

Tipos de apoio

DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES



7.2 TIPO DE COLOCAÇÃO

AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda


Dados da Obra Tipologias de Troços Colocações de Troços

Dados do Troço

Número:

Tipos de Colocação

VALA VALA TERRAPLENADA TERRAPLENO



Dimensões Tubo	Enchimento	Cargas
Tipo de Suporte:	Granular, 90 grd	
Tipo de Colocação:	Enchimento Compactado	
	Enchimento sem Compactar	
Alturas de cálculo do Enchimento (mts.):	Final: 3,00	
	Aumento da altura: 0,00	
Largura da Vala (mts.):	2,360	
Densidade do Enchimento:	1,8	
Ângulo de Atrito Interno do enchimento [°]:	30,00	
Tipo de	Coesivo, Areia Argilosa	

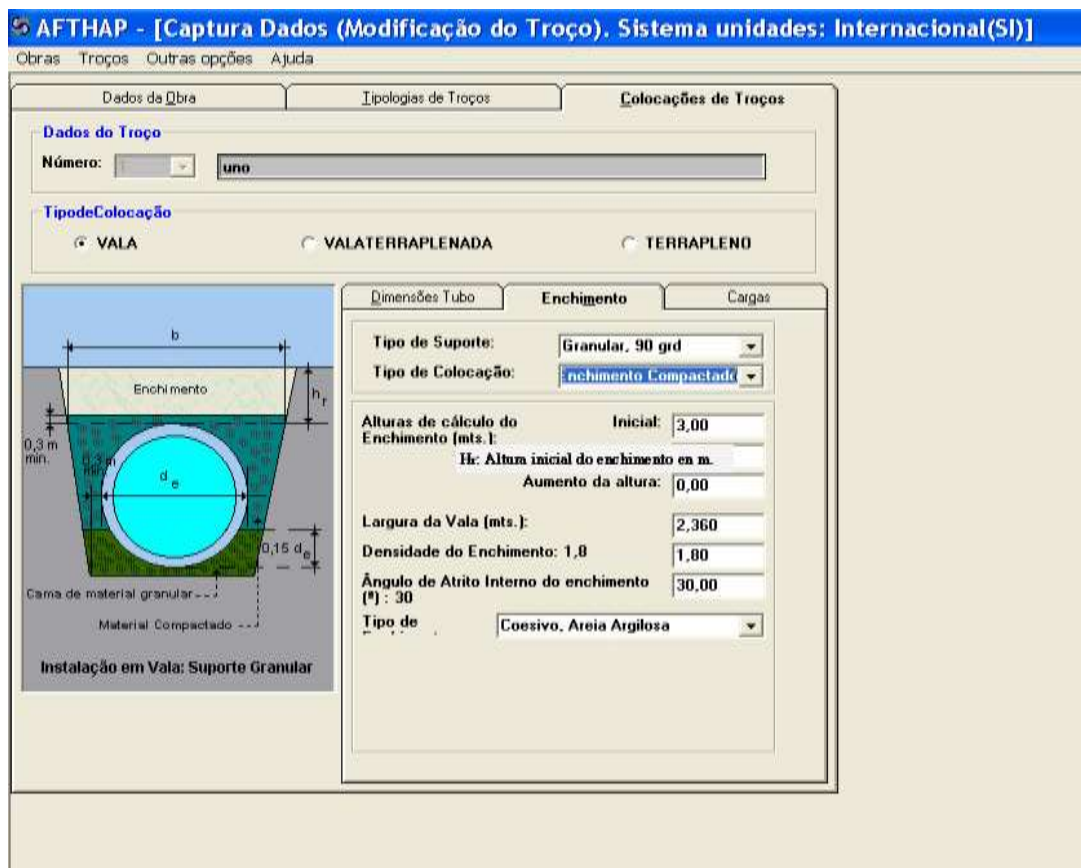
O programa distingue dois casos:

- Σ Enchimento compactado
- Σ Enchimento por compactar

A escolha de um ou outro influencia bastante o resultado final, visto empregarem-se fórmulas diferentes no cálculo de cargas que gravitam sobre a tubagem. Em qualquer dos casos, é fundamental que as condições de utilização sejam as previstas no cálculo.

Se a tubagem demorar a entrar em serviço, as valas têm a tendência a compactar-se por si só, pelo que o estado final é sempre o de vala compactada. O mais lógico é calcular com esta hipótese e impor condições de execução que não criem um estado provisório mais desfavorável do que o da utilização final.

7.3 ALTURA DE ENCHIMENTO



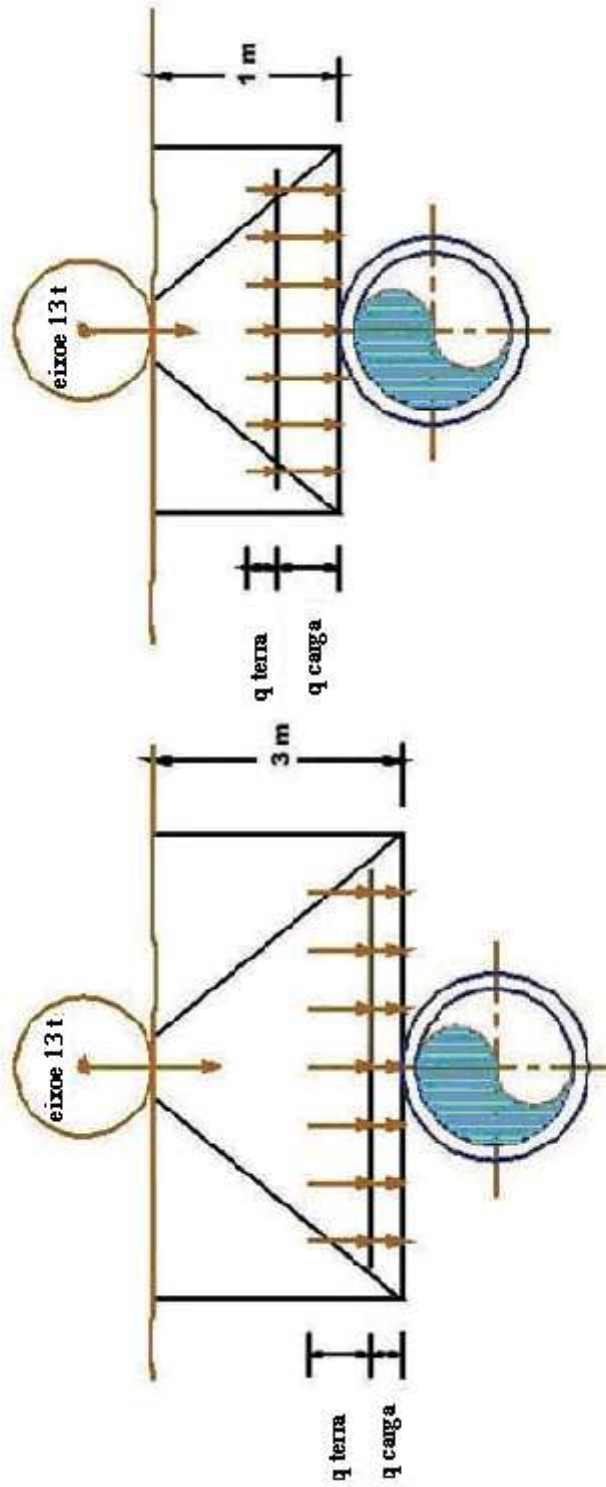
Pode ser deixado em branco, adoptando-se então o valor por defeito definido no ecrã inicial da obra.

Normalmente, sobretudo num projecto, calcula-se o tubo para uma profundidade média, visto não se dimensionar para cada ponto do perfil.

Se existirem cargas concentradas, uma altura maior pode não ser segura; na figura vemos que para 1 e 3 m a carga tem uma influência aproximadamente igual, menos para 2 m e muito mais para revestimentos inferiores a 1 m.

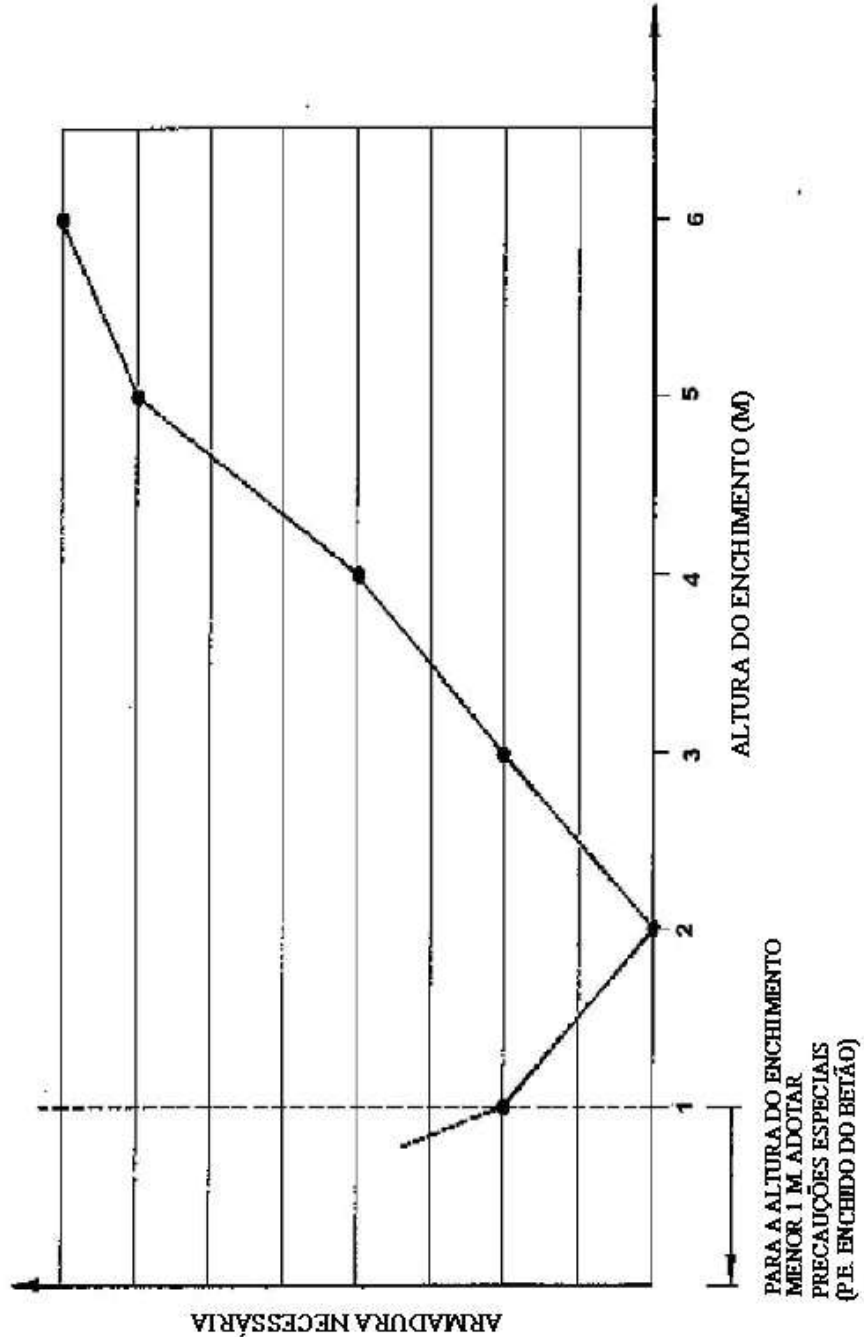
Contudo, o método mais correcto é o de criar uma tabela para combinar pressões / alturas de terras e definir um ou vários tipos de tubos que cumpram para um determinado grupo de combinações. Normalmente, os tipos são escolhidos de modo a permitirem a criação prudente de troços ao longo da conduta, adaptando-se às variações de pressão / altura de terras sem gerar troços de menos de 6 tubos consecutivos iguais.

Cargas móveis



Influência do cargas móveis

**INFLUÊNCIA DA CARGA MÓVEI BASEADA NA
ALTURA DO ENCHIMENTO**



7.4 LARGURA DE VALA

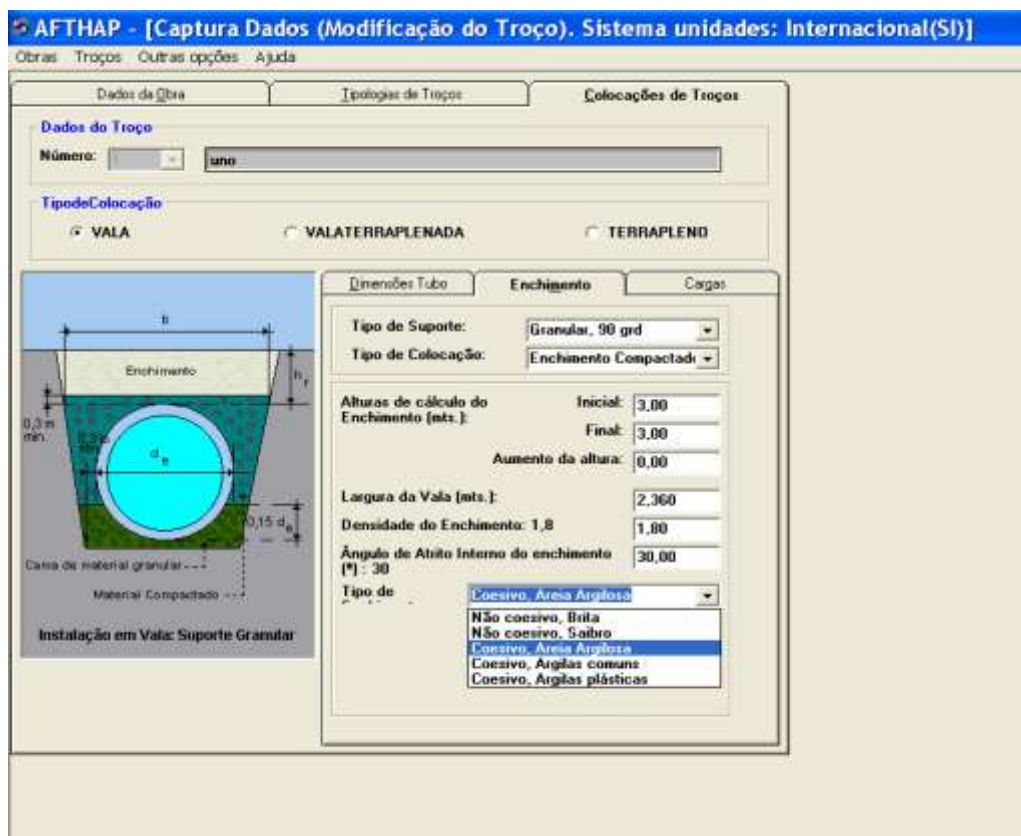
Para a colocação em vala, faz-se uma escavação que deverá ser suficiente para permitir a instalação do tubo e garantir a estabilidade dos declives.

Em tubos pequenos, em que o operário se pode colocar com um pé de cada lado, a largura mínima da vala na base é da ordem do diâmetro exterior mais 30 cm. Em tubos maiores, que não permitem ao operário pôr um pé de cada lado, a largura mínima na base é o diâmetro exterior mais 60 cm.

7.5 CARACTERÍSTICAS DO ENCHIMENTO

Poucas vezes temos, quando se trata de calcular um tubo, dados geotécnicos do material que vai ser empregue no enchimento.

O conselho prático, garantido por uma ampla experiência, é o de adoptar os valores que o programa tem por defeito e que correspondem a características médias muito habituais, densidade de 1,8 t/m³, ângulo de atrito interno de 30° e tipo coesivo-areia argilosa (valor médio).



AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

Dados da obra Tipos de Troços Colocações de Troços

Dados do Troço
Número:

Tipo de Colocação
 VALA VALA TERRAPLENADA TERRAPLENO

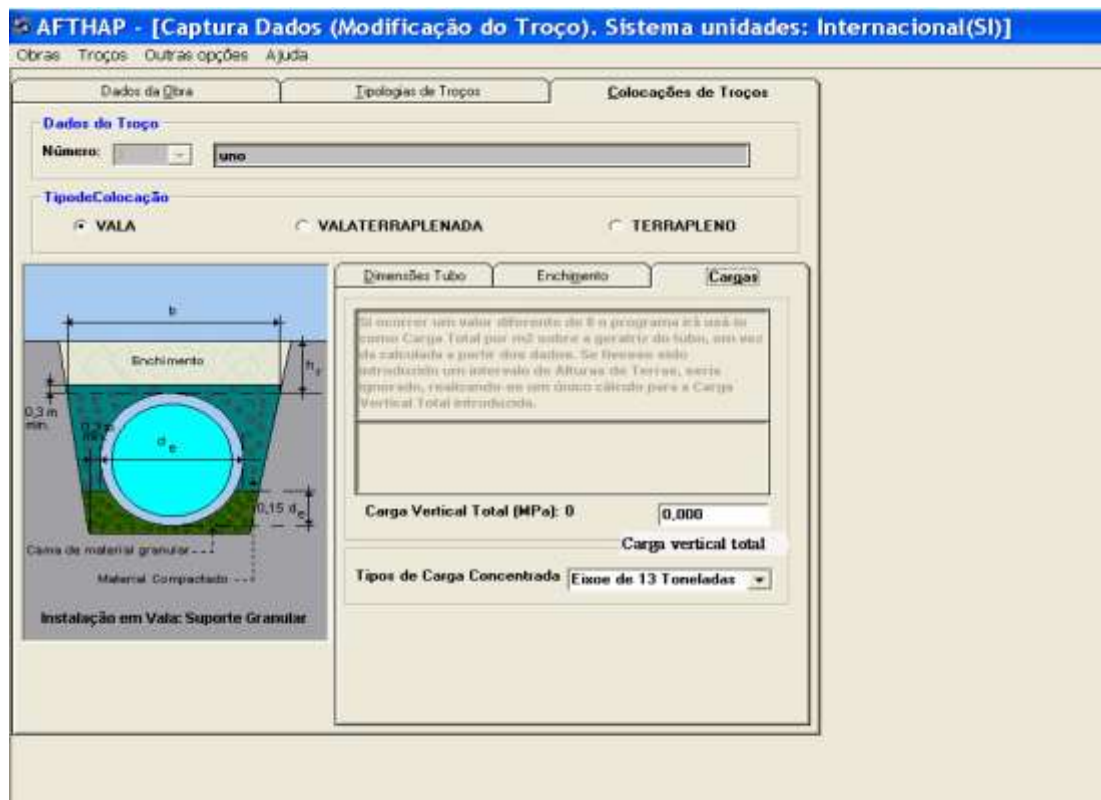
Diagrama de Instalação em Vala:
Suporte Granular
Enchimento
Material Compactado
Diâmetro exterior: d_e
Largura da vala na base: b
Altura de cálculo do enchimento: h_f
Distância de material granular: 0,3 m min.
Distância de material compactado: $0,15 d_e$

Características do Enchimento

Dimensões Tubo	Enchimento	Cargas
Tipo de Suporte:	<input type="text" value="Granular, 90 grad"/>	
Tipo de Colocação:	<input type="text" value="Enchimento Compactado"/>	
Alturas de cálculo do Enchimento (mts.):	Inicial: <input type="text" value="3,00"/> Final: <input type="text" value="3,00"/> Aumento da altura: <input type="text" value="0,00"/>	
Largura da Vala (mts.):	<input type="text" value="2,360"/>	
Densidade do Enchimento:	<input type="text" value="1,8"/>	
Ângulo de Atrito Interno do enchimento (°):	<input type="text" value="30"/>	
Tipo de	<input type="text" value="Coesivo, Areia Argilosa"/>	

Lista de tipos de enchimento:
NÃO coesivo, Brita
NÃO coesivo, Saibro
Coesivo, Areia Argilosa
Coesivo, Argilas comuns
Coesivo, Argilas plásticas

8. CARGA VERTICAL TOTAL



The screenshot shows the AFTHAP software interface for data capture. The title bar reads 'AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço), Sistema unidades: Internacional(SI)]'. The main window is divided into several sections:

- Dados do Troço:** 'Número' is set to 'uno'.
- Tipos de Colocação:** Three radio buttons are present: 'VALA' (selected), 'VALATERRAPLENADA', and 'TERRAPLENO'.
- Diagrama:** A cross-sectional diagram of a pipe in a trench. The pipe has diameter d_c . The trench width at the top is b , and the height of the backfill is h_v . A minimum height of 0.3 m is indicated. The trench bottom consists of a layer of granular material (0.15 d_c thick) and compacted material. The diagram is labeled 'Instalação em Vala: Suporte Granular'.
- Cargas:** A text box explains that if a value other than 0 is entered, the program will calculate the total vertical load on the pipe. Below this, 'Carga Vertical Total (MPa): 0' is shown with a text input field containing '0,000'. A dropdown menu for 'Tipos de Carga Concentrada' is set to 'Eixos de 13 Toneladas'.

Se se preencher esta quadrícula com valor diferente de zero, o programa considera-o como carga de cálculo sobre a geratriz em t/m² e esquece todos os dados de enchimento e colocação.

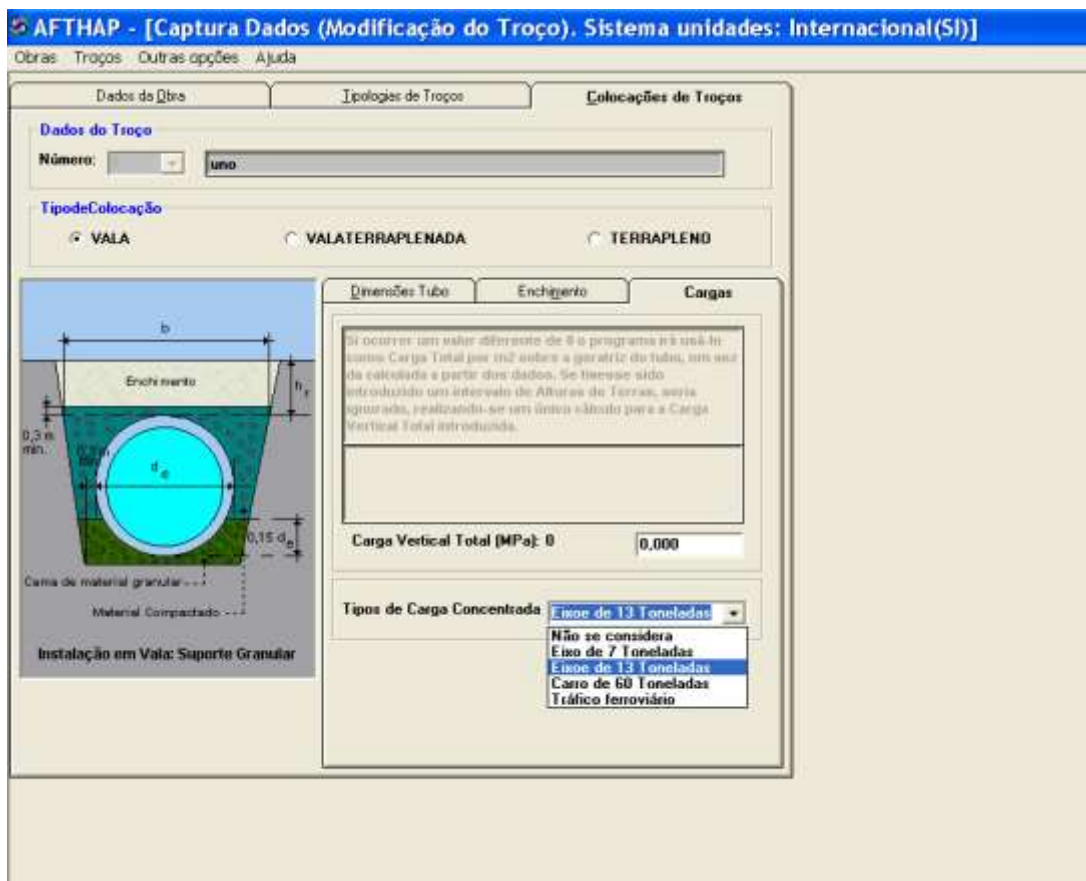
Esta opção é interessante quando se introduzem valores muito grandes de revestimento, capazes de gerar um efeito de arco de descarga, em cujo caso as fórmulas de Marston não se aplicam e a carga tem de ser calculada por outros métodos, por exemplo as fórmulas de Protodyakonov.

9.- CARGAS CONCENTRADAS

O programa inclui a opção de não as considerar, ou de considerar uma das três cargas tipo da Instrução do Torroja.

- < Eixo de 7 T equivalente a um veículo agrícola.
- < Eixo de 13 T equivalente a um camião.
- < Carro de 60 T equivalente a tráfego de estrada ou de via
- < Tráfego ferroviário equivalente aos comboios tipo da UIC.

É prudente calcular sempre os tubos com o eixo de 13 T, visto ser frequente a passagem de camiões sobre a vala nas fases de construção.



10.- VALA TERRAPLENADA

Trata-se de um caso particular de vala um terreno morto em aterro acima do terreno natural.

AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

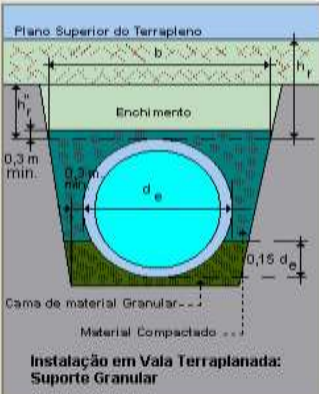
Dados da Obra | Tipologias de Troços | Colocações de Troços

Dados do Troço

Número:

TipodeColocação

VALA VALATERRAPLENADA TERRAPLENO



Plano Superior do Terraplino

Enchimento

0,3 m min.

0,2 m min.

d_e

0,15 d_e

Cama de material Granular

Material Compactado

**Instalação em Vala Terraplanada:
 Suporte Granular**

Dimensões Tubo | **Enchimento** | **Cargas**

Tipo de Suporte: Granular, 90 grad

Tipo de Colocação: Enchimento Compactado

Alturas de cálculo do Enchimento (mts.):
 Inicial: 3,00
 Final: 4,00
 Aumento da altura: 1,00

Largura da Vala (mts.): 2,360

Densidade do Enchimento: 1,8 1,80

Ângulo de Atrito Interno do enchimento (°): 30 30,00

Distância da Geratriz superior do Tubo à superfície do terreno natural h_r (m): 0,5

11.- ATERRO

AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

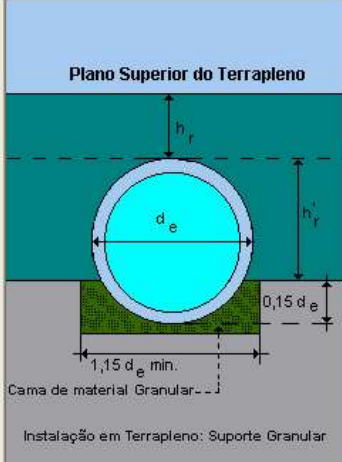
Dados da Obra Tipologias de Troços Colocações de Troços

Dados do Troço

Número:

TipodeColocação

VALA VALATERRAPLENADA TERRAPLENO



Plano Superior do Terrapleno

Instalação em Terrapleno: Suporte Granular

Dimensões Tubo **Enchimento** **Cargas**

Tipo de Suporte:

Alturas de cálculo do Enchimento (mts.):
 Inicial:
 Final:
 Aumento da altura:

Densidade do Enchimento: 1,8

Ângulo de Atrito Interno do enchimento (°): 30

Distância da Geratriz superior do Tubo à superfície do terreno natural h_r' (m):

Razão de Assentamento:



12.- TUBOS DE BETÃO PÓS-ESFORÇADO

Em esquema, estas tubagens apresentam um núcleo de betão que inclui um revestimento metálico sobre o qual se enrola sob tensão um arame de elevada resistência e posteriormente reveste-se de betão.

O programa admite dois tipos de desenho aos quais correspondem cálculos ligeiramente diferentes, o tubo cilíndrico embebido e o revestido.

Em ambos os casos se utilizam as fórmulas de Lamé incluídas na Instrução do Torroja.

O cálculo é interactivo, aumentam-se as espiras de uma a uma e verifica-se que as condições de aceitação se cumprem.

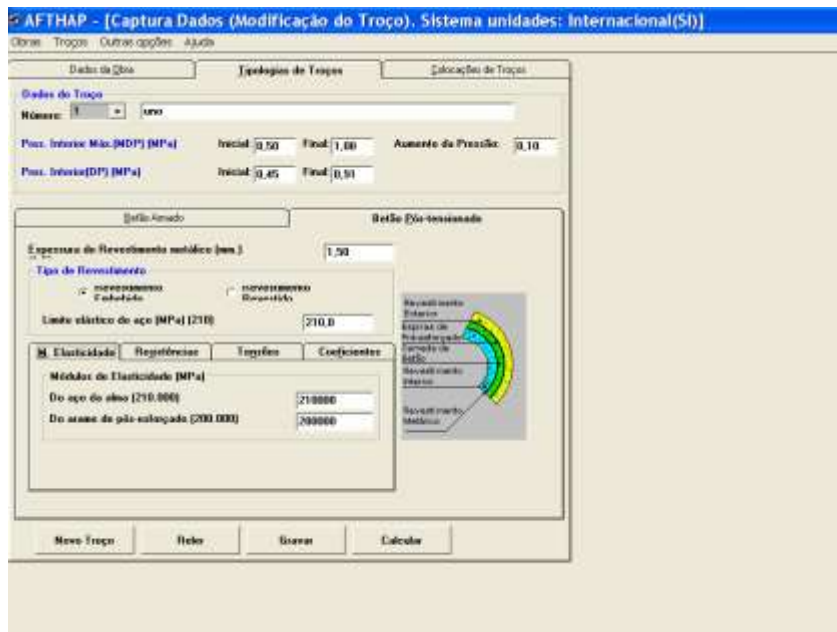
- < compressão residual no núcleo de 5 kp/cm^2 com carga péssima não accidental
- < compressão residual no núcleo de 0 kp/cm^2 com carga péssima accidental
- < tensão em todos os pontos inferior à máxima admissível, tanto no núcleo ao dar tensão como no revestimento.
- < tensões no betão, tubo e aços activo e passivo admissíveis, antes e depois de perdas de pré-esforço

Esta condição do Torroja é mais restritiva do que as normas CEN, as quais admitem compressão nula no núcleo e do que as normas americanas, que admitem ligeiras tracções.

Os tipos de tubo possíveis, como já dissemos, são:

- < Tubo cilíndrico embebido
- < Tubo cilíndrico revestido

12.1 BETÃO PÓS-ESFORÇADO COM REVESTIMENTO EMBEBIDO



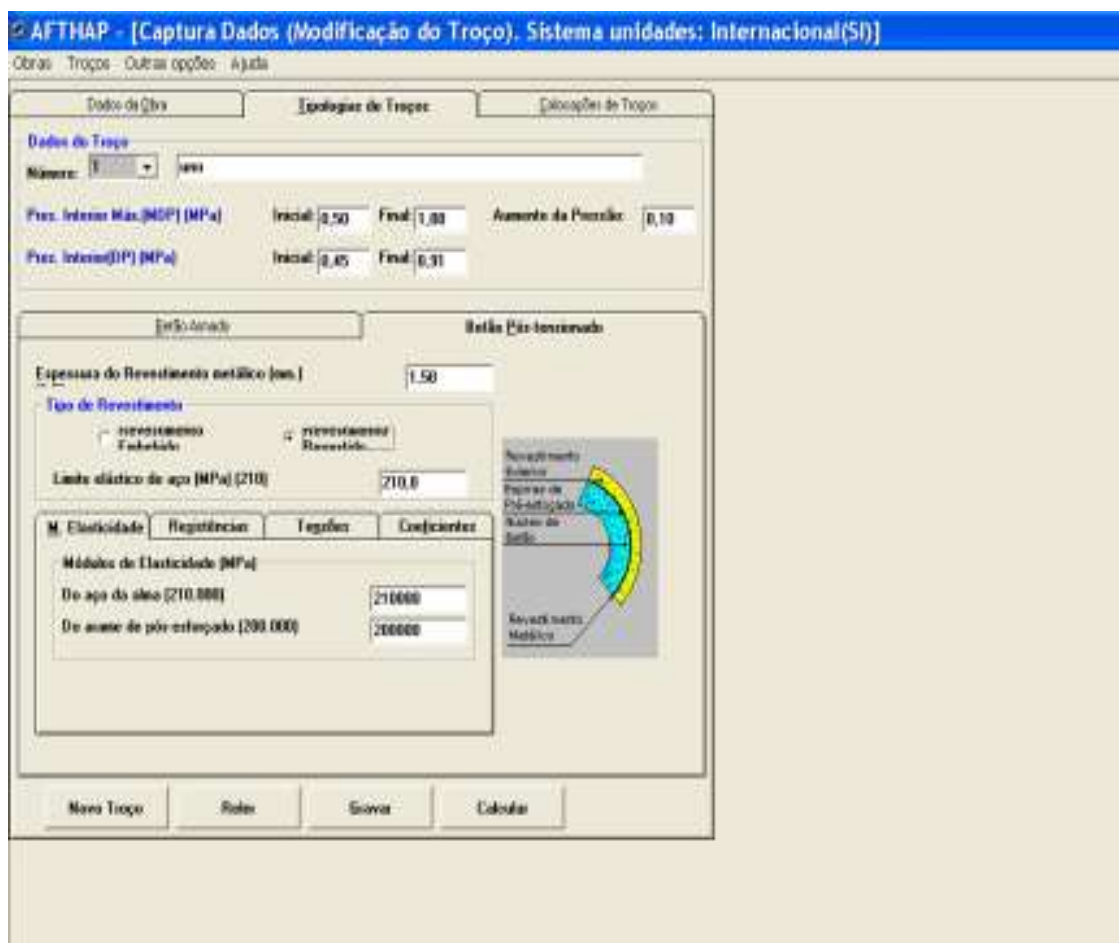
Neste tipo o tubo cilíndrico é incluído dentro do núcleo de betão e o arame que cria o pré-esforço enrola-se sobre a superfície exterior do betão (ver esquema na figura).

13.- CÁLCULO DE TUBOS PÓS-ESFORÇADOS

Nos capítulos que se seguem iremos alternando figuras correspondentes a tubos cilíndricos de aço embebidos ou revestidos.

Apesar das subrotinas e fórmulas serem ligeiramente diferentes em cada caso, os dados a introduzir são os mesmos, excepto no que diz respeito a geometria do tubo, visto que no tubo embebido se pede a espessura do revestimento interior e no revestido este dado é evidente.

13.1 MÓDULOS DE ELASTICIDADE



The screenshot shows the 'Dados do Troço' (Section Data) window in the AFTHAP software. The window title is 'AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]'. The interface includes several input fields and a diagram of a curved section.

Dados do Troço

Número: 1

Freq. Interim (MSP) (MPa): Inicial: 0,50 Final: 1,00 Aumento da Frequência: 0,10

Freq. Interim (IP) (MPa): Inicial: 0,45 Final: 0,31

Espessura do Revestimento metálico (mm): 1,50

Tipo de Revestimento: Tubo embebido Revestimento Revestido

Limite elástico de aço (MPa) (210): 210,0

M. Elasticidade

Registração	Tubo	Coefficiente
Módulo de Elasticidade (MPa)		
De aço de aço (210.000)		210000
De aço de pós-esforçado (200.000)		200000

Diagrama: Seção curva com revestimento metálico e tubo de aço.

Botões: Novo Troço, Retirar, Guardar, Calcular

O programa toma os valores habituais por defeito:

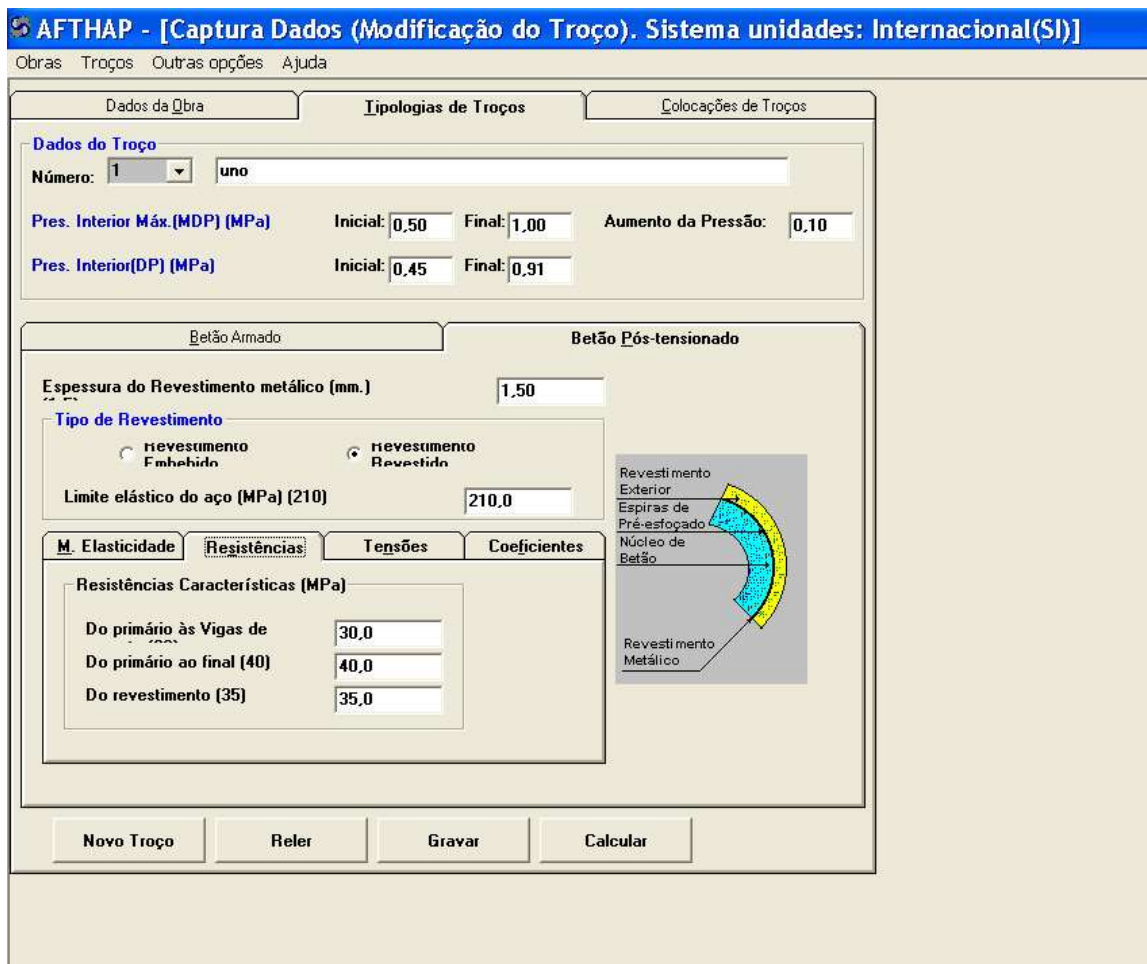
- < 210 000 Mpa (2 100 000 kp/cm²) para o tubo cilíndrico
- < 200 000 Mpa (2 000 000 kp/cm²) para o arame

13.2 ESPESSURA DO REVESTIMENTO

O programa utiliza por defeito o valor habitual de 1'5 mm.

A espessura do tubo influencia muito pouco o cálculo, visto que a sua função é assegurar unicamente a estanquidade e não participar na resposta resistente, que nestes tubos é confiada exclusivamente ao arame de dar a pré-tensão.

13.3 RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS



AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

Dados da Obra Tipologias de Troços Colocações de Troços

Dados do Troço

Número: 1 uno

Pres. Interior Máx.(MDP) (MPa) Inicial: 0,50 Final: 1,00 Aumento da Pressão: 0,10

Pres. Interior(DP) (MPa) Inicial: 0,45 Final: 0,91

Betão Armado Betão Pós-tensionado

Espessura do Revestimento metálico (mm.) 1,50

Tipo de Revestimento

Revestimento Embebido Revestimento Revestido

Limite elástico do aço (MPa) (210) 210,0

M. Elasticidade **Resistências** Tensões Coeficientes

Resistências Características (MPa)

Do primário às Vigas de	30,0
Do primário ao final (40)	40,0
Do revestimento (35)	35,0

Revestimento Exterior
Espiras de Pré-esforçado
Núcleo de Betão
Revestimento Metálico

Novo Troço Reler Gravar Calcular

Neste caso, pode-se aumentar a resistência inicial igualando-a à final, o que equivale a uma cura mais longa, ou então aumentar ambas e, portanto, prescrever um betão de maior resistência.

13.3.2 Do primário ao final

É a resistência característica do betão empregue no fabrico do núcleo.

13.3.3 Do revestimento

Com pressões normais não costuma ser determinante e podem-se adoptar valores baixos que, por outro lado, são melhores para prevenir o efeito da retracção.

O programa toma por defeito valores habituais no fabrico de tubos.

- < 30 Mpa (300 kp/cm²) no primário na colocação de cintas
- < 40 Mpa (400 kp/cm²) como característica do primário
- < 35 Mpa (350 kp/cm²) como característica do revestimento

13.4 TENSÕES

AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

Dados da Obra **Tipologias de Troços** Colocações de Troços

Dados do Troço

Número: 1 uno

Pres. Interior Máx.(MDP) (MPa) Inicial: 0,50 Final: 1,00 Aumento da Pressão: 0,10

Pres. Interior(DP) (MPa) Inicial: 0,45 Final: 0,91

Betão Armado **Betão Pós-tensionado**

Espessura do Revestimento metálico (mm.) 1,50

Tipo de Revestimento

Revestimento Embutido Revestimento Revestido

Limite elástico do aço (MPa) [210] 210,0


M. Elasticidade Resistências Tensões Coeficientes

Tensões (MPa)

De rotura do arame de pós-esforçado (1.700) 1700

Tensão de tensionado (1275) 1275

Relaxamento Final (%) 2,00



Revestimento Exterior
Espiras de Pré-esforçado
Núcleo de Betão
Revestimento Metálico

Novo Troço Reler Gravar Calcular

13.4.1 Tensão de rotura do arame que dá o pré-esforço

É a que corresponde ao tipo de arame empregue, e são habituais 1700 Mpa (17 000 kp/cm²) e 180 Mpa (18 000 kp/cm²).



13.4.2 Tensão aplicada ao dar tensão

Corresponde normalmente a 75% do valor de rotura.

13.4.3 Relaxamento

Depende do tipo de aço; o programa adopta por defeito 2%, que é um valor normal nos actuais aços.

13.5 COEFICIENTES

AFTHAP - [Captura Dados (Modificação do Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

Dados da Obra Tipologias de Troços Colocações de Troços

Dados do Troço

Número: 1 uno

Pres. Interior Máx.(MDP) (MPa) Inicial: 0,50 Final: 1,00 Aumento da Pressão: 0,10

Pres. Interior(DP) (MPa) Inicial: 0,45 Final: 0,91

Betão Armado Betão Pós-tensionado

Espessura do Revestimento metálico (mm.) 1,50

Tipo de Revestimento

Revestimento Embebido Revestimento Revestido

Limite elástico do aço (MPa) (210) 210,0

M. Elasticidade Resistências Tensões **Coeficientes:**

De fluência do primário	(1,5)	1,500
De fluência do revestimento	(0,75)	0,750
De retracção do primário	(0,0002)	0,0002
De retracção do revestimento	(0,0003)	0,0003

Revestimento Exterior
Espiras de Pré-esforçado
Núcleo de Betão
Revestimento Metálico

Novo Troço Reler Gravar Calcular

Neste ecrã, introduzem-se os *Coefficientes de fluência* e de *Retracção de primário* e *Revestimento*.

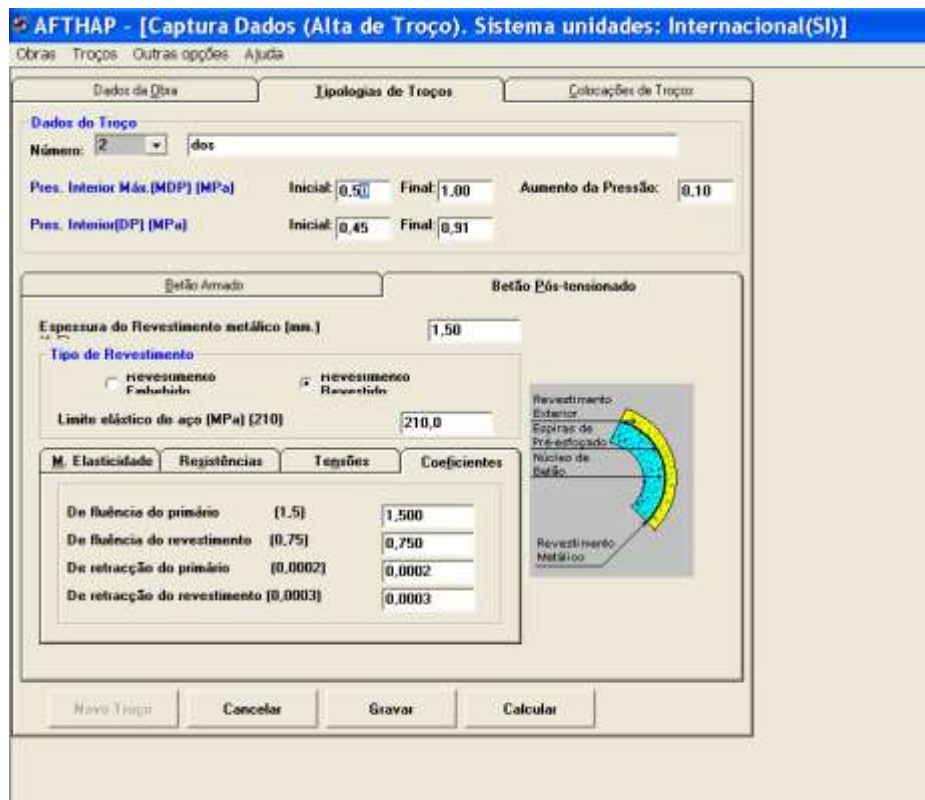
Os valores incluídos por defeito no programa são os que se recomendam ou os valores médios da norma sobre pré-esforço.

Para o betão e as curas dos tubos, é provável que estes coeficientes sejam seguros; contudo, têm vindo a empregar-se de forma sistemática há já alguns anos e são geralmente aceites sem discussão, ao passo que mudá-los pode dar origem a altas controvérsias de elevado nível especulativo.

14.- CÁLCULO E IMPRESSÃO DE RESULTADOS

Quando os troços de que consta a obra tiverem sido introduzidos, podemos editá-los, fazer modificações e gravá-los.

Por último passamos ao cálculo com os dados já introduzidos, podendo-se calcular troço a troço ou a obra inteira.



AFTHAP - [Captura Dados (Alta de Troço). Sistema unidades: Internacional(SI)]

Obras Troços Outras opções Ajuda

Dados da Obra Tipologias de Troços Colocações de Troços

Dados do Troço

Número: 2 dos

Pres. Interior Máx.(MDP) (MPa) Inicial: 0,50 Final: 1,00 Aumento da Pressão: 0,10

Pres. Interior(DP) (MPa) Inicial: 0,45 Final: 0,91

Betão Armado Betão Pós-tensionado

Espessura do Revestimento metálico (mm.) 1,50

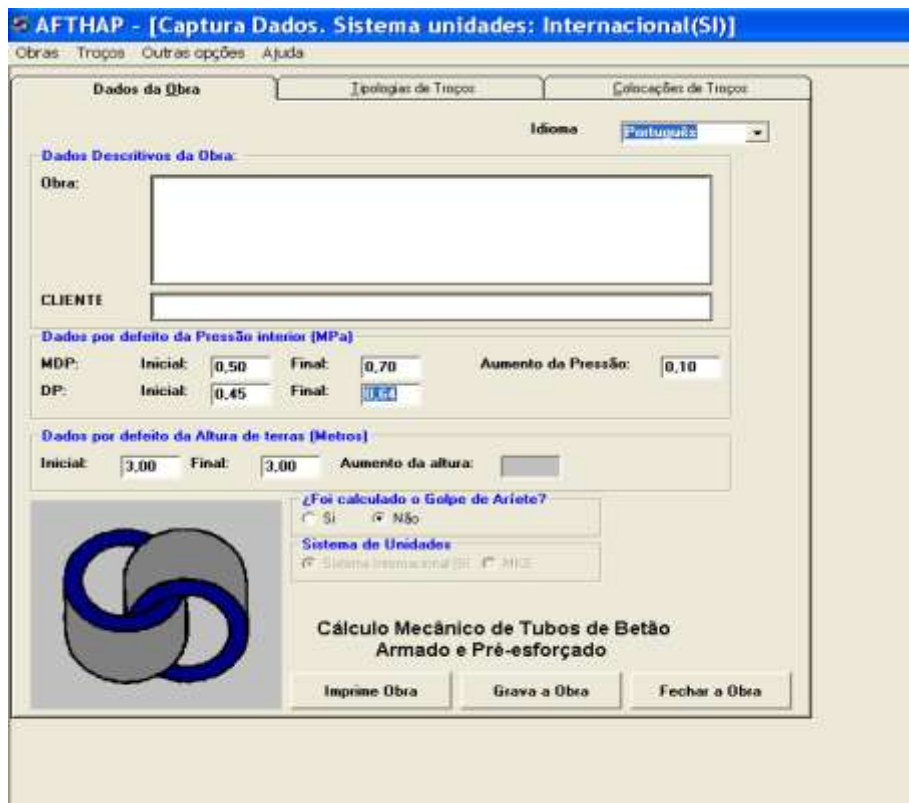
revestimento Esférico revestimento Retangular

Limite elástico do aço (MPa) (210) 210,0

M. Elasticidade	Resistências	Tensões	Coeficientes
De fluência do primário	(1,5)		1,500
De fluência do revestimento	(0,75)		0,750
De retracção do primário	(0,0002)		0,0002
De retracção do revestimento	(0,0003)		0,0003

Revestimento Esférico
Espiras de Pré-esforçado
Núcleo de Betão
Revestimento Metálico

Novo Troço Cancelar Gravar Calcular



Em qualquer dos dois casos, aparece no ecrã uma reprodução reduzida dos dados mais significativos da listagem de saída de resultados, a fim de comprovarmos se pretendemos modificar os dados.

Quando considerarmos que o projecto está correcto, podemos proceder à impressão dos resultados. Pela impressora iremos obter a listagem completa, com todos os resultados do cálculo.

Na versão 2002 incluem-se novos tipos de listagem abreviada, o de tipo tabular (tabela resumida de todos os casos calculados) e o de tipo ecrã (análogo à versão abreviada de resultados que surge no ecrã ao calcular).

Nos cálculos de pós-esforço, surge uma listagem adicional que lança à impressora os valores de coeficientes de Lamé que podem ser úteis para verificações.

Na versão 2009 dão-se os resultados para as várias hipóteses da norma e o valor péssimo que dimensiona o tubo.

A seguir, reproduzimos umas listas de saída pelo ecrã correspondentes a tubos de betão armado e pós-esforçado.



RESUMO DO CÁLCULO

CALCULANDO O CASO : 1/ 1 DP: 0,090 MPa MPD: 0,100 MPa
TIPO: Betão armado Diâmetro interior : 1000 mm
com revestimento Espessura : 100,0 mm
Revest. Interior : 30 mm
Revest. Exterior : 25 mm

Cama : granular 30' Colocação : vala, enchimento compactado
Altura do enchimento : 3,00 m
Pressão exterior : 0,0900 MPa
Carga concentrada : Nixo de 13 t

HIPÓTESE : PP LÍQUIDA

CHAVE		CINTAS		BASE	
M	N	M	N	M	N
(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)
0,00	150,00	0,00	150,00	0,00	150,00

HIPÓTESE : VÁCUO + TERRAS + MÓVEIS

CHAVE		CINTAS		BASE	
M	N	M	N	M	N
(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)
3,08	-8,88	-3,28	-33,47	-3,53	-26,05

HIPÓTESE : STP + 1 M TERRAS

CHAVE		CINTAS		BASE	
M	N	M	N	M	N
(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)
1,43	73,16	-1,58	61,84	1,75	64,73

Tipo de Listagem:
 Normal Tabular Ecrã



RESUMO DO CÁLCULO

CALCULANDO O CASO : 1/ 2 DP: 0,090 MPa MDP: 0,100 MPa
TIPO: Betão pré-esforçado Diâmetro interior : 1000 mm
revestimento rev Espessura : 95,0 mm
Revest. Interior : 65 mm
Revest. Exterior : 30 mm

Cama : granular 90* Colocação : vala, enchimento compactado
Altura do enchimento : 3,00 m
Pressão interior : 0,0900 MPa
Carga concentrada : Rixo de 13 t

HIPÓTESE : DP + CARGAS FIXAS

CHAVE		CINTAS		BASE	
M	N	M	N	M	N
(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)
30,124	-64,1	-32,344	-295,6	35,100	-218,1

HIPÓTESE : (MDP+0.1) + CARGAS FIXAS

CHAVE		CINTAS		BASE	
M	N	M	N	M	N
(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)
30,124	-64,1	-32,344	-295,6	35,100	-218,1

HIPÓTESE : DP + CARGAS FIXAS + MÓVEIS

CHAVE		CINTAS		BASE	
M	N	M	N	M	N
(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)	(N.m/cm)	(N/cm)
32,988	-72,3	-35,346	-325,2	38,304	-239,0

Tipo de Listado

Normal Tabular Pantalla Coef. Lamé

Imprimir Salir



15.- CÁLCULO HIDRÁULICO

Incluíram-se as fórmulas exactas de Prandtl - Colebrook e Darcy - Weissbach e a aproximada de Hazen – Williams.

O cálculo pode ser feito partindo da inclinação hidráulica da conduta ou do caudal a transportar.

Recomendam-se valores de rugosidade correspondentes a cada uma das fórmulas específicas para betão de qualquer idade, velho ou novo.

Pode-se encontrar bibliografia detalhada das várias fórmulas, fórmulas históricas e coeficientes de rugosidade na página web <http://www.afthap.com/>.

Os valores para secção parcialmente cheia só são válidos em lâmina livre e podem servir para dimensionar um saneamento em condições de caudal excepcionais mas nunca para condições de caudal de serviço pois correspondem a um regime não estável de fluxo.

A seguir, incluem-se exemplos de listagens de saída do programa e ecrã de utilização.



Cálculo hidráulico

Método de cálculo

PRANDTL - COLEBROOK

Darcy - WEISSBACH

HAZEN - WILLIAMS

Rugosidade equivalente em areia em mm (Ka) (0.050)

Valor para betão de qualquer idade sem considerar perdas localizadas por alterações de direcção, peças especiais etc.

Para considerar estas de forma aproximada pode multiplicar-se por 2 o coeficiente proposto por defeito. Neste caso, a diferença de rugosidade do material influencia muito pouco e como tal, a perda de carga aproximada calculada seria válida para qualquer material

Tipo de dado de origem

Pendente Caudal

Caudal (m3/seg)

Calcular **Imprimir** **Encerrar**

Fórmula de Darcy - WEISSBACH
Viscosidade cinemática = 0,000001310 m²/sg
Rugosidade absoluta Ks = 0,05000 mm.
CAUDAL = 3,000000 m³/sg.

CÁLCULO COM SECÇÃO CHEIA

DIÂMETRO	VELOCIDADE	PENDENTE	NÚM. REYNOLDS
600	10,61	117,717	4859693
700	7,80	53,510	4165451
800	5,97	27,087	3644770
900	4,72	14,886	3239795
1000	3,82	8,728	2915816
1100	3,16	5,392	2650742
1200	2,65	3,479	2429846
1300	2,26	2,327	2242935
1400	1,95	1,605	2082726
1500	1,70	1,137	1943877
1600	1,49	0,824	1822385
1700	1,32	0,609	1715186
1800	1,18	0,459	1619898
1900	1,06	0,351	1534640
2000	0,95	0,272	1457908



Cálculo hidráulico

Método de cálculo

PRANDTL - COLEBROOK
 DARCY - WEISSBACH
 HAZEN - WILLIAMS

Rugosidade absoluta em mm [Ks] (0,060)

Valor para betão de qualquer idade sem considerar perdas localizadas por alterações de direcção, peças especiais etc.
Para considerar estas de forma aproximada pode multiplicar-se por 2 o coeficiente proposto por defeito. Neste caso, a diferença de rugosidade do material influencia muito pouco e como tal, a perda de carga aproximada calculada seria válida para qualquer material

Tipo de dado de origem

Pendente Caudal Pendente (m/m)

Fórmula de PRANDTL-COLEBROOK
Viscosidade cinemática = 0,000001310 m²/sg
Rugosidade absoluta Ks = 0,06000 mm.
PENDENTE = 0,050000 m/m

CÁLCULO COM SECÇÃO CHEIA

DIÂMETRO	VELOCIDADE	CAUDAL
600	6,85	1,937
700	7,52	2,894
800	8,15	4,098
900	8,75	5,568
1000	9,32	7,323
1100	9,87	9,381
1200	10,40	11,761
1300	10,91	14,479
1400	11,40	17,551
1500	11,88	20,993
1600	12,34	24,819
1700	12,80	29,046
1800	13,24	33,687
1900	13,67	38,756
2000	14,09	44,267

CÁLCULO COM SECÇÃO PARCIALMENTE CHEIA
(Lâmina livre, válido para colectores)

DIÂMETRO	VELOCIDADE	CAUDAL
600	7,49	2,065
700	8,22	3,085
800	8,91	4,366
900	9,57	5,931
1000	10,19	7,799
1100	10,79	9,989
1200	11,36	12,521
1300	11,92	15,413
1400	12,45	18,680
1500	12,97	22,341
1600	13,48	26,410
1700	13,97	30,905
1800	14,45	35,839
1900	14,92	41,228
2000	15,38	47,087



▾ Cálculo hidráulico

Método de cálculo

PRANDTL - COLEBROOK

DARCY - WEISSBACH

HAZEN - WILLIAMS

Coeficiente C_{wh}

0,00 139,3 + 6,65 * DIÂM. (M)

Fórmula aproximada que engloba perdas de carga localizadas médias, válida para qualquer material, para maior precisão utilizar as fórmulas de Colebrook ou Darcy

Tipo de dado de origem

Pendente Caudal Caudal (m3/seg) 3.000

Fórmula de HAZEN-WILLIAMS
Coeficiente C_{wh} = 139,3 + 6,65 * DIÂM. (M)
CAUDAL = 3,000000 m3/s.g.

CÁLCULO COM SECÇÃO CHEIA

DIÂMETRO	VELOCIDADE	PENDENTE
600	10,61	99,858 m/km.
700	7,80	46,731 m/km.
800	5,97	24,180 m/km.
900	4,72	13,509 m/km.
1000	3,82	8,019 m/km.
1100	3,16	4,999 m/km.
1200	2,65	3,245 m/km.
1300	2,26	2,179 m/km.
1400	1,95	1,506 m/km.
1500	1,70	1,067 m/km.
1600	1,49	0,773 m/km.
1700	1,32	0,571 m/km.
1800	1,18	0,429 m/km.
1900	1,06	0,327 m/km.
2000	0,95	0,252 m/km.

CÁLCULO COM SECÇÃO PARCIALMENTE CHEIA
(Lâmina livre, válido para colectores)

DIÂMETRO	VELOCIDADE	PENDENTE
600	10,89	98,118 m/km.
700	8,00	41,237 m/km.
800	6,12	21,337 m/km.
900	4,84	11,921 m/km.
1000	3,92	7,076 m/km.
1100	3,24	4,411 m/km.
1200	2,72	2,863 m/km.
1300	2,32	1,923 m/km.
1400	2,00	1,329 m/km.
1500	1,74	0,942 m/km.
1600	1,53	0,682 m/km.
1700	1,36	0,504 m/km.
1800	1,21	0,378 m/km.
1900	1,09	0,288 m/km.
2000	0,98	0,223 m/km.

16.- MEDIDAS DE PROTECCÃO

Protecções adicionais

Agressividade química

Meio agressivo: Água exterior e interior

pH	4,30	
CO ₂ agressivo	70,00	mg/l
NH ₄ (+)	27,00	mg/l
Mg (2+)	2000,00	mg/l
SO ₄ (2-) [água exterior]	500,00	mg/l
SO ₄ (2-) [água interior]	0,00	mg/l

ADVERTÊNCIA: as águas muito puras são agressivas para o betão, quando o seu pH é inferior ao do equilíbrio. Este facto pode ser comprovado através do ensaio do mármore, aplicando a uma amostra de água, ou recorrendo à utilização de diagramas técnicos que relacionam o pH de equilíbrio com a alcalinidade.

Meio agressivo: terrenos

SO ₄ (2-)	1500,00	mg/Kg
----------------------	---------	-------



Alterna ciclos humidade/dessecação ou tubagens semi-enterradas

Meio agressivo: solos com baixa resistividade

Resistividade do terreno	20,00	Ohmios x m
--------------------------	-------	------------

Meio agressivo: correntes vagabundas

Cosente		mV
---------	--	----

 Visualizar  Imprimir

Encerrar

ANÁLISE DE MEIOS AGRESSIVOS

Factores que devem ser considerados

Meio agressivo: Água exterior e interior
pH = 4,30
CO₂ agressivo = 70,00 mg/l
NH₄ (+) = 27,00 mg/l
Mg (2+) = 2000,00 mg/l
SO₄ (2-) (água exterior) = 500,00 mg/l

Meio agressivo: terrenos
SO₄ (2-) = 1500,00 mg/Kg

Meio agressivo: solos com baixa resistividade
Resistividade do terreno = 20,00 Ohmios x m

MEDIDAS DE PROTECCÃO

Terrenos e Águas exteriores ao tubo
Doseamento de cimento 400,00 kg/m²
Relação a/c 0,45
Tipo de cimento Normal
Necessidades adicionais Não

Introduzindo como dados os diferentes valores de agressividade da água, terreno, entre outros, obtêm-se as medidas de protecção recomendadas.

Pode-se obter informações mais pormenorizadas sobre as medidas propostas na Instrução do Instituto Eduardo Torroja 2007 e na nossa página web <http://www.afthap.com/>.