

AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS DEFORMAÇÕES AUTO-INDUZIDAS NA FISSURAÇÃO DE ELEMENTOS EM BETÃO ARMADO

PEDRO SOBREIRA MENÉRES BORGES DE FREITAS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

Orientador: Professor Doutor Mário Jorge de Seixas Pimentel

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Ao meu Avô

AGRADECIMENTOS

Quero, nesta seção, expressar os meus agradecimentos a todos aqueles que apoiaram durante o meu percurso académico. Este trabalho é o culminar de um caminho que teve, naturalmente, os seus altos e baixos mas que acaba por ser extremamente gratificante.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Mário Pimentel, por toda a dedicação a este trabalho durante o semestre, por toda a sabedoria e ideias transmitidas e por sobretudo, nesta última fase, ter apoiado e ajudado em momentos críticos e determinantes.

Queria também agradecer ao GOP, especialmente ao meu tio, João Maria, por me ter passado conhecimentos e pela bibliografia cedida. Um agradecimento especial ao Jorge Ribeirinho Soares por ter sido fundamental numa fase inicial, pela transmissão de experiência relacionada com a dissertação assim como com a troca de ideias relacionadas com o tema desenvolvido.

Não posso deixar de agradecer a todos os meus amigos e colegas de faculdade, que partilharam comigo anos de estudo e de vivências extracurriculares.

Quero, por fim, agradecer à Matilde, minha namorada, pela motivação que me deu em todos os tempos difíceis e menos bons.

Muito obrigado a todos

RESUMO

As estruturas de betão armado estão sujeitas ao efeito das deformações impostas, que ao serem restringidas e não possibilitarem o seu livre encurtamento, geram tensões de tração que podem culminar em fissuração. Torna-se portanto importante controlar este efeito, limitando a abertura de fendas e garantindo que os limites máximos exigíveis não sejam ultrapassados. Cabe ao projetista a responsabilidade de evitar os agravamentos deste fenómeno fazendo um correto dimensionamento da armadura sem por em causa contudo, o fator económico associado.

O Eurocódigo 2 Parte 1-1 contempla no seu regulamento uma formulação capaz de ultrapassar estes problemas. No entanto, é incapaz de analisar a influência do grau de restrição imposto pela estrutura. Face à fraca aplicabilidade deste regulamento, estuda-se nesta dissertação a capacidade de reprodução proposta pelo Eurocódigo 2 parte 3 para o cálculo da deformação imposta recorrendo a análises comparativas entre vários muros de betão armado com um tirante. Pretende-se com estas análises verificar que as formulações propostas pelo Eurocódigo 2 parte 1-1 são demasiado conservativas no que diz respeito a estruturas sujeitas a uma restrição apenas num dos bordos. É também demonstrado, a partir de comparações com modelos numéricos, que a formulação preconizada pelo Eurocódigo 2 parte 3 tem uma forte aplicabilidade ao cálculo da deformação impedida dado que a mesma é influenciada pelo grau de restrição, o qual é contemplado neste regulamento.

Grande parte do trabalho é realizado recorrendo ao Método dos Elementos Finitos, efetuando análises não lineares para diferentes muros, analisando a influência de parâmetros como a relação B/H e o efeito da restrição do elemento de fundação.

PALAVRAS-CHAVE: Deformações Impostas, Muros de Betão Armado, Grau de Restrição, Fissuração do Betão, DIANA

ABSTRACT

The concrete structures are subject to imposed deformations which, as they are restricted and don't allow their free deformation, generate tensile stresses that can lead to cracking. It is therefore important to control this effect, by limiting the crack width and ensuring that maximum desirable limits are not exceeded. The designer is then responsible for minimizing the consequences of this phenomenon by making a correct dimensioning of the reinforcement without jeopardizing the economic factor associated.

The Eurocode 2 Part 1-1 includes in its regulations a formulation able to overcome these problems. However, it is unable to analyze the influence of the degree of restriction imposed by the structure. Due to a low applicability of this regulation, this thesis studies the regulations proposed by Eurocode 2 Part 3 for the calculation of the imposed deformation using comparative analyzes between several walls of reinforced concrete with a rod. The objective of these analyses is to verify that the proposed formulations from Eurocode 2 part 1-1 are too conservative concerning structures subject to edge constraint. It is also shown, from numerical models comparisons that the recommended formulation by Eurocode 2 part 3 has a strong applicability to the calculation of the imposed deformation because it is influenced by the degree of restriction, contemplated in this code.

Much of the analyses performed in this thesis used the Finite Element Method, to perform nonlinear analyzes for different walls, to evaluate the influence of parameters such as the ratio B/H and the effect of the restriction caused by the foundation.

KEYWORDS: Imposed Deformations, Concrete Walls, Degree of Restriction, Concrete Cracking, DIANA

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. FENDILHAÇÃO EM ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	1
1.3. ORGANIZAÇÃO EM CAPÍTULOS	2
2. COMPORTAMENTO DO BETÃO	3
2.1. HIDRATAÇÃO	3
2.2. RETRAÇÃO	5
2.2.1 RETRAÇÃO PLÁSTICA	5
2.2.2 RETRAÇÃO QUÍMICA	5
2.2.3 RETRAÇÃO TÉRMICA	6
2.2.4 RETRAÇÃO DE CARBONATAÇÃO	6
2.2.5 RETRAÇÃO HÍDRICA	7
2.2.5.1. Retração autogénea	8
2.2.5.2. Retração de secagem	8
2.2.6 CÁLCULO DA RETRAÇÃO SEGUNDO EUROCÓDIGO [1]	9
2.3. FLUÊNCIA	9

2.4. VARIAÇÕES DE TEMPERATURA	10
2.5. MECANISMO DE FENDILHAÇÃO	11
2.5.1 RESPOSTA ESTRUTURAL DE UM TIRANTE SUBMETIDO À TRAÇÃO PURA	12
3. ABORDAGENS REGULAMENTARES.....	15
3.1. GRAU DE RESTRIÇÃO DA ESTRUTURA	15
3.1.1 RESTRIÇÃO EXTERNA	15
3.1.1.1. Elementos com ambas as extremidades restringidas – „End Restraint“	16
3.1.1.2. Elementos com uma fronteira restringida – „Edge Restraint“	16
3.1.2 ESTIMATIVA DO GRAU DE RESTRIÇÃO	17
3.2. ARMADURA MÍNIMA	19
3.2.1 CONCEITO DE ARMADURA MÍNIMA	19
3.2.2 CÁLCULO DA ARMADURA MÍNIMA DE ACORDO COM O EUROCÓDIGO [1]	19
3.3. CÁLCULO DA ABERTURA DE FENDAS	21
3.3.1 ESPAÇAMENTO ENTRE FENDAS.....	21
3.3.2 CÁLCULO DA DIFERENÇA DE EXTENSÃO ENTRE O AÇO E O BETÃO	25
4. ANÁLISES NUMÉRICAS	27
4.1. INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO.....	27
4.2. DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA ADOTADA	28
4.2.1 MALHA DE ELEMENTOS FINITOS UTILIZADA	28
4.2.1.1. Tirante	28
4.2.1.2. Muros	28
4.2.2 DIMENSÕES	29

4.2.2.1. Tirante.....	30
4.2.2.2. Muros.....	30
4.2.3 CONDIÇÕES DE APOIO	31
4.2.3.1. Tirante.....	31
4.2.3.2. Muros.....	31
4.3. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E DEFORMAÇÕES IMPOSTAS.....	33
4.3.1 MATERIAIS.....	33
4.3.1.1. Modelo de fendilhação distribuída	33
4.3.1.2. Betão	33
4.3.1.3. Aço.....	34
4.3.1.4. Propriedades do elemento Tirante.....	35
4.3.1.5. Propriedades do elemento muro.....	36
4.3.2 MODELAÇÃO DA DEFORMAÇÃO IMPOSTA	37
4.4. VALIDAÇÃO DOS MODELOS NUMÉRICOS.....	38
4.4.1 TIRANTE	38
4.5. ANÁLISES PARAMÉTRICAS	43
4.5.1 MURO VS. TIRANTE COM IGUAIS PERCENTAGENS DE ARMADURA – VARIAÇÃO DE RELAÇÃO B/H.....	43
4.5.1.1. Tirante Vs. Muro com relação B/H=2.....	44
4.5.1.2. Tirante Vs. Muro - Comparação dos diferentes muros	48
4.5.1.3. Conclusões	52
4.5.2 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO IMPEDIMENTO DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NA SAPATA.....	53
4.5.3 ABERTURA DE FENDAS.....	55

5. CONCLUSÕES / DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	61
5.1. CONCLUSÕES	61
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Influência da espessura na subida da temperatura em paredes. [6].....	4
Figura 2.2 - Avaliação do risco de fissuração com base na retração térmica [10].....	6
Figura 2.3 – Retração hídrica num betão C25/30 (H=60% CEM N).....	7
Figura 2.4 - Retração hídrica num betão C50/60 (H=60% CEM N).....	8
Figura 2.5 – Diagrama das componentes de um perfil de temperatura [17].....	11
Figura 2.6 - Resposta estrutural; a) parcela uniforme e b) parcela diferencial [18].....	11
Figura 2.7 – Comportamento de um tirante de betão armado solicitado por uma deformação imposta axial crescente. [19].....	12
Figura 2.8 - Comportamento global da abertura de fendas num elemento de betão estrutural [18].....	13
Figura 2.9 - Evolução das tensões na armadura e consequente abertura de fenda - deformação imposta:	14
Figura 3.1 – Exemplo de tipos de restrição referenciados pelas principais normas. a) “Edge Restraint” b) “End Restraint” [20].....	16
Figura 3.2 - Padrão de fendilhação: a) sapata rígida; b) sapata flexível [10].....	17
Figura 3.3 - Valores propostos por Emborg no cálculo da restrição relativa, em função da relação L/H, ao longo da altura [10].....	18
Figura 3.4 - Variação de k em função da espessura, h.....	20
Figura 3.5 - Equilíbrio de tensões ao longo do elemento, na fase de formação de fendas [18].....	22
Figura 3.6 - Ensaios tipo – comportamento da aderência aço–betão para várias situações tipo [18] ...	22
Figura 3.7 - Área de betão efetiva que é afetada pelo fenómeno de aderência aço/betão quando sujeito à tração pura, Figura 7.1 do EN [1].....	23
Figura 3.8 - Transmissão de tensão ao longo do comprimento l_0 [18].....	24

Figura 4.1- Elementos de composição da malha	28
Figura 4.2 – Malha genérica dos Muros	29
Figura 4.3 – Corte de Muro tipo – Dimensões em metros.....	30
Figura 4.4 – Condições de apoio para Muros com sapata restringida	32
Figura 4.5 - Condições de apoio para Muros com sapata não restringida	32
Figura 4.6 - Relação entre a extensão média e a tensão normal no betão tracionado [10].....	33
Figura 4.7 – Diagrama de tensão-extensão utilizado para o aço	35
Figura 4.8 – Malha de Elementos Finitos do Tirante – Caracterização dos materiais.....	36
Figura 4.9 – Tensões no Betão em altura. Corte genérico.....	37
Figura 4.10 – Evolução do esforço axial no tirante versus deformação impedida.	39
Figura 4.11 – σ_{sr} no tirante sujeito a deformação imposta.....	40
Figura 4.12 – Tensões de tração médias no betão num elemento do centro do tirante	41
Figura 4.13 – Tensões médias na armadura	42
Figura 4.14 – Representação da fendilhação para $T=25^\circ$	42
Figura 4.15 – Diferença de extensão entre aço e betão para o tirante	43
Figura 4.16 – Representação esquemática dos elementos do muro sujeitos a análises	44
Figura 4.17 – Deformada do muro	45
Figura 4.18 – Grau de restrição na zona central do muro 1ª Coluna – Relação B/H ; 2ª Coluna – Restrição na base ; 3ª Coluna – Restrição no topo	45
Figura 4.19 – a) Abertura de fendas no muro ; b) Tensão na armadura	46
Figura 4.20 – Comparação entre um tirante e o elemento nº1 de um muro com relação B/H = 2 – Relação tensão-extensão.....	47
Figura 4.21 – Comparação entre um tirante e o elemento nº4 de um muro com relação B/H = 2 – Relação tensão-extensão.....	47

Figura 4.22 – Abertura de fendas para uma deformação imposta de 0.4‰ num muro com relação B/H=4.....	48
Figura 4.23 – Comparação das tensões na armadura para o elemento nº1 nos diferentes muros – Relação tensão-extensão	49
Figura 4.24 - Comparação das tensões na armadura para o elemento nº3 nos diferentes muros – Relação tensão-extensão	50
Figura 4.25 – Abertura de fendas – em cima: para $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$; em baixo: para $\Delta T=11^{\circ}\text{C}$	51
Figura 4.26 - Comparação das tensões na armadura para o elemento nº3 nos diferentes muros – Relação tensão-extensão	52
Figura 4.27 – Efeito da restrição na sapata. Sapata não restringida.....	53
Figura 4.28 – Efeito da restrição da sapata. Sapata restringida.....	54
Figura 4.29 – Comparação de tensão nas armaduras para elemento nº1 de muro B/H=6. Muro com restrição de sapata e Muro sem restrição de sapata - Relação tensão-extensão	54
Figura 4.30 – Gráfico que relaciona a diferença entre a extensão do aço e do betão ao longo da deformação imposta – DIANA – Elemento genérico	55
Figura 4.31 – $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ Vs ϵ_{free} (%).....	56
Figura 4.32 - $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \times 0.5$ Vs ϵ_{free} (%).....	57
Figura 4.33 – Gráfico representativo da abertura de fendas calculada a partir de modelos numéricos – comparação entre muros e tirante – Elemento 1	57
Figura 4.34 - Gráfico representativo da abertura de fendas calculada a partir de modelos numéricos – comparação entre muros e tirante – Elemento 3	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4-1 – Geometria da Malha de Elementos Finitos para metade do muro (m).....	29
Tabela 4-2 – Geometria do tirante modelado para comparações com muros (m).....	30
Tabela 4-3 – Quadro resumo da geometria dos diferentes muros	31
Tabela 4-4 – Propriedades dos materiais constituintes do tirante	36
Tabela 4-5 – Características dos materiais dos Muros	37
Tabela 4-6 – Valores de aberturas de fendas para $\varepsilon=0.3\text{‰}$ (em mm)	59

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$A_{c,eff}$	Área da secção efectiva de betão traccionado que envolve as armaduras
A_n	Área da secção transversal do muro
A_o	Área da secção transversal da sapata
B	Desenvolvimento do muro
c	Recobrimento
d	Distância entre o centro de gravidade das armaduras e o bordo da secção
E_{cm}	Módulo de elasticidade médio do betão
E_n	Módulo de elasticidade do betão do muro
E_o	Módulo de elasticidade do betão da sapata
E_s	Módulo de elasticidade do aço
f_{ctm}	Tensão de rotura do betão à tração (valor médio)
G_f	Energia de fratura libertada na formação de uma fenda de superfície unitária
H	Altura do muro
h	Altura total da secção
$h_{c,eff}$	Altura de betão envolvente da armadura que efetivamente contribui para determinar o valor de $A_{c,eff}$
h_{max}	Altura máxima atingida pela fissuração nos muros de suporte
k	Coefficiente que considera o efeito das tensões não uniformes auto-equilibradas =1.0 para espessuras do muro inferiores a 300 mm =0.65 para espessuras do muro superiores a 800mm valores intermédios podem ser obtidos por interpolação
k_c	Coefficiente que tem em conta a distribuição de tensões na secção, imediatamente antes da fendilhação e da variação do braço do binário =1 para tração simples
R_{ax}	Grau de restrição
R_j	Restrição na interface muro/sapata
RH	Humidade relativa do ar ambiente
S	Espaçamento entre fendas

S_{min}	Espaçamento mínimo entre fendas
$S_{r,max}$	Distância máxima entre fendas
T	Temperatura em graus Celsius
t	Tempo em dias
w_k	Abertura de fenda característica
α_e	Relação E_s/E_{cm}
ϵ	Extensão
ϵ^*1	Extensão de cálculo associada ao diagrama tensão-extensão da metodologia „tension stiffening“
ϵ^*2	Extensão de cálculo associada ao diagrama tensão-extensão da metodologia „tension stiffening“
ϵ_{ca}	Extensão de retração autogénea a tempo infinito
ϵ_{cd}	Extensão de retração por secagem a tempo infinito
ϵ_{ct}	Extensão associada à tensão de rotura do betão à tracção simples
ϵ_{cs}	Extensão de retração no instante t
ϵ_{cm}	Extensão média no betão entre fendas
ϵ_{free}	Extensão existente caso o elemento não fosse restringido
ϵ_{sm}	Extensão média da armadura, que inclui o efeito das deformações impostas considerando a contribuição do betão tracionado. Considera-se apenas a extensão de tracção que ocorre para além do estado de extensão nula do betão no mesmo nível.
ϵ_{sy}	Extensão de cedência do aço
ρ	Taxa de armadura
$\rho_{p,eff}$	Taxa de armadura tendo em conta a área de betão afectada pela interface aço/betão
σ_c	Tensão no betão

1. INTRODUÇÃO

1.1. FENDILHAÇÃO EM ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

A fissuração em estruturas de betão é atualmente um fenómeno condicionante no dimensionamento de elementos em betão estrutural. Há 30 anos atrás o aço utilizado tinha classes de resistência inferiores o que obrigava a um maior número de varões, menores espaçamentos e, conseqüentemente, um controlo de abertura de fendas quase que automático. Desta forma não era dada grande importância à verificação da abertura de fendas em fase de projeto. Hoje em dia, com o aumento das classes de resistência do aço (utilização de aços das classes S400 e S500), este fenómeno já não pode ser dispensado de ser calculado e, embora ainda existam engenheiros que nunca o contemplaram, este é obrigatório. O controlo da fendilhação é um dos principais requisitos para que sejam cumpridos critérios de durabilidade, funcionalidade e, não menos importante, qualidade estética.

A fendilhação de elementos estruturais pode ser devida a cargas aplicadas ou devida aos efeitos das deformações impostas em elementos impedidos de se deformar livremente. Esta última é de mais difícil quantificação. A retração e as variações de temperatura, ao originarem deformações volumétricas nos materiais, geram esforços que podem ser significativos e levar à ocorrência da abertura de fissuras. Em muitos casos, uma correta conceção estrutural pode ajudar a minimizar os efeitos das deformações impostas. Quando tal não é possível torna-se necessário que o projetista tenha conhecimento e disponha das ferramentas adequadas para a correta estimativa das aberturas de fendas

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação aborda o estudo do efeito das deformações impostas em estruturas de betão, incidindo especialmente na comparação entre tirantes e muros de betão armado. A partir de estudos paramétricos, pretende-se compreender qual o efeito que determinados parâmetros têm nos padrões de fendilhação e respetivas aberturas de fendas em muros de betão armado. As deformações impostas são modeladas a partir de uma variação de temperatura, simulando assim efeitos de retração. São estudados diversos parâmetros, nomeadamente:

- Relação B/H (desenvolvimento longitudinal/altura)
- Efeito do grau de restrição

Para os parâmetros descritos, serão estudados diferentes elementos no muro correspondentes a diferentes secções no seu desenvolvimento longitudinal e na sua altura.

Pretende-se desta forma contribuir para a compreensão destes parâmetros, que não são contemplados no cálculo da abertura de fendas preconizada pelo Eurocódigo 2 – Parte 1-1 [1], a qual é formulada tendo em vista um elemento com restrição total, como é o caso do tirante.

Com recurso a „software“ de análise de elementos finitos, mais concretamente o DIANA, desenvolvido pela empresa TNO em cooperação com a Universidade de Delft, serão modelados diferentes elementos estruturais (tirante e muro) e estudados diversos parâmetros para analisar a sua influência nos padrões de fendilhação e no cálculo de abertura de fendas. Será ainda feita uma comparação entre os resultados obtidos numericamente com as formulações previstas pelo Eurocódigo 2 Parte 1-1 para avaliar a sua aplicabilidade à quantificação da abertura de fendas em elementos não totalmente restringidos, como é o caso dos muros.

1.3. ORGANIZAÇÃO EM CAPÍTULOS

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos, sendo que o primeiro, constituído pela presente introdução, pretende explicar ao leitor os assuntos que serão desenvolvidos, assim como apresentar a estrutura da tese.

No Capítulo 2 são apresentados os fenómenos diferidos que afetam as estruturas ao longo da sua vida útil e o mecanismo de fendilhação a que as mesmas estão sujeitas. Começa por fazer-se uma introdução ao calor de hidratação seguido de uma apresentação de todos os tipos de retração que provocam deformações às estruturas. É também descrita resumidamente a fluência e o efeito das variações de temperatura. Por fim, é feita uma descrição do mecanismo de fendilhação de um tirante para que se possa fazer comparações com os muros, estruturas analisadas no Capítulo 4.

O Capítulo 3 descreve as abordagens regulamentares ao cálculo da abertura de fendas. Inicialmente é feita uma abordagem ao grau de restrição das estruturas, contemplado no documento C660, elaborado pela CIRIA [2]. Seguidamente é abordado o cálculo da armadura mínima, assim como o cálculo da abertura de fendas preconizado pelo Eurocódigo 2 parte 1-1 e pelo Eurocódigo 2 parte 3 [3].

O Capítulo 4, capítulo central deste estudo, inicializa-se pela introdução aos modelos utilizados assim como a descrição das definições dos materiais, geometria e condições de apoio utilizadas. É também efetuada uma validação dos modelos utilizados, modelando um tirante, certificando que os restantes modelos estão corretos. Por fim, são feitas análises paramétricas em muros de betão fundados em sapatas rígidas previamente betonadas. O objetivo destas análises é tirar conclusões sobre o efeito dos diferentes parâmetros nos valores de tensão nas armaduras e na respetiva abertura de fendas.

Finalmente, no Capítulo 5, são descritas algumas conclusões obtidas com o desenvolvimento do presente estudo, assim como são sugeridos alguns desenvolvimentos futuros.

2. COMPORTAMENTO DO BETÃO

Nos últimos anos o betão tem sido um dos principais materiais utilizados para a construção em todo mundo. Pelas suas características é uma escolha óbvia comparativamente com muitos outros materiais. Podem indicar-se como algumas vantagens o facto de ser resistente ao fogo, de ser facilmente moldável e assim poder ser colocado diretamente em obra (sem necessitar de pré-fabricação), ter uma elevada resistência à compressão e, não menos importante, a sua vantagem económica. O betão é formado por uma mistura de agregados, água e cimento, o que o torna um material não homogéneo. Neste capítulo descreve-se o comportamento diferido do betão e os mecanismos de fendilhação em estruturas de betão armado.

2.1. HIDRATAÇÃO

A hidratação do cimento é um processo muito importante quando é necessário analisar o comportamento do betão nas primeiras idades. Embora não seja muito relevante, quando comparado com fenómenos como a retração, em estruturas de espessuras correntes (até 50 cm), são necessários cuidados especiais ao nível do seu conhecimento quando estão a ser calculadas estruturas massivas como por exemplo, barragens ou grandes reservatórios. Devido ao aumento do uso de betões de elevado desempenho (designados nesta dissertação por HPC, do Inglês “High Performance Concrete”), betão ao qual estão associadas grandes alterações volumétricas do material causadas pela geração de grandes calores de hidratação, torna-se necessário que o Engenheiro atual conheça o fenómeno e saiba utilizar as ferramentas necessárias para a sua caracterização.

O desenvolvimento dos cimentos Portland, com o objetivo de conferir ao betão propriedades de resistência mais elevadas num menor espaço de tempo, fez com os engenheiros trabalhem com betões em que o desenvolvimento do calor de hidratação aumenta consideravelmente. O aparecimento de fendas nos primeiros dias do betão é uma consequência da geração de níveis de calor de hidratação elevados. As tensões que se desenvolvem devido ao efeito térmico podem fazer com que o betão atinga tensões de tração suficientemente grandes para que surja o aparecimento destas fendas. Este tipo de fendas pode ser classificado em duas categorias distintas: fendas superficiais e fendas atravessantes [4]. As primeiras ocorrem durante a fase de aquecimento da hidratação do cimento e algumas podem fechar na fase posterior, a do arrefecimento. Podem ser visíveis constituindo uma entrada para agentes externos agressivos pondo assim em causa a durabilidade do betão. O outro tipo de fendas ocorre durante a fase de arrefecimento devido a restrições tanto externas como internas e podem afetar a durabilidade e até a segurança estrutural visto introduzirem grandes descontinuidades [4].

É importante, como referido anteriormente, um conhecimento do potencial da geração de calor libertado associado a um determinado cimento para, em obra, conseguir prever o seu comportamento térmico e assim prever o risco de fendilhação prematura. A definição desta quantidade de calor gerado durante a fase de hidratação do cimento sai fora do âmbito desta dissertação mas aconselha-se uma leitura de Azenha [5], onde foram estudados estes fenómenos e modelos para a sua caracterização.

Como podemos constatar pela observação da figura 2.1, a espessura da secção tem uma grande influência sobre a quantidade de calor gerado nos primeiros dias de idade do betão. Este betão, ainda jovem e com o seu módulo de elasticidade não totalmente desenvolvido, pode sofrer graves problemas se não forem precavidas certas medidas.

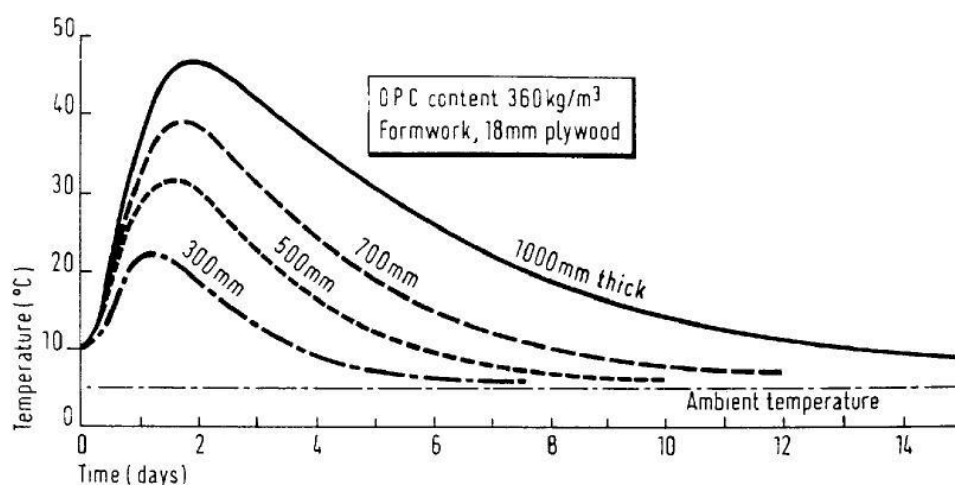


Figura 2.1 – Influência da espessura na subida da temperatura em paredes. [6]

A subida de temperatura resulta da diferença entre o calor gerado pelos processos de hidratação do cimento e o calor dissipado pelo betão. Outras propriedades/condições que podem influenciar esta subida de temperatura são as seguintes,

- Cofragens e isolamento
- Condições do ambiente
- Temperaturas sentidas no momento da colocação do betão
- Proporções de mistura do betão
- Tipos e origens do cimento
- Controlo de temperatura interna (com recurso por exemplo, a tubos de arrefecimento)

O documento da CIRIA [6] dispõe de uma descrição específica de cada uma destas propriedades. Pode ser consultado na bibliografia indicada.

2.2. RETRAÇÃO

A variação das dimensões das peças de cimento, argamassa ou betão, que se verifica desde o final da colocação até ao estado de equilíbrio com o ambiente, a temperatura constante e na ausência de qualquer tensão aplicada, pode ser uma retração ou expansão [7]. Usualmente designa-se por retração a contribuição de ambos os fenómenos de contração e de expansão, dado que o fenómeno mais importante é a diminuição do volume aparente do betão.

A principal componente da retração está relacionada com a perda de parte da água utilizada para o seu fabrico, sendo genericamente designada por retração hídrica, que como veremos, é composta pela componente endógena e de secagem. A parcela térmica da retração tem também grande influência nas alterações volumétricas do betão sendo que é mais significativa em estruturas massivas e nos primeiros dias do betão. Contudo, existem outras componentes da retração que devem ser consideradas e que ocorrem em simultâneo com a perda de humidade (retração plástica, química, de carbonatação). Serão descritas neste trabalho mas com menor preponderância pois o seu estudo pode, geralmente, ser desprezado.

2.2.1 RETRAÇÃO PLÁSTICA

A retração plástica pode ocorrer entre o fim da compactação e antes da presa, ou seja, antes que as propriedades mecânicas se encontrem desenvolvidas. O intervalo de tempo no qual o aparecimento de fendas na superfície do betão decorre pode chegar a ser de 10 a 20 minutos. Não há grandes estudos sobre este tipo de fissuração pois consegue-se evitá-la facilmente recorrendo à revibração do betão mas a sua ocorrência pode afetar significativamente a durabilidade das estruturas.

As duas principais causas da fissuração neste estado são a composição do betão, devido às diferentes densidades dos principais elementos constituintes do betão (sendo a água o mais leve e o que mais facilmente se separa), e devido à rápida evaporação da água de amassadura. Neste segundo caso, as causas associadas a este fenómeno, podendo atuar separadamente ou em conjunto, são a grande velocidade do ar, a sua baixa humidade relativa e a temperatura do betão ser superior à temperatura ambiente [8].

2.2.2 RETRAÇÃO QUÍMICA

A retração química, ou retração intrínseca, tem em conta que o volume absoluto da pasta de cimento se reduz quando se dá a hidratação do cimento. Apesar desta contração, verifica-se que após algumas semanas, o volume aparente da mesma pasta endurecida sofre uma expansão. Esta pode ser explicada pela formação de vazios na pasta de cimento, os chamados poros de gel. Le Chatelier fez este estudo por meio de um ensaio simples que pode ser consultado na bibliografia mas que sai fora do âmbito desta dissertação [7].

2.2.3 RETRAÇÃO TÉRMICA

A retração térmica, embora mais preponderante em betões de elevado desempenho ou em estruturas com grandes massas de betão, tem em conta o arrefecimento do betão devido às reações químicas de hidratação do cimento, que são exotérmicas e libertam calor. Numa primeira fase do processo, devido ao aumento das temperaturas, o material tende a expandir e há possibilidade de ocorrência de fendilhação superficial. Estas fendas não constituem um problema maior pois na realidade elas tendem a fechar na fase de arrefecimento do betão devido à sua contração. Ainda durante esta fase e devido ao impedimento à contração do material, pode este atingir o limite da resistência da tensão de tração e, conseqüentemente, ocorrer fendilhação [5].

Como se pode observar na figura 2.2, este fenómeno agrava-se mais após a descofragem, altura em que a dissipação do calor de hidratação do betão aumenta de velocidade e conseqüentemente aumentam as tensões de tração [9].

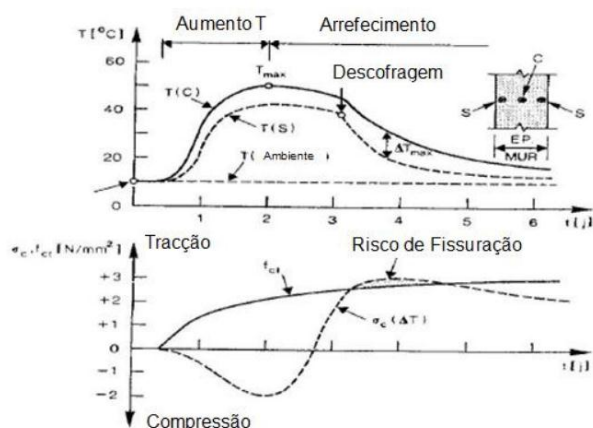


Figura 2.2 - Avaliação do risco de fissuração com base na retração térmica [10]

A retração térmica depende da temperatura do meio ambiente exterior, da natureza do material de cofragem, da dimensão do elemento e da dosagem do cimento utilizado. Como foi dito anteriormente, este tipo de retração é mais importante em betões de elevado desempenho pois a dosagem de cimento é sensivelmente maior o que faz com que a quantidade de componentes hidratados seja maior e haja um aumento da libertação de calor para o exterior [11] [10]. Em estruturas de betão convencional, mas com grandes espessuras (por exemplo barragens), a dissipação do calor de hidratação é dificultada. Este facto faz com que se atinjam temperaturas elevadas durante a hidratação, cuja diminuição lenta, e já com o módulo de elasticidade mais elevado, origina tensões de tração importantes.

2.2.4 RETRAÇÃO DE CARBONATAÇÃO

Sendo a parcela menos relevante dos diferentes tipos possíveis de retração, a retração por carbonatação ocorre devido à reação do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{HO})_2$) com o dióxido de carbono (CO_2) formando assim o carbonato de cálcio (CaCO_3). Afeta apenas uma espessura reduzida da superfície do betão, num processo que se desenvolve muito lentamente.

2.2.5 RETRAÇÃO HÍDRICA

Como referido anteriormente, a retração hídrica é composta pela retração endógena, ou autogénea, e pela retração de secagem e é a parcela mais significativa na análise de estruturas de betão armado convencionais. Enquanto para betões normais a retração autogénea é muito pequena, toma valores significativos para betões de elevado desempenho (HPC's) [12]. A retração hídrica é a única parcela da retração que é contabilizada para o cálculo estrutural, e apesar de na maioria dos casos serem analisados betões ditos “normais”, a parcela endógena não é desprezável, tal como acontece na presente dissertação. Nas figuras 2.3 e 2.4 estão exemplos comparativos de dois tipos de betões, C25/30 e C50/60 respetivamente. Como se pode constatar pela figura 2.3, a retração endógena assume uma percentagem muito mais significativa nos betões de elevada resistência.

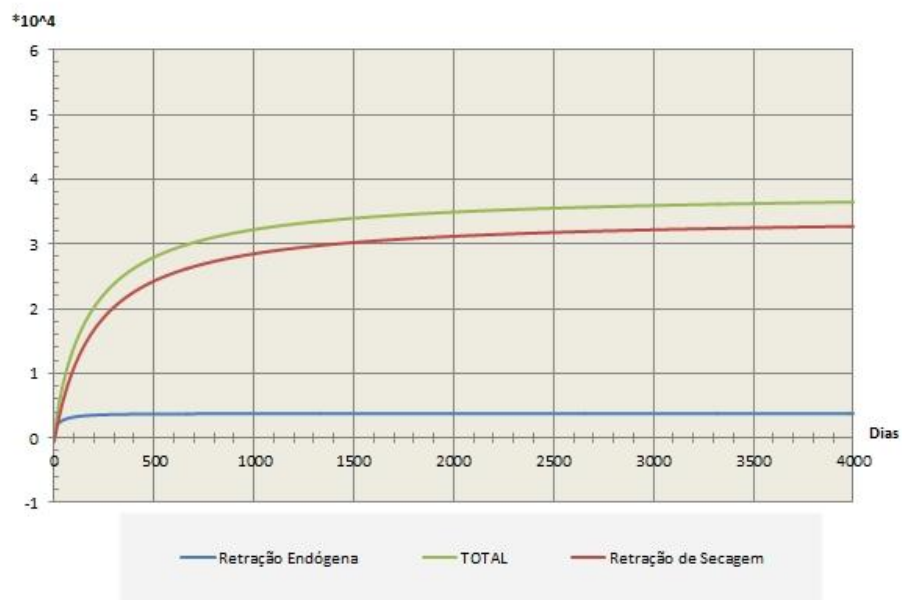


Figura 2.3 – Retração hídrica num betão C25/30 (H=60% CEM N)

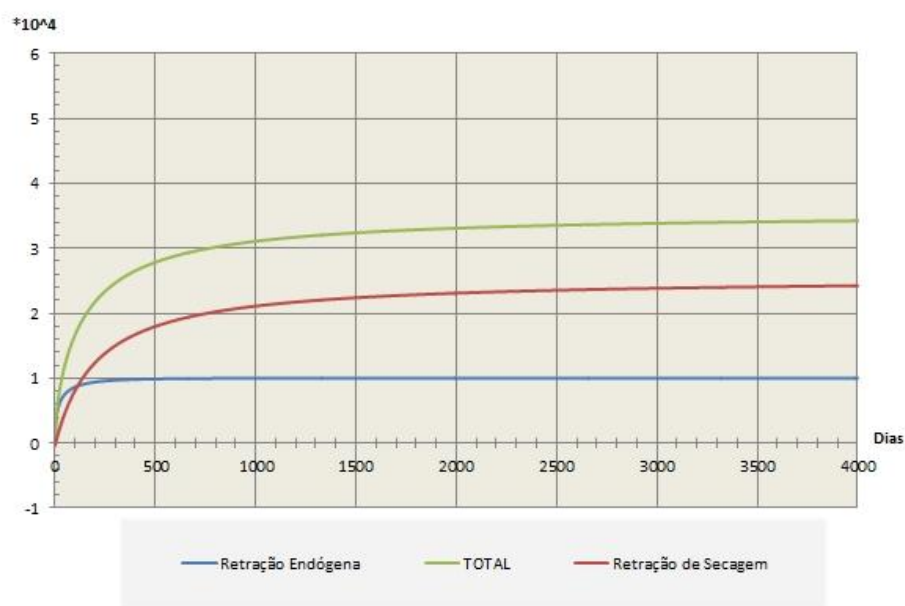


Figura 2.4 - Retração hídrica num betão C50/60 (H=60% CEM N)

2.2.5.1. Retração autogénea

A retração autogénea só tem grande influência em betões de elevado desempenho (HPC) e como tal, apesar de este problema ter sido identificado há mais de um século, só há relativamente pouco tempo é que se iniciou o seu estudo de forma sistemática e generalizada devido à crescente utilização de HPC's.

A retração autogénea ocorre sem trocas de humidade com o exterior, a temperatura constante e aumenta com a diminuição da relação da dosagem água/cimento. À medida que as reações químicas ocorrem, a água presente no interior dos poros é consumida originando assim perdas de pressão que consequentemente faz com que haja uma retração do betão.

Em betões normais, esta retração é normalmente representativa de uma pequena parte da retração hídrica e ocorre nas primeiras idades do betão, considerando-se que 80% do seu valor é atingido aos 28 dias de idade.

2.2.5.2. Retração de secagem

A parcela mais significativa de todos os tipos de retração em betões normais é a retração de secagem ou, como é por vezes denominada, a retração de dissecação. O processo de secagem não começa enquanto não forem removidas as cofragens (à exceção das superfícies que estejam em contacto direto com o ambiente e como tal, são muito sensíveis à secagem precoce razão pela qual é utilizado um processo de cura de forma a evitar que o processo ocorra). É um processo extremamente lento e que

pode durar, até estar totalmente terminado, de vários anos até vários séculos para espessuras superiores a 50 cm. [12]

É essencialmente produzida pela difusão de água na direção das faces expostas à secagem em presença de um gradiente hídrico entre o betão e o ar ambiente. Quanto maior a relação água/cimento, maior a retração de secagem. Assim se explica o facto de na figura 2.4, em betões de alta resistência, esta parcela da retração ser bastante inferior à dos betões ditos normais, devido às menores quantidades de água após a hidratação e à menor porosidade [13].

2.2.6 CÁLCULO DA RETRAÇÃO SEGUNDO EUROCÓDIGO [1]

O Eurocódigo 2 – parte 1-1 considera em termos de cálculo que a retração total a que as estruturas estão sujeitas compreende as parcelas autógena e de secagem.

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \quad (2.1)$$

em que,

- ε_{cs} Extensão total de retração
- ε_{cd} Extensão total de retração por secagem
- ε_{ca} Extensão total de retração autógena

O cálculo de cada uma destas parcelas sai fora do âmbito desta dissertação. Apenas foi mencionado para mostrar que segundo a maioria das legislações existentes e sobretudo das que mais são utilizadas por nós, somente são consideradas as parcelas de retração de secagem e autógena. Informações pormenorizadas sobre o cálculo das mesmas podem ser encontradas na bibliografia referenciada.

2.3. FLUÊNCIA

A fluência define-se como sendo uma deformação adicional à deformação elástica instantânea, que ocorre num elemento de betão quando este se encontra sujeito a um estado de tensão. De uma forma geral, a origem deste fenómeno é atribuído à presença da pasta de cimento hidratado, tendo em conta que os agregados de densidade normal apresentam fluência desprezável [14] [10].

No caso de solicitações de longa duração, tal como é caso da retração, a fluência altera significativamente a resposta da estrutura, devendo ser devidamente contabilizada pelos projetistas. Para poder ser contabilizada convém referir quais os parâmetros de que esta depende. Estes podem ser enumerados como sendo:

- Período do carregamento $[t, t_0]$
- A idade do betão no momento do carregamento t_0 ;

- A relação água/cimento e, indiretamente, a correspondente resistência do betão;
- A velocidade de endurecimento do betão;
- A temperatura e humidade relativa do ambiente;
- Tipo de cimento utilizado;
- Dimensões do elemento.
- Do nível das solicitações aplicadas se $\sigma_c > f_{ck}/2$

A fluência é também função de fatores que afetam a secagem do material como é o caso da humidade relativa e a temperatura do ambiente. Aumenta com a descida da humidade relativa e com a diminuição das dimensões do elemento. O incremento da temperatura aumenta igualmente a fluência. A dependência da fluência com a temperatura é muito mais pronunciada a temperaturas elevada. A fluência a uma temperatura média de 40° C é cerca de 25% mais elevada que a 20° C.

Por fim, a fluência depende do nível da tensão aplicada. Desde que a tensão para a ação quase permanente seja limitada a $0,45f_{ck}$, a fluência é aproximadamente proporcional à tensão aplicada e é definida como fluência linear. Para níveis de tensão elevados, a fluência aumenta a uma velocidade mais rápida e torna-se não linear em relação à tensão. Pensa-se que este comportamento não linear a níveis de tensão elevados está ligado a um aumento da microfissuração.

Para quantificação do valor do coeficiente de fluência, recomenda-se uma leitura do Eurocódigo [1].

A descrição aqui apresentada baseia-se nas descrições feitas por Vieira [13] e nas seguintes referências [15] [16].

2.4. VARIAÇÕES DE TEMPERATURA

Ao contrário da retração, que ocorre ao longo da vida de uma estrutura sempre de forma crescente, as deformações impostas à estrutura devido às diferenças de temperatura ocorrem de forma cíclica, com maior ou menor intensidade, dependendo da exposição ao meio ambiente e das condições climatéricas que se possam sentir. Outros fatores que também podem influenciar a magnitude do efeito térmico são a orientação da estrutura, a sua massa, os seus revestimentos e isolamentos térmicos. Podem ainda ser caracterizadas como sendo sazonais (Verão/Inverno) ou diárias (Dia/Noite) [13].

O efeito da temperatura numa secção não é uniforme, pelo que a sua distribuição como ação é dividida, geralmente, em diferentes parcelas como representado na figura 2.5.

- Componente de temperatura uniforme ΔT_u
- Componente de temperatura diferencial linear, segundo as componentes definidas pelos planos yy e zz, ΔT_{My} , ΔT_{Mz}
- Componente não linear de temperatura, que gera um sistema de tensões autoequilibradas ΔT_u

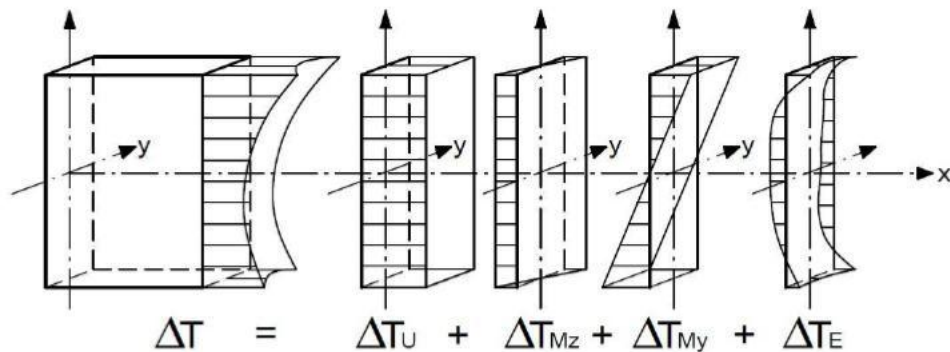


Figura 2.5 – Diagrama das componentes de um perfil de temperatura [17]

A variação de temperatura, ao atuar numa estrutura isostática, provoca extensões axiais associadas à parcela de variação uniforme e curvaturas associadas à parcela de variação linear (Figura 2.6). Refira-se que a parcela de deformação não linear gera estados de tensão autoequilibrados, que poderão provocar alguma fendilhação local na secção nas zonas tracionadas. Por sua vez, se as parcelas de deformação uniformes e de curvatura estiverem restringidas, como acontece em estruturas hiperestáticas, geram esforços hiperestáticos.

Neste trabalho, optámos por aplicar às estruturas em estudo uma variação de temperatura com o objetivo de transformar estas ações em deformações impostas.

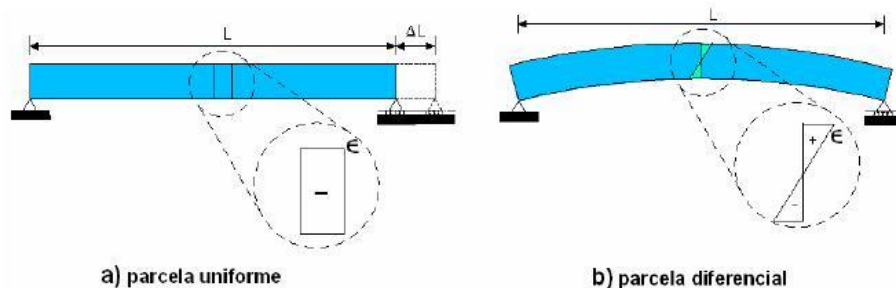


Figura 2.6 - Resposta estrutural; a) parcela uniforme e b) parcela diferencial [18]

2.5. MECANISMO DE FENDILHAÇÃO

Torna-se importante estudar os mecanismos de fendilhação do betão pois, como referido anteriormente, este está sujeito a efeitos diferidos no tempo que correspondem a deformações impostas que, ao estarem restringidos, geram tensões de tração nos elementos estruturais e provocam o aparecimento de fissuras.

A forma mais fácil de compreender o mecanismo de fendilhação é procedendo à análise de um tirante submetido à tração. No capítulo 4, serão demonstrados exemplos para o caso de um tirante sujeito a uma deformação imposta crescente linear.

2.5.1 RESPOSTA ESTRUTURAL DE UM TIRANTE SUBMETIDO À TRAÇÃO PURA

Nesta secção apenas será tratado o caso em que um tirante (elemento estrutural mais simples e como tal, vantajoso na medida em que se torna mais perceptível de nos apercebermos dos fenómenos físicos envolvidos) é solicitado por uma deformação imposta.

O tirante de betão armado ao ser submetido a uma deformação imposta passa por três estados até atingir a rotura (Figura 2.7). Inicialmente um estado não fendilhado (estado I, regime elástico), depois o estado fendilhado (comportamento não linear do elemento) que se subdivide em duas fases, a primeira de formação de fendas e a segunda de fendilhação estabilizada e, finalmente, um terceiro estado a partir da cedência do aço até à rotura.

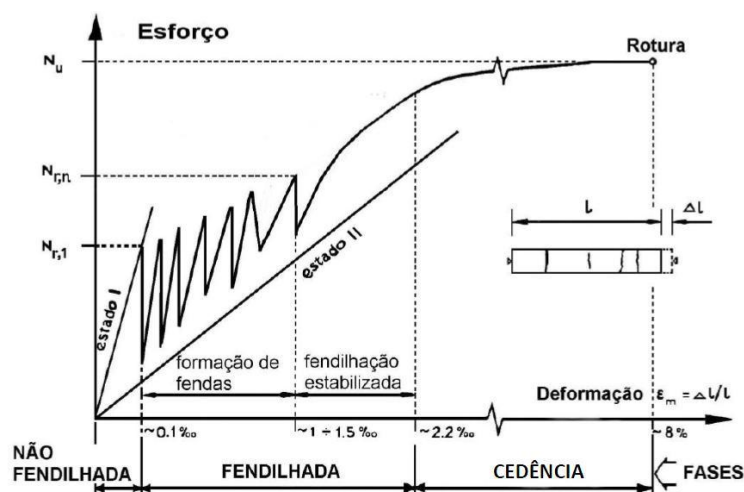


Figura 2.7 – Comportamento de um tirante de betão armado solicitado por uma deformação imposta axial crescente. [19]

Numa primeira fase, no estado não fendilhado, o tirante apresenta um comportamento elástico linear, no qual as tensões de tração a que o elemento está sujeito são inferiores à tensão de resistência à tração do betão, f_{ctm} . Nesta primeira fase, o papel desempenhado pelo aço é ainda pouco significativo.

A partir do momento em que a solicitação ultrapassa o esforço $N_{r,1}$, correspondente ao valor da resistência à tração do betão, o elemento fendilha. A fase fendilhada pode dividir-se em duas partes: fase formação de fendas e fase de fendilhação estabilizada (Figura 2.7).

Na fase de formação de fendas a abertura média das fendas permanece praticamente constante, verificando-se que o número de fendas aumenta com o aumento da deformação imposta, desde que a quantidade de armadura seja suficiente para evitar a plastificação. Constata-se que após a abertura de cada fenda, ocorre uma redução brusca do esforço N , sob uma deformação constante. Isto deve-se ao facto de quando há a ocorrência de uma nova fissura, está associada uma quebra de rigidez, o que origina uma quebra do esforço atuante.

Entra-se num processo de fendilhação estabilizada quando não é possível a formação de mais fendas. A partir daqui o elemento comporta-se de novo quase linearmente, mas com uma rigidez incremental superior à anterior. A deformação global segue uma lei intermédia entre as retas correspondentes ao Estado I (não fendilhado) e ao Estado II (fendilhado, com a rigidez só da armadura, sem qualquer contribuição do betão tracionado). Durante esta última fase, não há formação de novas fendas mas sim um aumento da abertura das fendas formadas na fase anterior.

Na figura 2.8, está representado um esquema do modelo de comportamento de um tirante na fase de formação de fendas. Consta-se que os abaixamentos sucessivos de esforços observados na figura 2.7 devem-se ao facto da rigidez axial nessas zonas descer consideravelmente dado que apenas as armaduras passam a resistir ao esforço axial e sua rigidez é muito inferior quando comparada com a soma das rigidezes introduzidas pelo aço e pelo betão. À medida que nos afastamos da secção da fenda, e devido à aderência aço/betão, a rigidez passa a ser a soma dos dois materiais ($E_s \times A_s + E_c \times A_c$) até se atingir novamente o valor máximo da tensão de tração (será demonstrado nos capítulos seguintes que elementos com outro tipo de restrições, como é o caso do muro, este processo não é assim tão linear).

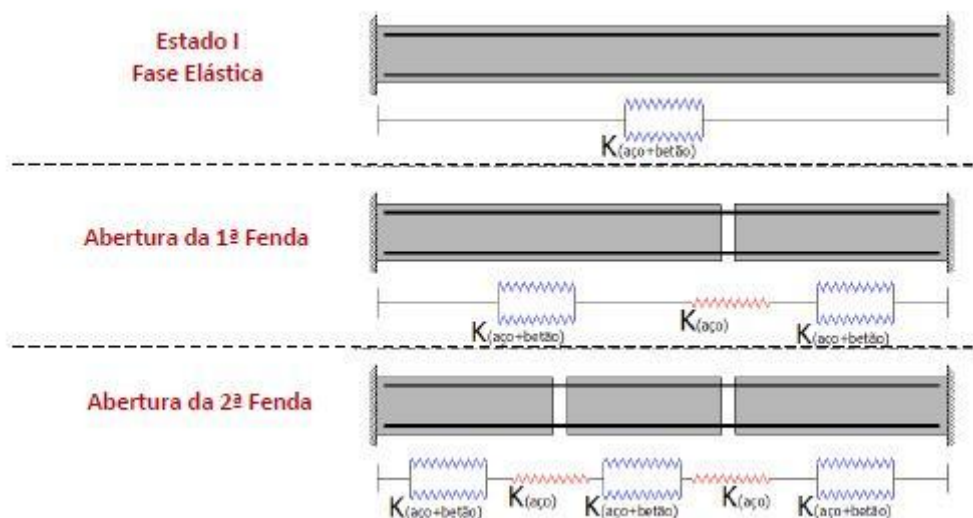


Figura 2.8 - Comportamento global da abertura de fendas num elemento de betão estrutural [18]

Quando se forma a primeira fenda, há uma diminuição significativa da força pelo que não há risco de plastificação da armadura. Há medida que a extensão vai aumentando, o esforço instalado no tirante vai crescendo assim como a fenda vai abrindo, até ao máximo de N_{cr} . Se no entanto a resistência da armadura for suficiente para resistir ao esforço de fendilhação N_{cr} , então formar-se-ão novas fendas. Na formação de cada nova fenda dá-se uma ligeira diminuição na abertura das fendas já existentes (Ver figura 2.9).

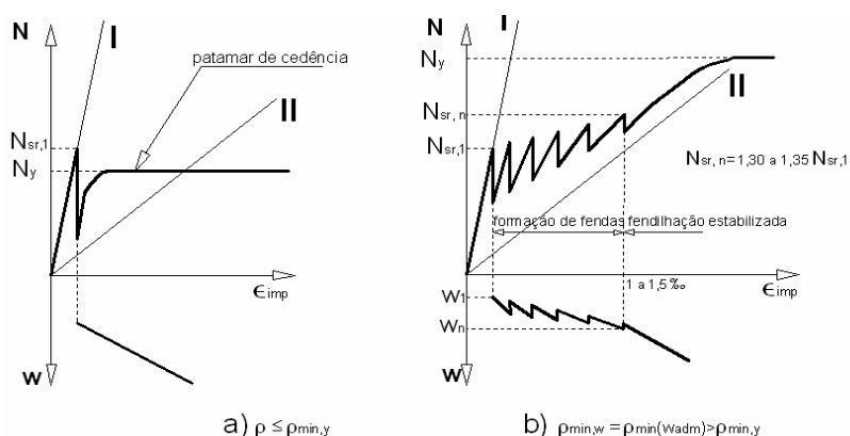


Figura 2.9 - Evolução das tensões na armadura e consequente abertura de fenda - deformação imposta:

a) Sem armadura mínima; b) Com armadura superior à mínima [18].

É importante referir que para o caso de cargas aplicadas, o nível de tensão a que a armadura se encontra sujeita encontra-se, geralmente, acima da tensão de fendilhação e, como tal, as armaduras são dimensionadas para o esforço a que estão sujeitas. No caso de solicitações devido a deformações impostas, para um tirante, as armaduras são dimensionadas para o esforço de fendilhação N_{cr} devido ao facto do tirante se encontrar em fase de formação de fendas. Em fase de fendilhação estabilizada, a deformação impedida, ϵ_{imp} , é igual a ϵ_{free} , deformação que ocorreria caso o elemento estivesse totalmente desimpedido de se deformar.

Estando o muro sujeito apenas a restrição na base, sugerindo que ϵ_{imp} não será o mesmo que ϵ_{free} em fase de fendilhação estabilizada, pretende-se neste estudo avaliar qual a influência do grau de restrição da estrutura na abertura de fendas.

3.

ABORDAGENS REGULAMENTARES

No presente capítulo pretende-se demonstrar algumas das abordagens correntemente utilizadas para prever e limitar a abertura de fendas nas estruturas mais correntes em situações de serviço. Serão abordados códigos atuais, como o Eurocódigo 2 – Parte 1 [1] e o Eurocódigo 2 – Parte 3 [3] e também algumas alterações sugeridas pela CIRIA [2].

3.1. GRAU DE RESTRIÇÃO DA ESTRUTURA

O grau de restrição de uma estrutura é um fator bastante importante e que se deve conhecer e saber calculá-lo quando queremos calcular a abertura de fendas devido a deformações impostas. O nível de tensões induzido pelas deformações impostas está diretamente relacionado com o seu grau de restrição. Se uma peça de betão estiver completamente livre para se deformar, tanto internamente com externamente, ao lhe serem impostas deformações, o nível de tensões gerado será nulo. Não sendo o betão um material totalmente homogéneo e existindo aderência entre aço e betão, as deformações totalmente livres nunca poderão existir. Conseguimos portanto identificar dois casos de deformação restringida: (i) a primeira, devido às restrições externas, normalmente denominadas como condições fronteira; e outra (ii) devido às restrições internas do material [10].

Nesta dissertação apenas serão tratadas as restrições externas. As restrições internas, devido à dificuldade de caracterização do betão como material heterogéneo, não serão modeladas no Capítulo 4. A aderência aço betão também não será modelada pois neste trabalho trabalhar-se-á com tensões médias modelando de forma indireta o fenómeno da aderência.

3.1.1 RESTRIÇÃO EXTERNA

Atualmente, são referenciadas pelas normas existentes dois tipos de restrição. Já foi referenciado que consoante a natureza da restrição, o desenvolvimento da fenda, o cálculo do seu espaçamento e da sua abertura e também os níveis de tensão associados, tomam diferentes valores, motivo pelo qual é necessário calcular bem a sua influência. Os dois tipos de restrição externa contemplados pelas normas são os seguintes (como se pode verificar pela figura 3.1): (i) Restrição isolada numa das faces

(caso comum em muros); (ii) ambas as extremidades estão impedidas de se deformarem (caso de tirante ou caso em que uma laje é betonada posteriormente entre duas paredes). Na maioria dos documentos existentes este tipo de restrição é denominado como sendo „edge restraint“ e „end restraint“, respetivamente. Para facilidade de utilização do conceito, estes dois fenómenos serão referenciados com esta nomenclatura na presente dissertação. O documento da CIRIA publicado em 2010 tem presente uma informação mais detalhada sobre este assunto [2].

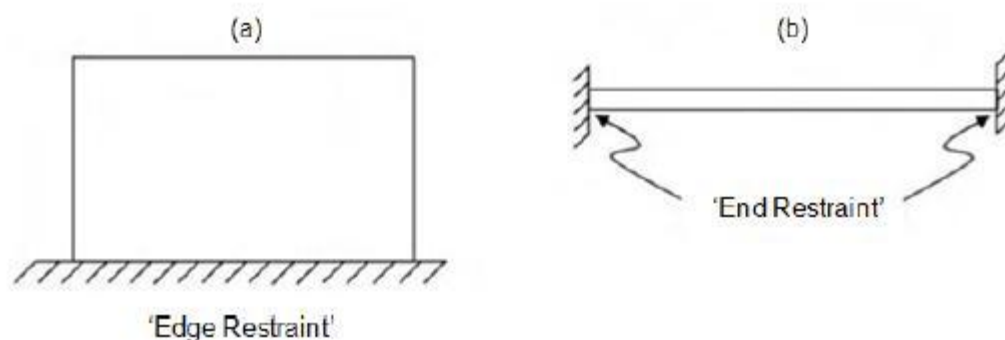


Figura 3.1 – Exemplo de tipos de restrição referenciados pelas principais normas. a) “Edge Restraint” b) “End Restraint” [20]

3.1.1.1. Elementos com ambas as extremidades restringidas – „End Restraint“

O caso em que um novo elemento é betonado entre duas zonas pré-existentes, simulando assim uma espécie de tirante, tem sido alvo de pesquisa e desenvolvimento ao longo dos últimos 30 a 35 anos. Tanto o Eurocódigo 2 – parte 1-1 [1] como o Eurocódigo 2 – parte 3 [3] contemplam formulações capazes de calcular os seus efeitos. Pelo presente motivo assim como o principal objetivo desta dissertação ser tratar o estudo de muros, estruturas equiparadas a elementos com „edge restraint“, pelo menos na sua maioria, não será dado muito ênfase a este caso particular.

3.1.1.2. Elementos com uma fronteira restringida – „Edge Restraint“

No caso de elementos apenas restringidos por um dos seus bordos, caso muito comum de muros, ainda não foram desenvolvidos estudos sistemáticos suficientes e, como tal, não existem ainda grandes recomendações que possam ser feitas sobre o assunto. No caso específico de um muro, a sapata funciona como restrição, pois ao ser executada previamente, não tem as mesmas características que a parede do muro em termos de evolução das propriedades dos materiais e das variações volumétricas causadas pela retração. Como tal, no capítulo 4, onde serão efetuados alguns estudos paramétricos de muros, serão aplicadas variações de temperatura aos elementos do muro mas será simulado que a sapata já se encontra em fase estabilizada no que diz respeito à retração.

Na figura 3.2 pode ser observado o aparecimento de tensões tangenciais na zona que liga a sapata ao muro, ocorrendo assim alguma fendilhação. Existem certas diferenças no caso de a sapata ser rígida ou flexível. Estas diferenças podem ser explicadas pelo facto de quando a sapata é rígida, o não levantamento dos extremos faz com que surjam fendas horizontais, assim como fissuras mais abertas.

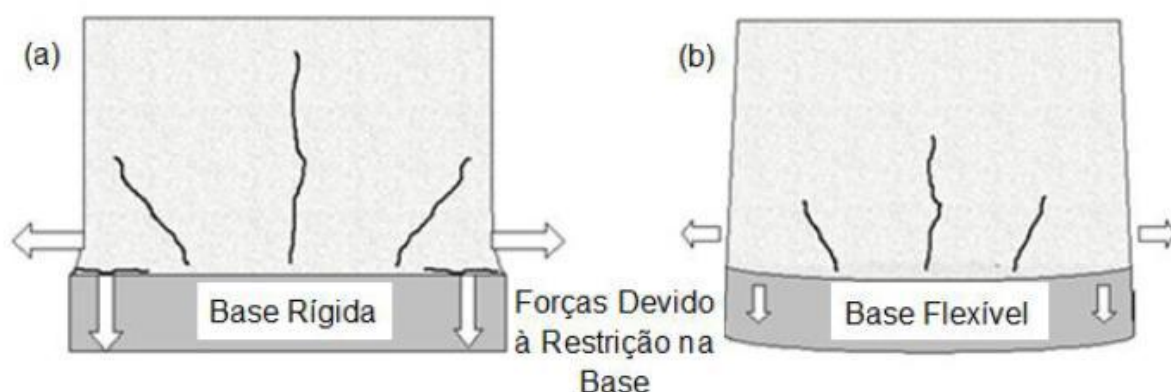


Figura 3.2 - Padrão de fendilhação: a) sapata rígida; b) sapata flexível [10]

Este grau de restrição influi diretamente nos resultados obtidos, sendo assim necessário que seja devidamente calculado. O documento elaborado pela CIRIA [2] assim com o Eurocódigo 2 – parte 3 [3], já dispõem de informação para o auxílio da quantificação deste parâmetro, sugerindo que na base do muro, na zona central, o grau de restrição pode ser considerado como aproximadamente 0.5 mas devem ser consultadas todas as informações disponíveis que possam minorar o erro na sua estimativa. Leitão [10] realça o facto de uma pequena alteração de 0.1 na estimativa do grau de restrição altera em cerca de 20% a quantidade de armadura preconizada pelo projetista. Torna-se óbvio que é de extrema importância uma aproximação quase exata do verdadeiro valor da restrição.

3.1.2 ESTIMATIVA DO GRAU DE RESTRIÇÃO

Já foi referenciada a importância do conhecimento do grau de restrição associado à estrutura que pretendemos calcular devido à sua grande influência na quantidade de aço necessária. Tanto a norma BS8007 (British Standards) como a norma EN1992-3 (já neste relatório referenciada como sendo o Eurocódigo 2 – Parte 3) assumem para grau de restrição o valor de 0.5 (na base do muro), o qual já tem em conta um fator de modificação.

A C660 descreve a base para calcular o „edge restraint“ para paredes encastradas em lajes (ou sapatas) e que foi validada com a comparação com restrições medidas em diferentes paredes. Pode ser definida segundo a seguinte expressão:

$$R_j = \frac{1}{1 + \frac{A_n E_n}{A_0 E_0}} \quad (3.1)$$

em que,

- A_n Área da secção transversal do muro

- A_0 Área da secção transversal da sapata
- E_n Módulo de elasticidade do betão do muro
- E_0 Módulo de elasticidade do betão da sapata'

Apesar de parecer um cálculo simples devido à facilidade com que se podem obter as geometrias dos elementos em análise, torna-se necessário obter a razão entre o módulo de elasticidade que, devido ao seu carácter evolutivo e diferentes períodos de betonagem, tornam este cálculo um bocado mais complexo e com necessidade de mais dados. A C660 [2], trabalho desenvolvido pela CIRIA, apresenta um estudo exaustivo sobre esta variação, assim como diversas recomendações na utilização da Equação 3.1.

No presente trabalho vai ser aproveitado uma base feita por Leitão [10], que se baseia no gráfico com os valores propostos e revistos por Emborg, e serão utilizados os dados da figura 3.3. De referir que ao valor da restrição relativa indicado na figura ainda tem de ser multiplicado um fator de modificação sugerido pela CIRIA e, como visto anteriormente, aplicado pelo Eurocódigo 2 parte 3 e pela norma BS8007, que tem em conta o grande número de simplificações tomadas para o cálculo teórico do fator de restrição, que o tornavam conservativo demais [6]. O fator sugerido é igual a 0.5 e como tal, o grau de restrição sugerido, dando o exemplo da base do muro é igual a 0.5 ($R=0.5 \times 1$).

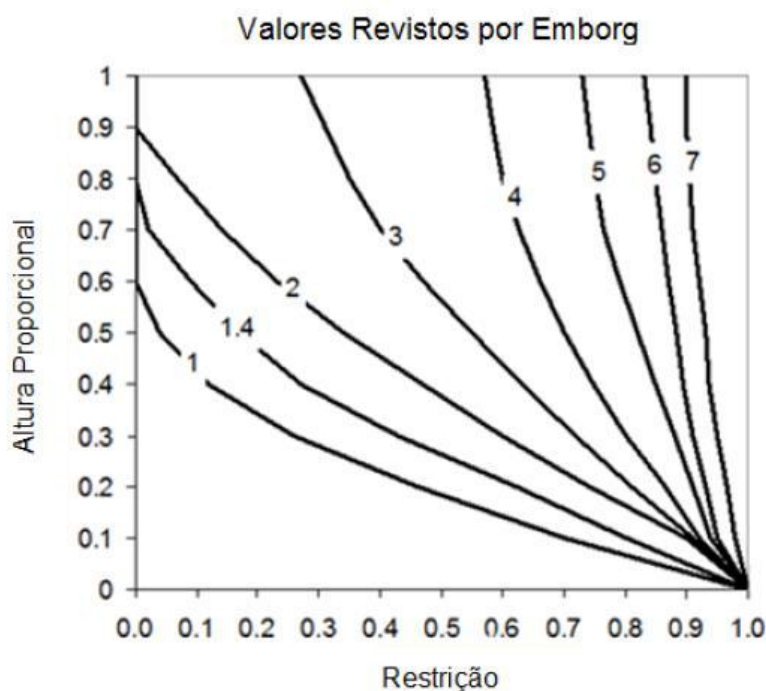


Figura 3.3 - Valores propostos por Emborg no cálculo da restrição relativa, em função da relação L/H, ao longo da altura [10]

3.2. ARMADURA MÍNIMA

3.2.1 CONCEITO DE ARMADURA MÍNIMA

Um primeiro critério para definição da quantidade de armadura mínima, para qualquer tipo de solicitação, quer seja força ou deformação imposta, é condição necessária que a armadura não plastifique para o esforço de fendilhação da peça. Assim, garante-se, no caso de ser uma ação de carga, um mínimo de ductilidade evitando a rotura frágil e para o caso de deformação imposta, evita-se o aparecimento de uma fenda isolada.

Assim, definindo a quantidade mínima de armadura para o critério de não plastificação do aço, tem-se:

$$N_{r,I} < N_{r,II} \Leftrightarrow A_c \times f_{ct} < A_s \times f_{sy} \quad (3.2)$$

Resolvendo em ordem a A_s ,

$$A_s > \frac{A_c \times f_{ct}}{f_{sy}} \quad (3.3)$$

3.2.2 CÁLCULO DA ARMADURA MÍNIMA DE ACORDO COM O EUROCÓDIGO [1]

O Eurocódigo [1] apresenta uma expressão para a avaliação da armadura mínima que tem em conta os conceitos apresentados anteriormente, assegurando que as fendas que ocorram sejam controladas, respeitando os critérios de máxima abertura de fendas. A expressão utilizada por este mesmo regulamento é a seguinte:

$$A_{s,min} \times \sigma_s = k_c \times k \times f_{ct,eff} \times A_{ct} \quad (3.4)$$

em que:

- $A_{s,min}$ - área mínima de armadura para o betão armado na zona tracionada;
- A_{ct} - área de betão tracionado, antes da abertura da primeira fenda;
- σ_s - valor da tensão máxima admissível na armadura logo após a formação da fenda. Poderá tomar no máximo o valor da tensão de cedência, f_{yk} .
- $f_{ct,eff}$ - valor médio da tensão de resistência à tração do betão, à data que se prevê que possam formar as primeiras fendas. Normalmente assume-se $f_{ct,eff} = f_{ctm}$;
- k - coeficiente que considera o efeito das tensões não uniformes auto equilibradas, de que resulta uma redução no nível dos esforços de coação que provocam o início da fendilhação. O coeficiente k pode ser estimado de acordo com a figura 3.4.

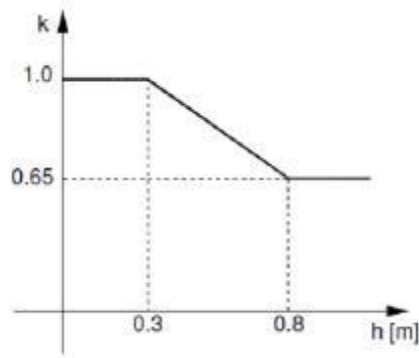


Figura 3.4 - Variação de k em função da espessura, h

- K_c - coeficiente que tem em conta a distribuição de tensões na secção, imediatamente antes da fendilhação e da variação do braço do binário:

Para tração simples $K_c = 1.0$

Para flexão ou flexão composta K_c varia dependendo das secções. Para o caso de secções rectangulares em flexão simples vale 0.4 e para a flexão composta tem-se:

$$K_c = 0.4 \times \left[1 - \frac{\sigma_c}{K_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \quad (3.5)$$

Em que,

- σ_c - tensão média do betão existente na parte da secção considerada, tal que:

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{bh} \quad (3.6)$$

N_{Ed} é o esforço normal no estado limite de utilização atuando na parte da secção considerada (positivo para um esforço de compressão). N_{Ed} deve ser determinado considerando os valores característicos do pré-esforço e dos esforços normais para a combinação de ações apropriada.

- h^*
 - $h^* = h$ para $h < 1,0$ m
 - $h^* = 1,0$ m para $h \geq 1,0$ m

- k_1 coeficiente que considera os efeitos dos esforços normais na distribuição de tensões
 - $k_1 = 1,5$ se N_{Ed} for um esforço de compressão
 - $k_1 = \frac{2h^*}{3h}$ se N_{Ed} for um esforço de tração

Apesar da expressão dada pelo regulamento garanta que dispomos de armadura suficiente para que a fendilhação se desenvolva de forma controlada, não pressupõe que a abertura máxima de fendas cumpra os requisitos mínimos necessários para a estrutura em análise. Seguidamente serão demonstrados os métodos e as fórmulas que permitem estimar esta abertura e quais os valores máximos admissíveis.

3.3. CÁLCULO DA ABERTURA DE FENDAS

O cálculo da abertura de fendas, preconizado quer pelo Eurocódigo 2 parte 1-1 [1] como pelo Eurocódigo 2 parte 3 [3], baseia-se numa análise da abertura característica média que apenas ocorreria caso as fendas estivessem uniformemente distribuídas pelo espaçamento entre fendas característico [10]. Este conceito tem como base uma formulação estatística, que considera que em 95% dos casos analisados o valor da abertura de fendas registado será inferior ao estimado, contemplando o efeito da variabilidade do betão. Ambos os documentos utilizam a equação 3.7 de uma forma genérica, para calcular a abertura de fendas, sendo que a metodologia que permite estimar a parcela correspondente à diferença de extensões entre a armadura e o betão entre fendas é bastante distinta e será abordada nos próximos subcapítulos. A formulação proposta é:

$$W_k = S_{r,max} \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (3.7)$$

3.3.1 ESPAÇAMENTO ENTRE FENDAS

Qualquer elemento estrutural, sob a ação de um efeito axial, ao fendilhar desenvolve fendas transversais na totalidade da secção, onde o elemento passa a ter um comportamento de estado II (somente a armadura a resistir aos esforços $\sigma_s = \sigma_{s2}$; $\sigma_c = 0$). Entre as fissuras, a uma certa distância destas, o elemento volta a ter tensões de tração no betão que, naturalmente, não ultrapassam, a tensão de fendilhação, como se pode constatar na figura 3.5.

A partir da observação da figura 3.5 verifica-se que na zona fissurada há um aumento da tensão na armadura, associado também ao aumento da deformação da armadura em relação à do betão. O aumento desta deformação diferencial faz gerar tensões de aderência na proximidade das fendas que diminuem a partir da zona da fenda até se efetuar a transferência de tensões da armadura para o betão, ao longo do comprimento l_0 , até se restabelecer naquele um nível de tensões próximo ao de fendilhação. Assim, a distância l_0 , denomina-se de comprimento de transferência de tensões.

A distância entre as fendas, depende portanto, da maior ou menor eficiência da transmissão de tensão entre o aço e o betão. Esta por sua vez depende das condições de aderência, que se baseiam numa relação local de tensão-escorregamento entre os dois materiais. Os fatores que estão diretamente

relacionados com este modelo local são a geometria das nervuras e a maior ou menor superfície de contacto entre os dois materiais (depende do diâmetro dos varões). No entanto, são de realçar outros fatores menos diretos, mas igualmente importantes, como o confinamento (Figura 3.6) e as condições de betonagem do elemento.

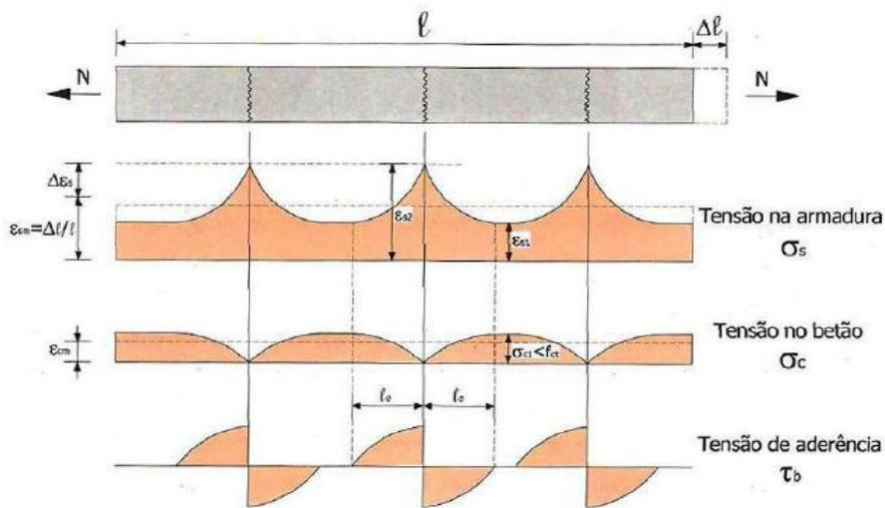


Figura 3.5 - Equilíbrio de tensões ao longo do elemento, na fase de formação de fendas [18]

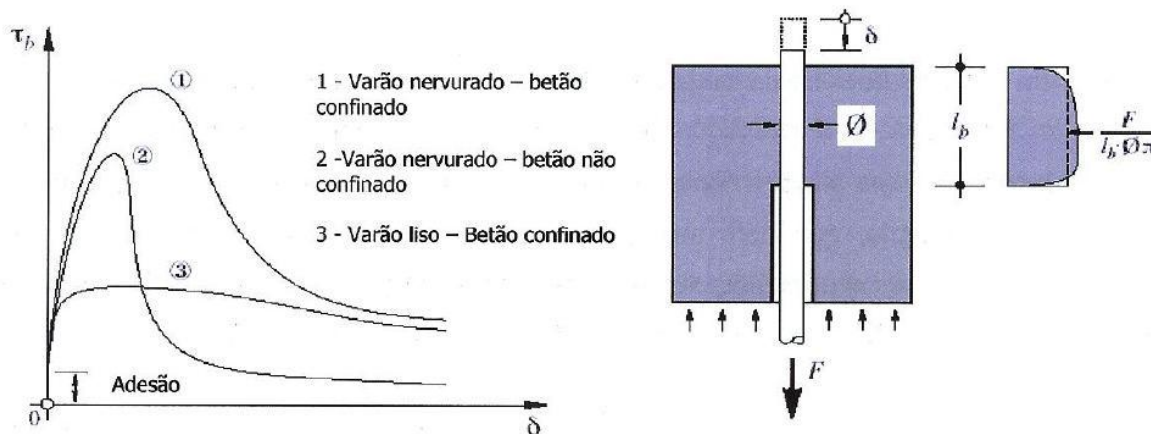


Figura 3.6 - Ensaios tipo – comportamento da aderência aço–betão para várias situações tipo [18]

Analisando a figura 3.6, podemos concluir que o betão confinado com utilizações de varões nervurados, atinge valores de aderência maiores, comparativamente aos outros dois casos em análise, tendendo para um valor residual de tensão após abertura de fenda. Já no caso nº3, betão confinado com varão liso, a tensão máxima de aderência baixa consideravelmente mas mantêm-se os níveis tensão

residual que se atingiam no primeiro caso. O facto pelo qual não se consegue atingir uma elevada tensão de aderência é porque, sendo o varão liso, apenas é mobilizada uma parcela de adesão química entre os dois materiais e o atrito. No segundo caso, sem confinamento do betão, há apenas uma ligeira diminuição da tensão de aderência máxima mas, perde-se quase que totalmente a capacidade de transmitir novamente as tensões para o betão.

A mobilização de armadura provoca a introdução de forças internas no betão e tem tendência a ocorrer numa dada zona envolvente à armadura. O Eurocódigo [1] define esta área como sendo,

$$A_{c,eff} = b \times h_{c,eff} \quad (3.8)$$

em que,

$$h_{c,eff} = \min \left[2.5(h - d); \frac{h}{2} \right] \quad (3.9)$$

onde,

- $h_{c,eff}$ – representa a altura de betão envolvente da armadura que efetivamente contribui para determinar o valor de $A_{c,eff}$
- h – Altura total da secção
- d – distância entre o centro de gravidade das armaduras e o bordo da secção

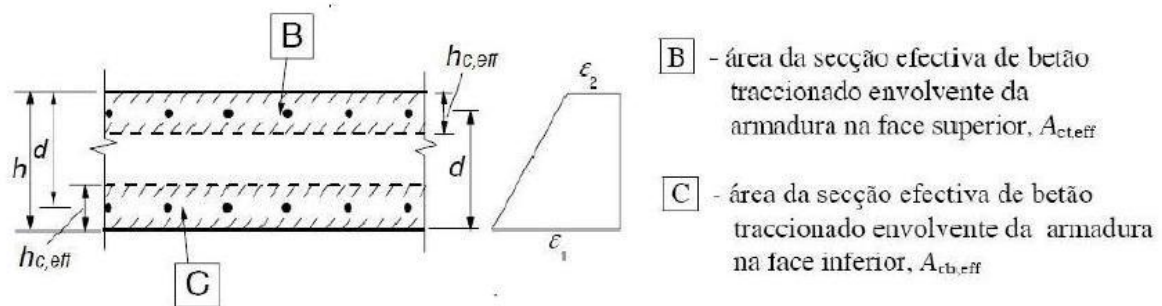


Figura 3.7 - Área de betão efetiva que é afetada pelo fenómeno de aderência aço/betão quando sujeito à tração pura, Figura 7.1 do EN [1]

Tendo presente a figura 3.5 o comprimento, ℓ_0 , necessário para que se possam atingir tensões de modo a que possa surgir uma nova fenda é dado por:

$$N_r = \int_0^{\ell_0} \tau_b \times \pi \times \phi \times dx \Rightarrow A_{c,eff} \times f_{ct} = \int_0^{\ell_0} \tau_b \times \phi \times dx = \tau_{bm} \times \pi \times \phi \times \ell_0 \quad (3.10)$$

Definindo τ_{bm} como sendo o valor médio de aderência no comprimento ℓ_0 , temos,

$$\ell_0 = \frac{A_{c,eff}}{\frac{\pi \times \phi^2}{4}} \times \frac{f_{ct}}{\tau_{bm}} \times \frac{\phi}{4} = \frac{1}{4} \times k \times \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} \quad (3.11)$$

em que,

- $\rho_{p,eff}$ taxa de armadura tendo em conta a área de betão afetada pela interface aço/betão
- $k = \frac{f_{ct}}{\tau_{bm}}$ coeficiente que representa as características médias de aderência

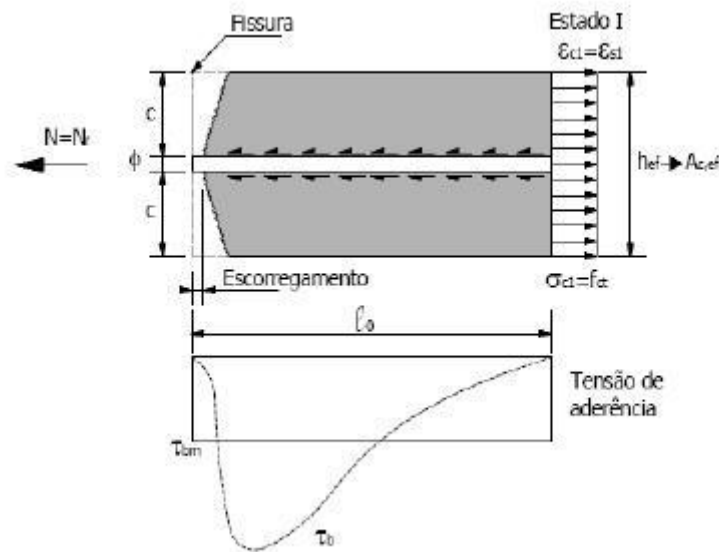


Figura 3.8 - Transmissão de tensão ao longo do comprimento ℓ_0 [18]

Como foi visto anteriormente, apenas se pode prever uma nova fenda quando a uma distancia onde se tenham dado as transferências de tensão do aço para o betão e que atinga um valor mínimo de f_{ctm} . Sendo assim, ℓ_0 representa a menor distância possível entre fendas.

Já no Eurocódigo [1], esta distância é dada por uma formula semelhante em que ℓ_0 é denominado como S_{min} , em que,

$$S_{min} = 0.25 \times k_1 \times k_2 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} \quad (3.12)$$

Sendo,

k_1 , k_2 coeficientes que tem em conta as propriedades de aderência dos varões e a forma da distribuição das extensões na secção.

O valor de $S_{r,max}$ é baseado numa relação direta com a expressão anterior e é dado por:

$$S_{r,max} = 1.7 \times \left(2c + 0.25k_1k_2 \times \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} \right) = 3.4c + 0.425k_1k_2 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} \quad (3.13)$$

Analisando as expressões de avaliação de distancia entre fendas, 3.12 e 3.13, conclui-se que quanto menor a malha de armadura (mesma quantidade de aço para menores diâmetros), menor será o espaçamento entre fendas e quanto menor a percentagem de armadura, ρ , maior a distancia entre fendas.

3.3.2 CÁLCULO DA DIFERENÇA DE EXTENSÃO ENTRE O AÇO E O BETÃO

A diferença da extensão entre o aço e o betão na largura máxima entre a fenda ($(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$), que é necessária para obter o cálculo de w_k , abertura de fendas, é contemplada tanto no Eurocódigo 2 – Parte 1-1 como no Eurocódigo 2 – Parte 3, embora sejam ligeiramente diferentes. De acordo com a norma Europeia EN1992-1-1, $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ é dado pela seguinte expressão:

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \times \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \times (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \times \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (3.14)$$

Já a expressão dada pela norma 1992-3, dizendo respeito ao Eurocódigo 2 – parte 3 é a seguinte:

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = R_{ax} \times \epsilon_{free} \quad (3.15)$$

em que,

- R_{ax} Valor do grau de restrição
- ϵ_{free} Extensão existente caso o elemento não fosse restringido

A diferença entre a extensão do aço e do betão, segundo o Eurocódigo 2 parte 3 (para elementos com restrição na base), é proporcional à deformação que ocorreria caso o elemento não fosse restringido e depende apenas do valor do grau de restrição. Pretende-se no capítulo 4 avaliar a aplicabilidade desta fórmula ao caso de muros em geral e estudar a influência de diversos parâmetros no valor do grau de restrição.

4. ANÁLISES NUMÉRICAS

No Eurocódigo 2 – Parte 1-1 a armadura destinada a controlar a fendilhação devida a deformações impedidas é calculada assimilando o comportamento dos elementos estruturais ao de um tirante de betão armado restringido nos seus topos (“end restraint”). No presente capítulo pretende-se avaliar se esta forma de proceder é adequada ao caso de muros de betão armado, nos quais a restrição à livre deformação está localizada na base (“edge restraint”).

A metodologia utilizada consiste na simulação do comportamento estrutural de elementos tipificados recorrendo a um programa de análise não linear pelo método dos elementos finitos. A deformação impedida é introduzida à custa de uma variação uniforme de temperatura. O caso do tirante é tomado como referência para comparação com os resultados obtidos com os muros. Por outro lado, os resultados obtidos no caso do tirante podem ser facilmente aferidos através de simples cálculos analíticos, permitindo avaliar a validade e a precisão do modelo de análise não linear.

Leitão [10], com base em estudos feitos por Pimentel [21], Faria [22] e Póvoas [23], descreveu na sua tese de Mestrado a forma de modelar o comportamento não linear do betão e qual a melhor maneira de o fazer usando o programa DIANA em modelos de muros e tirantes. Serão utilizadas conclusões obtidas pelo seu estudo para a modelação e escolha de parâmetros a serem utilizados nesta dissertação.

Todas as estruturas foram modeladas e calculadas recorrendo ao programa DIANA desenvolvido pela Universidade de Delft e o tratamento dos dados foi feito com recurso ao Microsoft Excel. Devido ao número avultado de dados com que se teve de trabalhar foi utilizado o software Microsoft Visual Basic para facilitar o tratamento dos mesmos.

4.1. INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO

Para o estudo comparativo de um tirante com um muro e de vários tipos de muro entre eles mesmos foram escolhidos alguns parâmetros que se considerou poderem ser relevantes nesta análise comparativa.

Os parâmetros escolhidos foram:

- Relação B/H;
- Restrição na base da sapata;

A inclusão dos diferentes parâmetros nas análises paramétricas foi feita em 6 elementos distintos de cada muro. Foram escolhidos para análise 3 elementos na zona central do muro (com variação em altura) e outros 3 mais próximos da sua extremidade (com a mesma variação em altura) de forma a captar a influência da restrição nas diferentes zonas que compõem o muro.

4.2. DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA ADOTADA

4.2.1 MALHA DE ELEMENTOS FINITOS UTILIZADA

O software disponibilizado para a realização desta dissertação foi, como referido anteriormente, DIANA (release 9.4.3) na sua versão académica "Teacher Edition". A única desvantagem da versão académica é a limitação da malha de elementos finitos utilizada. Apenas podem ser utilizados no máximo 1000 elementos, o que para os casos em estudo parece suficiente mas não permite um refinamento grande da malha. Salienta-se o facto de que neste tipo de análises e com um refinamento excessivo, apesar de se obter resultados mais corretos e aproximados é necessária uma quantidade de tempo elevada para os cálculos e o recurso a um computador mais avançado.

4.2.1.1. Tirante

Foi escolhida uma malha quadrada composta por 90 elementos de 0.1m x 0.1m e por 124 nós. O tirante foi encastrado nas suas extremidades direita e esquerda.

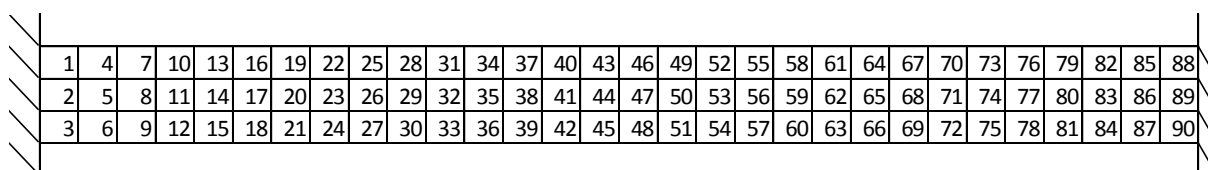


Figura 4.1- Elementos de composição da malha

4.2.1.2. Muros

Conforme referido anteriormente, serão analisados diferentes muros pois será feita uma variação do valor B/H. No entanto, as dimensões dos elementos da malha de elementos finitos serão mantidas constantes e terão os valores indicados na tabela 4.1. Para maior eficiência e rapidez de cálculo será apenas modelado metade do muro aproveitando assim a simetria central. No subcapítulo 4.2.3 serão mencionadas as condições de apoio que tornam possível a análise de metade do muro e conseqüente passagem de resultados para a totalidade do muro.

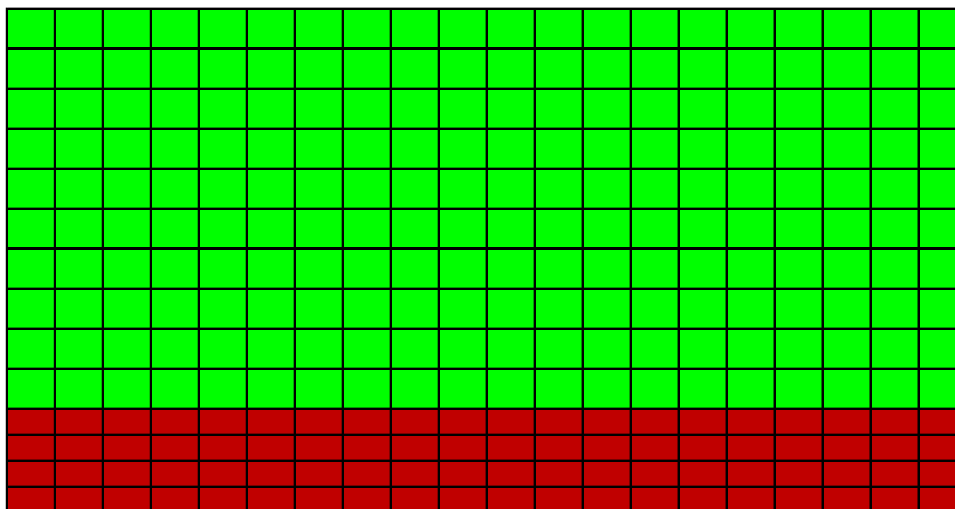


Figura 4.2 – Malha genérica dos Muros

Tabela 4-1 – Geometria da Malha de Elementos Finitos para metade do muro (m)

	Nós		Elementos			
	B/H	Nº de Nós	Nº de Elementos	Forma do Elemento	Largura	Altura
Sapata	1	55	40	Rectangular	0.3	0.1125
	2	105	80	Rectangular	0.3	0.1125
	3	155	120	Rectangular	0.3	0.1125
Muro	1	121	100	Quadrado	0.3	0.3
	2	231	200	Quadrado	0.3	0.3
	3	341	300	Quadrado	0.3	0.3

Apenas se apertou a malha da sapata relativamente à do muro para poder aumentar o número de elementos pertencentes à mesma.

4.2.2 DIMENSÕES

O tirante é o elemento mais simples que se conhece para observar resultados de fendilhação. Tanto porque a partir dos regulamentos conseguimos obter uma estimativa muito aproximada das tensões em todas as zonas do mesmo, como também da abertura de fendas. No âmbito desta dissertação pretende-se, através do conhecimento de um tirante, tentar perceber a diferença de resultados para um muro. As medidas propostas para o tirante não são muito relevantes pois apenas têm de ser suficientes para captar o fenómeno de fendilhação para poder depois ser comparado com os muros.

4.2.2.1. Tirante

A geometria adotada para o tirante, como referido anteriormente, apenas tem de ser suficiente para poder captar os fenómenos de fendilhação. Como tal, foram usadas as seguintes medidas que constam na tabela seguinte.

Tabela 4-2 – Geometria do tirante modelado para comparações com muros (m)

	Comprimento	Largura	Espessura
Tirante	3	0.3	0.1

4.2.2.2. Muros

Pretendeu-se, nesta dissertação, modelar muros que fossem o mais simples possível para evitar problemas na convergência de resultados na análise numérica. A complexidade de cálculo numérico nas análises não lineares neste tipo de estruturas leva muitas vezes a tempos de cálculos excessivos. Foi uma das grandes dificuldades iniciais na modelação dos muros desta dissertação e o mesmo já tinha sido reportado por Rodrigues [24]. Como referido anteriormente, apenas foi modelada metade de um muro, tirando partido da simetria. No entanto, as figuras 4.3 e na tabela 4.3 estão descritas as medidas utilizadas para a geometria da totalidade do muro.

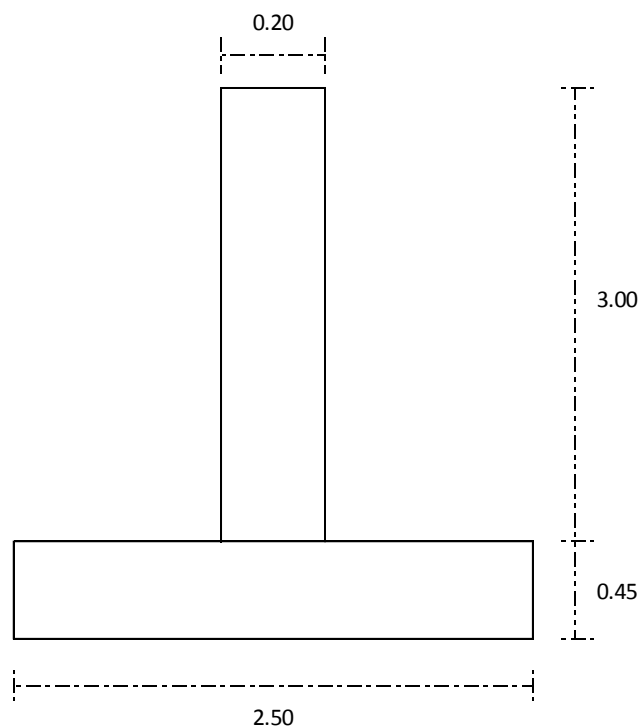


Figura 4.3 – Corte de Muro tipo – Dimensões em metros

Tabela 4-3 – Quadro resumo da geometria dos diferentes muros

	Designação	B/H	B	H	e
Muro	MR1	2	6	3	0.2
	MR2	4	12	3	0.2
	MR3	6	18	3	0.2

A sapata foi modelada com dimensões bastantes superiores ao muro para simular uma maior rigidez e restringir o livre encurtamento das paredes laterais sob o efeito das deformações impostas. Como a sapata é betonada geralmente numa fase anterior, não está sujeita às mesmas deformações que as paredes e como tal, é um elemento de restrição ao livre encurtamento.

4.2.3 CONDIÇÕES DE APOIO

4.2.3.1. Tirante

O tirante, como exemplificado na figura 4.1, é totalmente restringido sendo que é modelado com encastramentos perfeitos em ambas as extremidades.

4.2.3.2. Muros

Relativamente aos muros, a questão da escolha dos apoios não foi tão simples. Pretendeu-se estudar qual a influência da restrição aplicada pela sapata nos valores de tensão dos elementos do muro e na respetiva abertura de fendas. Para tal, foram modelados dois tipos de muros, com e sem restrição na base da sapata. Na extremidade direita das figuras 4.4 e 4.5, apresenta-se a modelação da simetria. Modelando apoios que impeçam os deslocamentos horizontais no eixo de simetria do muro, permite apenas analisar metade e assim poupar em tempo e em recursos do programa.

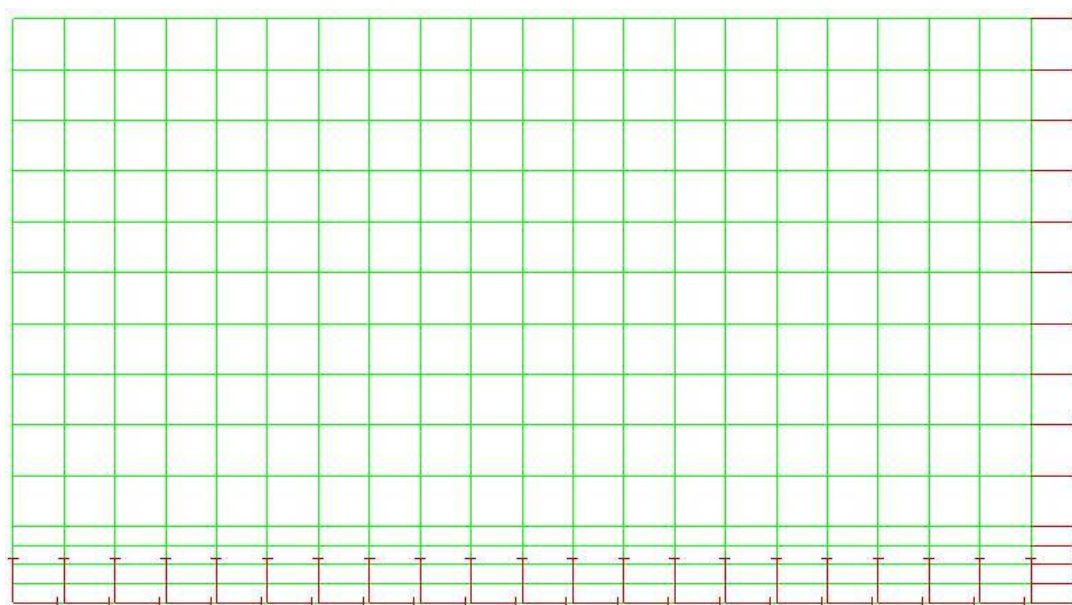


Figura 4.4 – Condições de apoio para Muros com sapata restringida

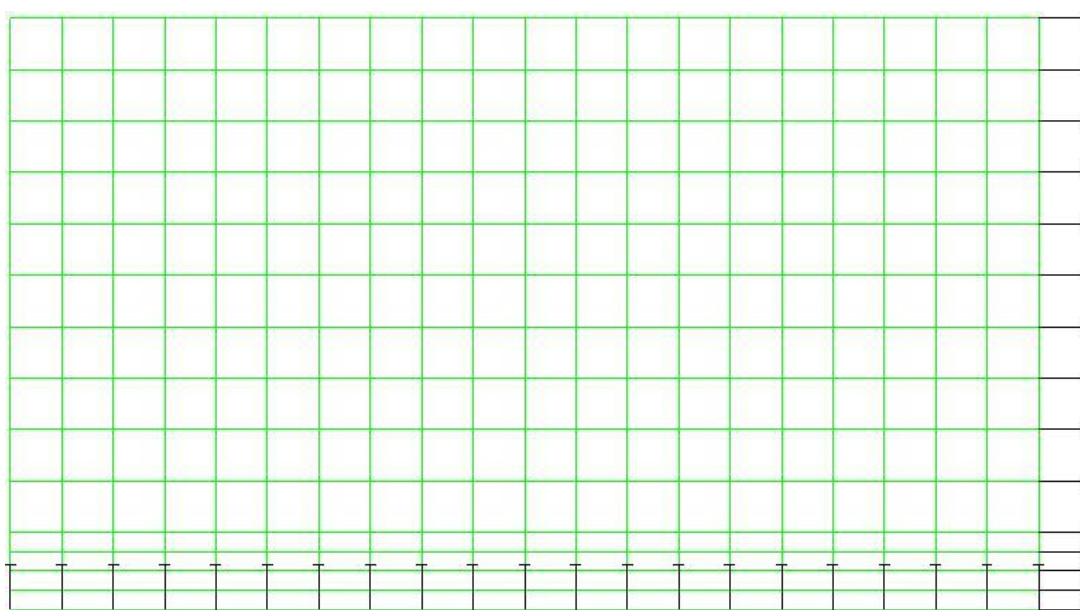


Figura 4.5 - Condições de apoio para Muros com sapata não restringida

Relativamente às condições de apoio da sapata, elemento que restringe o livre encurtamento das paredes, como se pode observar pelas figuras 4.4 e 4.5, foram estudados dois modelos diferentes. Um primeiro com restrição de deslocamento ao nível da sapata, isto é, a sapata não permitir deformação vai aumentar as tensões nos elementos do muro. Um segundo modelo é sem a restrição da sapata. Nos próximos capítulos será analisada a influência deste parâmetro.

4.3. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E DEFORMAÇÕES IMPOSTAS

4.3.1 MATERIAIS

4.3.1.1. Modelo de fendilhação distribuída

Nas seguintes análises foi utilizado o modelo de fendilhação distribuída para representar as características de não linearidade do betão. A explicação deste modelo não faz parte do âmbito desta dissertação, e, como tal, aconselha-se a quem pretender um estudo mais exaustivo sobre o tema, uma leitura das seguintes bibliografias [10] [21] [25].

Neste modelo, o material danificado, após abertura de fenda, ainda é considerado um meio contínuo e as notações de tensão e deformação ainda podem ser aplicadas sem a necessidade de construção de uma nova malha de elementos finitos [26]. O DIANA permite a consideração deste modelo que tem a característica de não depender da largura considerada para os elementos finitos e de se poderem formar mais de que uma fenda por elemento

4.3.1.2. Betão

A partir do diagrama de retenção de tração no betão, „tension stiffening“, e do diagrama de amolecimento em tração, „tension softening“, será modelado o diagrama de comportamento do betão para as análises efetuadas no programa DIANA. O enquadramento teórico deste tema não faz parte do âmbito desta dissertação e como tal, serão utilizados os diagramas descritos por Leitão [10], adaptados aos elementos em análise neste estudo.

Na figura 4.6, encontra-se representado o diagrama referido, que foi utilizado em todas as análises de tirantes e muros.

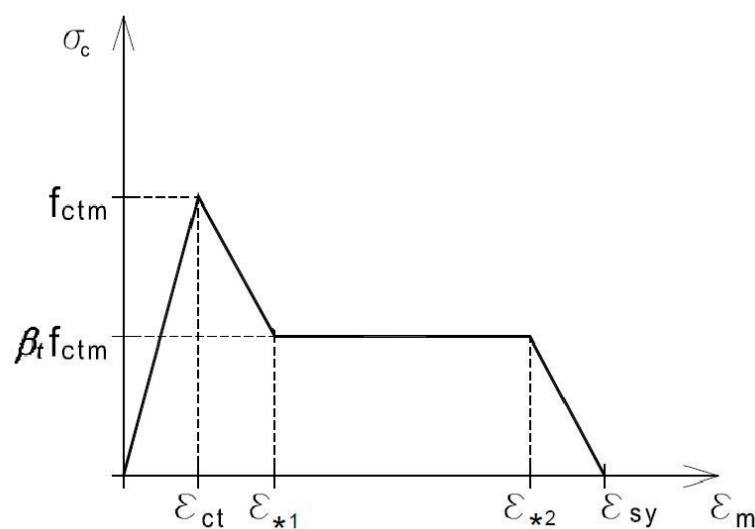


Figura 4.6 - Relação entre a extensão média e a tensão normal no betão tracionado [10]

Para o cálculo dos parâmetros que permitem inserir este diagrama no ficheiro de dados do programa Diana, seguem-se as equações 4.1 até 4.4:

$$\varepsilon_{ct} = \frac{f_{ctm}}{E_{cm}} \quad (4.1)$$

em que:

ε_{ct}	Extensão associada à rotura do betão à tração simples
f_{ctm}	Valor médio da resistência do betão à tração simples
E_{cm}	Módulo de elasticidade médio do betão

$$\varepsilon_{*1} = \varepsilon_{ct} + \left(\frac{2 \times G_f}{S \times f_{ctm}} - \varepsilon_{ct} \right) \times (1 - \beta_t) \quad (4.2)$$

em que:

ε_{*1}	Extensão de cálculo associada ao diagrama tensão-extensão da metodologia „tension stiffening“
S	Espaçamento entre fendas utilizado na modelação
G_f	Energia de fratura libertada na formação de uma fenda de superfície unitária

$$\varepsilon_{sy} = \frac{\sigma_{s,cedência}}{E_s} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon_{*2} = \varepsilon_{sy} - \beta_t \times \frac{f_{ctm}}{E_s \times \rho_{p,eff}} \quad (4.4)$$

4.3.1.3. Aço

O programa de modelação numérica DIANA, possui uma característica especial e que foi utilizada nesta dissertação, em termos de modelação de armaduras. Permite-nos modelar as armaduras com recurso a elementos especiais denominados como „embedded reinforcement“. Para se compreender melhor este fenómeno, basta imaginar um elemento de chapa inserido no meio do betão que corresponderá à armadura a considerar se esta fosse uma malha. Com este sistema, considera-se que a aderência entre o betão e as armaduras é perfeita, eliminando-se a possibilidade de rotura por escorregamento das mesmas.

Considera-se para o aço em todas as análises efetuadas um módulo de Young de 200 GPa. É de referir que foi considerada uma tensão de cedência para o aço de 500 MPa, mas, no entanto, esta tensão nunca é atingida em nenhum dos modelos para as deformações impostas consideradas. O diagrama tensão-extensão utilizado está representado na figura 4.7.

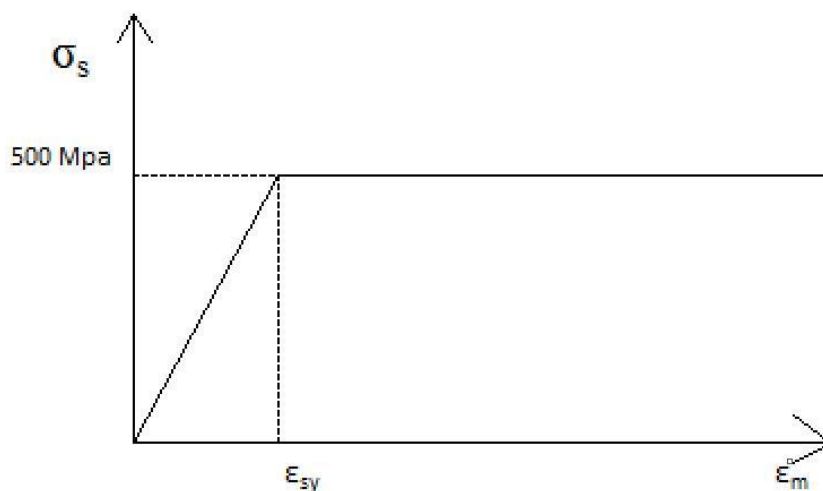


Figura 4.7 – Diagrama de tensão-extensão utilizado para o aço

4.3.1.4. Propriedades do elemento Tirante

A definição dos materiais e das suas propriedades baseou-se em alguns aspetos no estudo feito por Leitão [10], apenas para ultrapassar alguns problemas numéricos. Inicialmente foi modelado o tirante com apenas um material, o que levou a enormes problemas de convergência de resultados. Após algum estudo, percebeu-se que bastava atribuir aos materiais, características que tivessem variações, por mais que pequenas, na sua resistência à tração, para que o programa soubesse em que zona abrir a primeira fenda. No caso em que todo o tirante é modelado com o mesmo material o software depara-se com uma situação em que é atingida a tensão de tração máxima em todos os elementos da malha de elementos finitos simultaneamente, tendo problemas em simular onde abrir a primeira fenda.

No material indicado como M1, na figura 4.8, o betão apresenta um comportamento elástico não contemplando nenhum fenómeno não linear. Apenas é considerado devido às concentrações de tensões que se dão junto aos apoios e para evitar problemas de cálculo devido a esse problema. Os restantes materiais, com características de não-linearidade do betão, servem para o programa saber onde se vão desenvolvendo as sucessivas fendas sem criar grandes problemas numéricos.

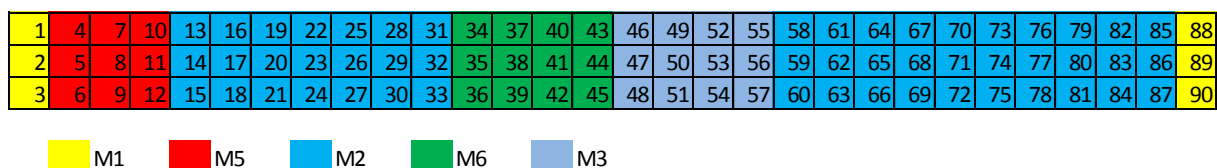


Figura 4.8 – Malha de Elementos Finitos do Tirante – Caracterização dos materiais

Todos os materiais correspondentes ao betão partilham, no entanto, duas características comuns. O seu módulo de Young, e o coeficiente de Poisson. Para o módulo de Young utilizou-se o valor de 31 GPa, pois é o valor de um betão da classe C25/30, betão com o qual se trabalhará em todas as análises. Já para o coeficiente de Poisson, foi considerado o valor de 0.2, valor frequentemente estimado para o betão. Para os materiais M2, M3, M5 e M6, como já referido anteriormente, partilham entre si características de não linearidade equivalentes, seguindo um gráfico de tensão-extensão multilinear (ver figura 4.6), tendo sido desprezadas as suas características não lineares associadas à rotura por compressão. Ainda para estes materiais, refere-se que a única característica que os distingue, é o seu valor de f_{ctm} , que é variável para, como discutido, ultrapassar problemas de convergência numérica assim como simular a abertura de várias fendas. Na seguinte tabela estão descritas as características de cada material.

Tabela 4-4 – Propriedades dos materiais constituintes do tirante

	E_c (GPa)	f_{ctm} (MPa)	G_f (Nm/m ²)	S (m)	β_t
M1	31	----	----	-----	----
M2	31	2.6	70	0.1	0.6
M3	31	2.57	70	0.1	0.6
M5	31	2.59	70	0.1	0.6
M6	31	2.61	70	0.1	0.6

4.3.1.5. Propriedades do elemento muro

Na definição dos elementos do muro, não foi preciso ter em consideração o problema numérico ocorrente no tirante em que o programa não consegue optar pelo local de fissuração devido à tensão em tração ser igual em todos os elementos. No muro, como apenas a zona inferior está impedida de se deformar, as tensões não serão uniformes mas sim variam com a altura.

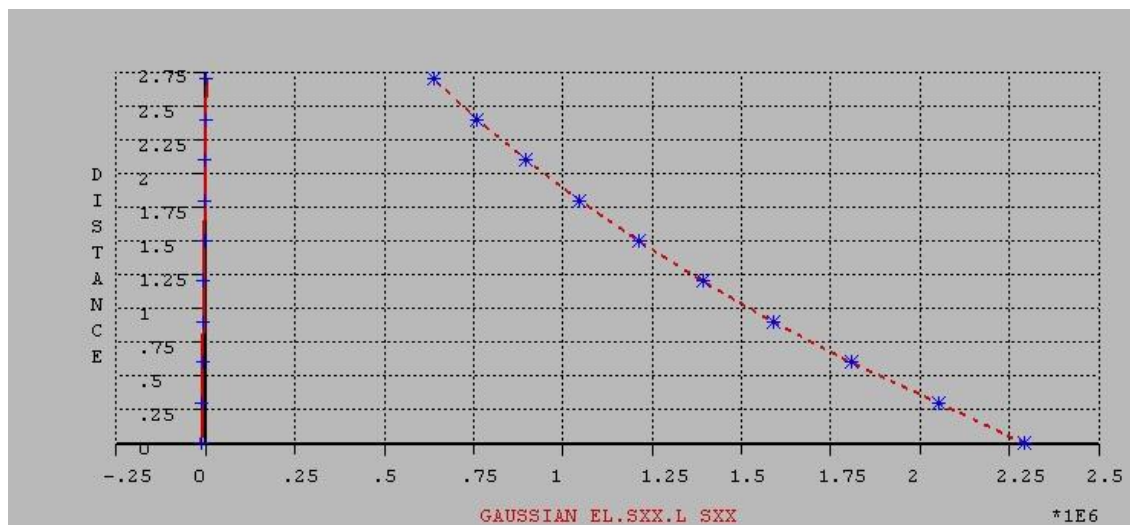


Figura 4.9 – Tensões no Betão em altura. Corte genérico.

Pelo gráfico retirado do DIANA, figura 4.9, podemos perceber a variação de tensões ao longo da altura. O gráfico representa um corte de um muro genérico. Obviamente que, dependendo da relação B/H, como veremos posteriormente, a variação das tensões ao longo da altura é dependente da relação B/H. No topo do muro as tensões no betão tendem a ser consideravelmente inferiores quando comparadas com a base. Assim, para os muros, apenas é necessário modelar dois materiais. Um elástico linear, para a sapata, por forma a simular a sua betonagem anterior e outro, para o muro, com características não lineares. Na tabela seguinte estão indicados os parâmetros utilizados para a modelação destes dois materiais.

Tabela 4-5 – Características dos materiais dos Muros

	E_c (GPa)	f_{ctm} (MPa)	G_f (Nm/m ²)	S (m)	β_t
Sapata	31	---	---	---	---
Muro	31	2.6	70	0.3	0.6

4.3.2 MODELAÇÃO DA DEFORMAÇÃO IMPOSTA

A escolha das ações a atuar na estrutura de forma a modelar a deformação imposta passou por, numa primeira fase, modelar a retração e a fluência e aplicá-la aos elementos do muro. Nesta situação, a sapata não estaria sujeita a qualquer tipo de deformação, supondo assim que teria sido betonada muito tempo antes. Como foi visto no Capítulo 2, a lei de evolução da retração, não sendo linear, torna as etapas de análise um pouco mais complexas. Como o principal objetivo desta dissertação é

essencialmente estudar o efeito das diferentes formas de restrição, concluiu-se que seria mais apropriado ter uma variação da deformação que fosse linear.

Então, a deformação imposta foi modelada a partir de uma variação de temperatura aplicada a todos os nós do muro. Aplicou-se uma lei de variação linear em que a temperatura varia de 0°C a 100°C introduzindo assim à estrutura uma deformação $\varepsilon_{imposta}$ que pode ser calculada como:

$$\varepsilon_{imposta} = \alpha \times \Delta T \quad (4.5)$$

sendo que:

- α coeficiente de dilatação térmica
- ΔT diferença de temperatura

4.4. VALIDAÇÃO DOS MODELOS NUMÉRICOS

Neste subcapítulo pretende-se fazer uma introdução ao modelo realizado para o tirante para explicar os passos seguidos na modelação e para proceder à sua validação. Exemplos serão mostrados ao longo do capítulo.

4.4.1 TIRANTE

O primeiro elemento a ser modelado, tanto por simplicidade como por validação de resultados, foi o tirante. A sua geometria foi descrita no subcapítulo 4.2.2.1. Após introdução dos dados e respetivo processamento por parte do DIANA, analisa-se, conforme indicado no gráfico da figura 4.10, a evolução do esforço axial instalado no tirante com o progressivo aumento da temperatura.

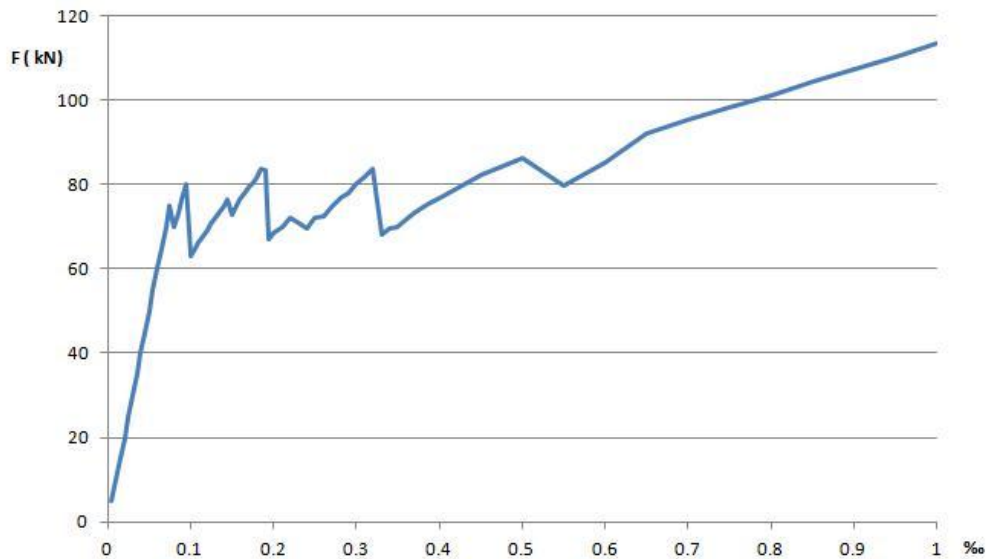


Figura 4.10 – Evolução do esforço axial no tirante versus deformação impedida.

Conhecida a tensão média resistente de tração do betão, f_{ctm} e a geometria do elemento, pode ser determinada a força longitudinal resultante associada ao início da formação de fendas no betão ao longo da secção transversal, N_{cr} , uma vez que é razoável admitir que só o betão é responsável pela resposta estrutural.

Procedendo ao cálculo analítico do esforço de fendilhação, N_{cr} , pode ser verificado o presente modelo pois os resultados, apesar de diferirem entre 1% a 5%, são aceitáveis dado que são utilizados materiais com diferentes resistências à tração. N_{cr} pode ser estimado de acordo com a seguinte equação:

$$N_{cr} = f_{ctm} \times h \times e \quad (4.6)$$

Foi utilizada para o cálculo da armadura mínima a expressão do Eurocódigo 2, equação 3.4 da presente dissertação, em que $A_{s,min}$ é igual a 1.56cm^2 . O nosso tirante foi no entanto modelado com $3\phi 8/\text{face}$, garantindo assim uma percentagem de armadura igual a 1%, sensivelmente. A quantidade de armadura preconizada pela utilização destes varões é equivalente a 3.01cm^2 .

Então, resolvendo a equação 4.6 em ordem aos dados da nossa estrutura, temos que o esforço de fendilhação esperado é igual a 78kN, muito próximo dos valores dados pelo gráfico anterior. Conseguimos ainda pela análise do gráfico, concluir que sempre que o esforço de fendilhação é atingido, existe o aparecimento de uma nova fissura no tirante o que faz com que o esforço diminua abruptamente até as tensões se voltarem a transferir para o betão, fase em que o esforço volta a crescer até à formação de uma nova fenda.

De referir que nos modelos utilizados, tanto os dos tirantes como os dos muros, trabalhou-se sempre com tensões médias no aço e no betão. Assim, tensão na armadura de tração (calculada em estado

fendilhado) resultante da atuação das cargas que provocam o início da fendilhação, pode ser considerada igual a:

$$\sigma_{sr} = \sigma_{sm} + \frac{A_c}{A_s} \sigma_{cm} \quad (4.7)$$

Apresenta-se de seguida, o gráfico representativo das tensões na armadura no elemento. Pelo cálculo da equação 4.7, foi calculada a tensão do aço para qual o elemento deve fendilhar. Comparativamente com o gráfico da figura 4.11, os valores obtidos na análise numérica são bastante satisfatórios o que dá para certificar que o nosso modelo foi bem realizado. O valor analítico, equivalente a 259 MPa, é bastante aproximado da tensão obtida nas análises não lineares, em que a mesma se situa entre 250 MPa e 275 MPa.

$$\sigma_{s,cr} = \frac{N_{cr}}{A_s} \quad (4.8)$$

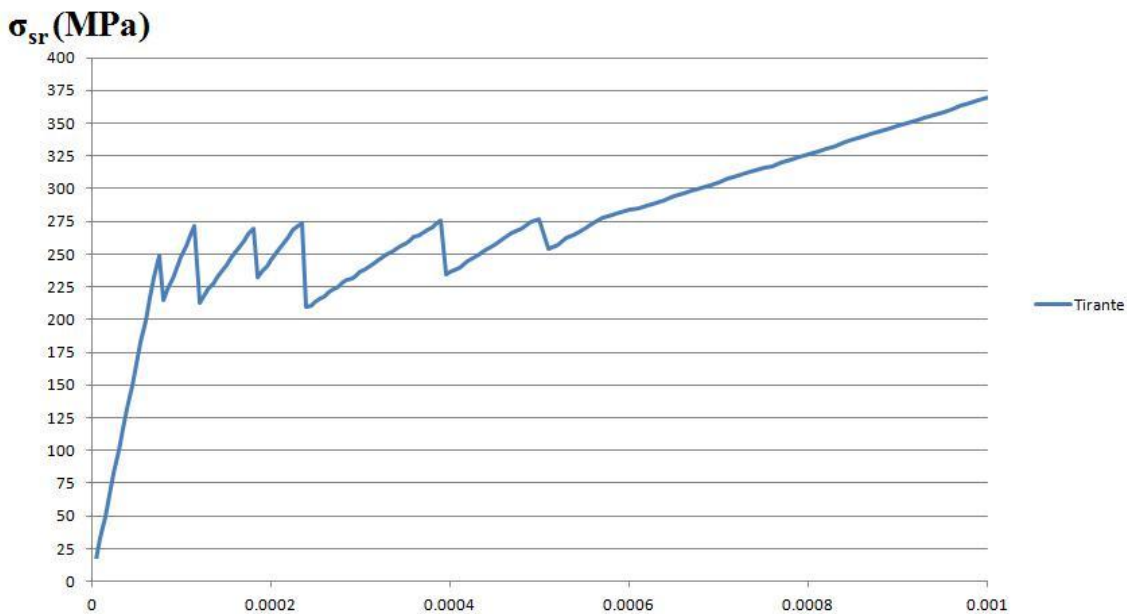


Figura 4.11 – σ_{sr} no tirante sujeito a deformação imposta

O objetivo da redação deste subcapítulo é validar resultados obtidos com o software, uma vez que é um programa novo, que nunca foi estudado durante o percurso académico e que necessitou de bastante tempo para que os resultados fossem coerentes com a realidade. Após se ter conseguido modelar o tirante e obter resultados positivos, começaram a ser modelados os muros, com um funcionamento diferente e mais complexo, assim como a fendilhação, os deslocamentos e as tensões principais para todos os elementos em estudo.

De referir que foram estudados 3 muros, cada um com 3 parâmetros diferentes, em 6 elementos distintos e com 4 variáveis a serem calculadas e extraídas do programa. No total foram criadas 216 colunas de dados o que só foi possível devido à criação de scripts e macros que interagem entre o DIANA e o MsEXCEL. Só com a automatização do processo foi possível corrigir erros pois, sem este auxílio, cada erro obrigava necessariamente a recalculer cada uma das 216 colunas, processo que exigiria uma grande quantidade de tempo por cada erro descoberto. Em anexo nesta dissertação, estão apresentados alguns exemplos utilizados para a automatização do processo.

Seguem-se algumas figuras representativas das análises efetuadas no DIANA, a fim de se incorporar nesta tese a interface do programa e o output dos modelos calculados.

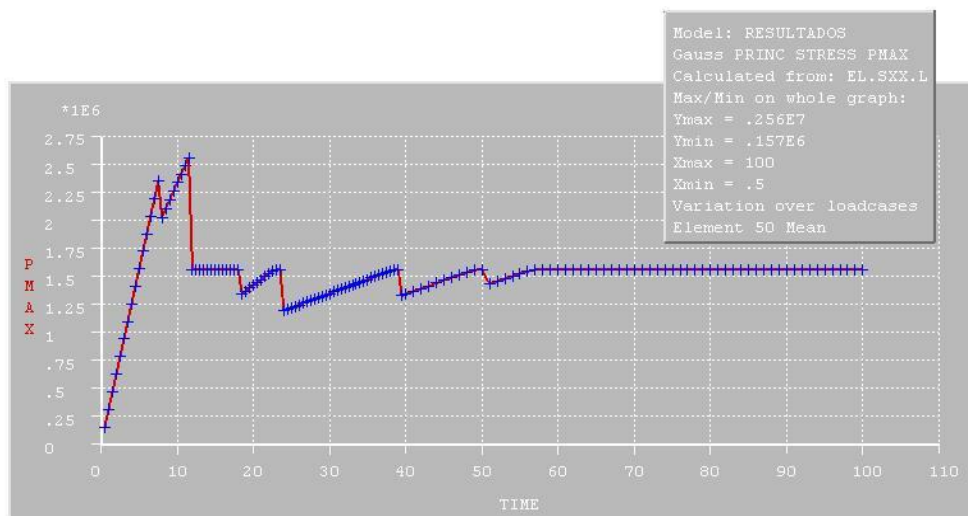


Figura 4.12 – Tensões de tração médias no betão num elemento do centro do tirante

Na figura 4.12, acima identificada, tem-se um exemplo das tensões de tração médias no betão num elemento no centro do tirante. Como se pode observar, o betão segue a lei constitutiva definida anteriormente.

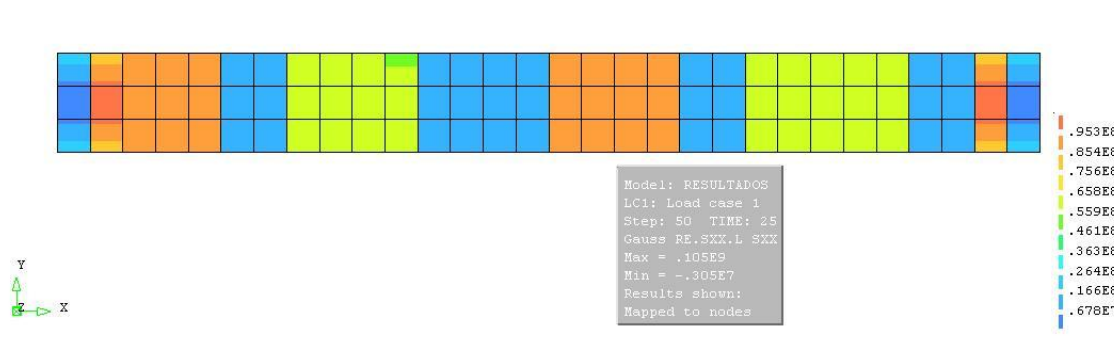


Figura 4.13 – Tensões médias na armadura

Analisando agora a figura 4.13, tem-se as tensões médias no aço para o caso em que a deformação impedida é igual a 0.25‰. Na próxima imagem, está identificado o padrão de fendilhação para o mesmo instante. Consta-se que a tensão no aço é superior nas zonas onde as fendas já abriram, consequência do betão estar fissurado e de ser apenas o aço a transmitir as tensões aos elementos vizinhos.

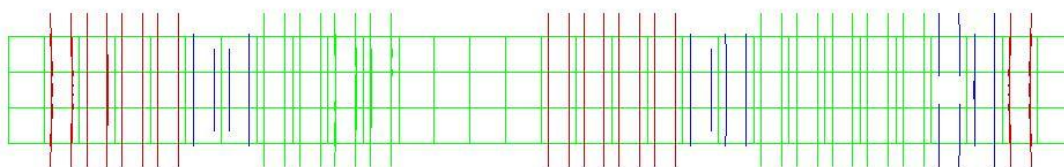


Figura 4.14 – Representação da fendilhação para T=25°

Para finalizar este subcapítulo, temos a figura 4.15, representativa da diferença entre a extensão do aço e do betão ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$) que, multiplicado por $S_{r,max}$, nos devolve a abertura de fendas w_k . Após esta validação de resultados, analisar-se-á, no próximo subcapítulo, a influência de diferentes parâmetros nos diferentes modelos.

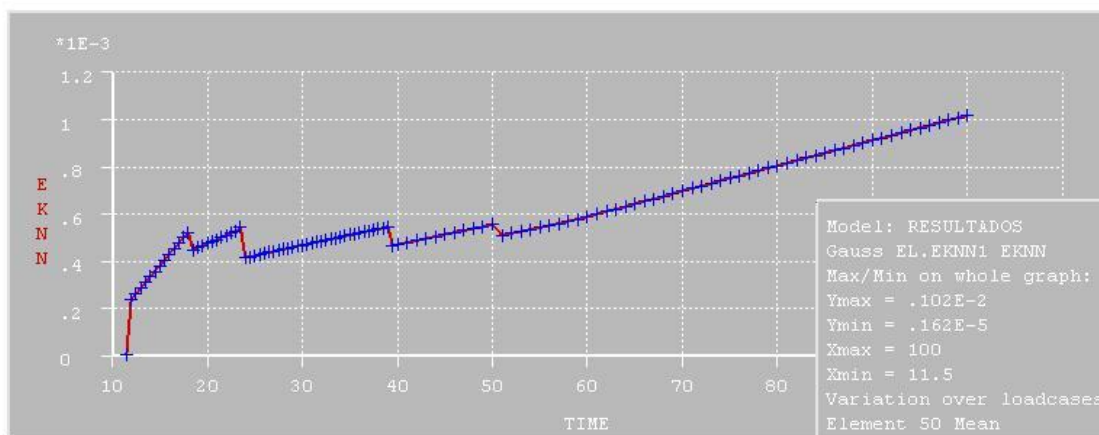


Figura 4.15 – Diferença de extensão entre aço e betão para o tirante

4.5. ANÁLISES PARAMÉTRICAS

No presente subcapítulo pretende-se fazer um estudo comparativo entre o tirante analisado e os vários muros modelados. Serão analisados diversos parâmetros no sentido de avaliar a sua influência direta ou indireta nos resultados obtidos. Pretende-se contribuir para um maior conhecimento dos elementos em questão e tentar compreender as razões que interferem nos resultados obtidos.

4.5.1 MURO VS. TIRANTE COM IGUAIS PERCENTAGENS DE ARMADURA – VARIAÇÃO DE RELAÇÃO B/H

Inicialmente, pretende-se fazer um estudo comparativo entre o tirante considerado no subcapítulo anterior e diferentes muros para tentar perceber a evolução das tensões e da abertura de fendas. Para tal, serão estudados muros com diferentes relações B/H, mas com a mesma percentagem de armadura do tirante, $\rho=1\%$, e com a restrição horizontal na sapata.

Para o muro foram escolhidas como armaduras, varões de $\phi 16//0.20$, o que perfaz sensivelmente uma percentagem de armadura igual a 1%, que é conveniente que seja igual à do tirante para efeitos comparativos. Serão também comparados elementos em posições diferentes no muro, conforme indicado na figura 4.16. Dos 6 elementos representados, 3 estão na zona central do muro e os outros 3 mais próximos da extremidade. Em cada grupo existe um elemento na base do muro, outro no centro e um último no topo. Pretende-se assim verificar a influência da posição considerada no muro na análise das tensões.

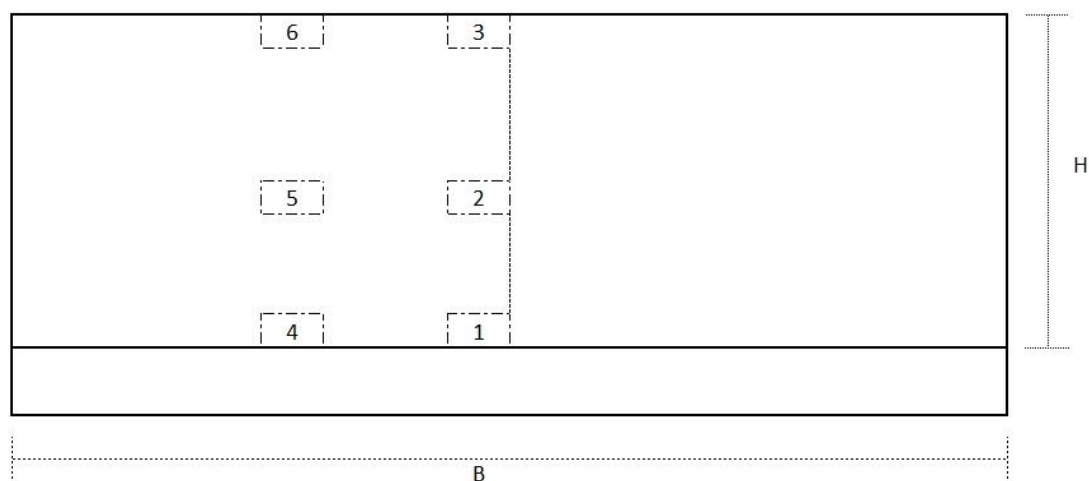


Figura 4.16 – Representação esquemática dos elementos do muro sujeitos a análises

4.5.1.1. Tirante Vs. Muro com relação B/H=2

Numa primeira análise, será feita a comparação do tirante com um muro sem, aparentemente, grandes problemas no que diz respeito à abertura de fendas. O muro é restringido na base mas o seu comprimento não é suficientemente grande para que a deformação imposta à estrutura possa trazer grandes problemas. Como já foi referido anteriormente, nas análises realizados com o programa de cálculo DIANA, foi apenas modelada metade do muro, devido a vantagens de tempo de cálculo portanto, todas as figuras referentes ao muro dizem respeito apenas a essa metade.

Apresenta-se na figura 4.17 a deformada esperada para este muro. Note-se que a restrição aplicada pela sapata tem um grau de influência muito superior na base do muro relativamente ao seu topo. O Eurocódigo 2 – Parte 3 [3], no seu anexo L, quadro L.1, faz referência a este facto. Conforme se ilustra na figura 4.18, o grau de restrição para muros com relação B/H igual a 2, caso do nosso exemplo, é igual a 0.5 do ϵ_{free} (deformação que ocorreria caso o elemento estivesse completamente livre de se deformar) na base do muro e igual a 0 no seu topo. Isto significa que, para muros em que o comprimento não é assim tão relevante em relação à altura, a zona de betão no topo do muro não teria qualquer restrição em se deformar. É importante referir que os valores propostos neste quadro já contam com um fator de modificação equivalente a 0.5 e apenas podem ser relacionados com os valores propostos por Emborg (figura 3.3) devido à multiplicação por este fator.

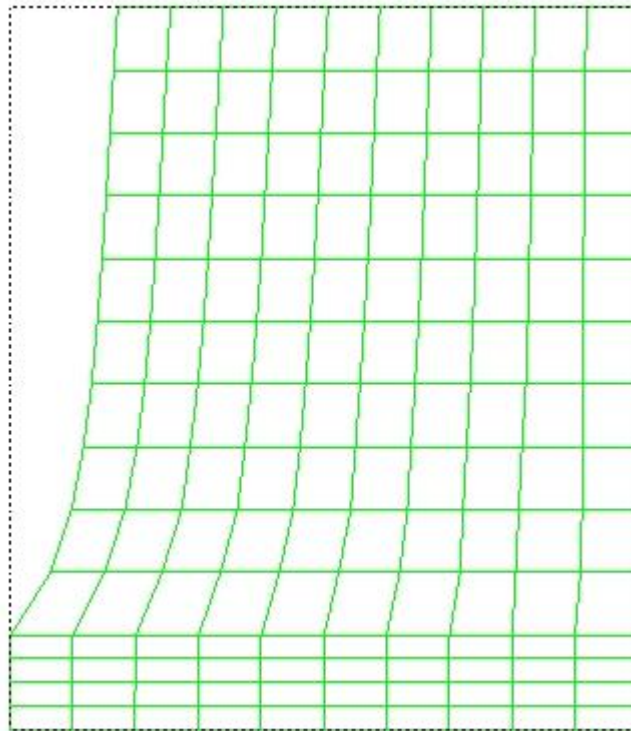


Figura 4.17 – Deformada do muro

Relação B/H	Restrição na Base	Restrição no topo
1	0.5	0
2	0.5	0
3	0.5	0.05
4	0.5	0.3
>8	0.5	0.5

Figura 4.18 – Grau de restrição na zona central do muro

1ª Coluna – Relação B/H ; 2ª Coluna – Restrição na base ; 3ª Coluna – Restrição no topo

Fazendo uma análise à abertura de fendas na secção do muro, facilmente nos apercebemos a razão pela qual o Eurocódigo considera a restrição no topo nula. Na figura seguinte, figura 4.19, temos a representação da abertura de fendas para um caso em que a deformação imposta é igual a 0.6‰, caso muito extremo. Pela observação da figura, conclui-se que no topo do muro, não chega sequer a existir

fendilhação e que a tensão nas armaduras tende a diminuir drasticamente à medida que nos vamos afastando do meio para o topo, chegando mesmo a atingir pequenos níveis de compressão.

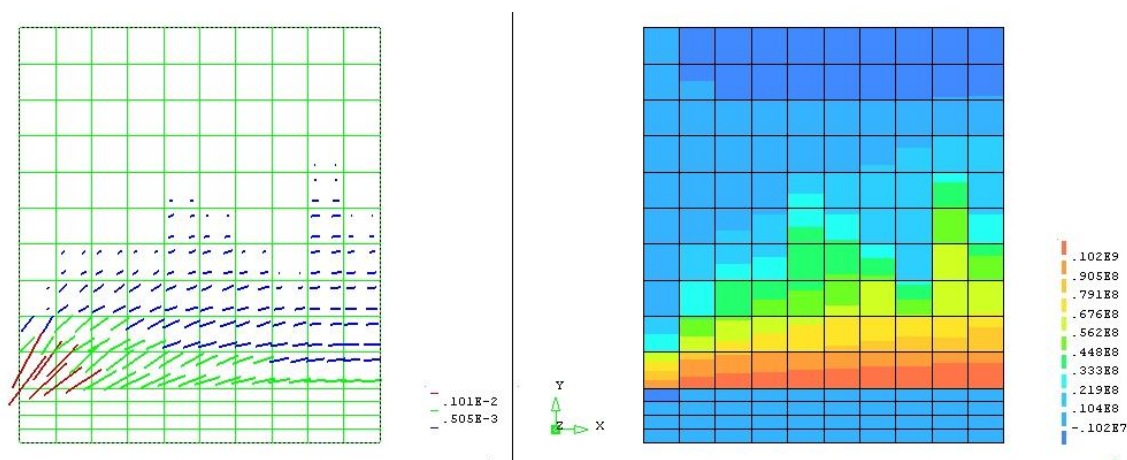


Figura 4.19 – a) Abertura de fendas no muro ; b) Tensão na armadura

Relativamente à comparação do efeito da variação de temperatura do tirante com o muro, apresentam-se em seguida alguns gráficos em que serão analisados os diferentes elementos do muro com o tirante. Optou-se por representar em cada gráfico as tensões no tirante e apenas num elemento, para facilidade de perceção dos resultados.

Na seguinte gráfico, figura 4.20, temos a comparação das tensões na armadura, σ_{sr} , do elemento número 1, correspondente à base da zona central do muro, com o tirante. Até à formação da primeira fenda, sensivelmente equivalente a uma deformação imposta de 0.1‰, o muro tem um comportamento esperado, com a tensão nas armaduras seguindo um comportamento elástico linear. A partir do momento em que se forma a primeira fenda, a tensão cai para valores de cerca de 70% da tensão de fendilhação, e estabiliza, contrariamente ao tirante, não voltando a atingir essa tensão até à fase posterior à de formação de fendas. Analisando a evolução da formação de fendas no programa DIANA, observa-se que não há necessariamente obrigação de a tensão atingir o esforço esperado num elemento já fendilhado para que haja uma nova abertura de fendas. No entanto, deixar-se-á essa comparação para uma fase posterior deste estudo, em que haja mais dados que corroborem essa conclusão.



Figura 4.20 – Comparação entre um tirante e o elemento nº1 de um muro com relação B/H = 2 – Relação tensão-extensão

Para o caso específico de muros com relação B/H igual ou inferior a dois, não há grande vantagem em serem analisados todos os elementos propostos, dado que as fendas não se propagam em altura. Ainda assim, convém realçar o facto de que para o elemento nº4, representado na figura 4.21, a tensão instalada na armadura quando ocorre a abertura da fenda é muito inferior ao esperado. Os níveis de tensão diminuem em cerca de 50%. O elemento nº4, neste caso, é um elemento que se encontra muito próximo da extremidade do muro e como tal, o seu grau de restrição é bastante inferior quando comparado com elementos do centro do muro.

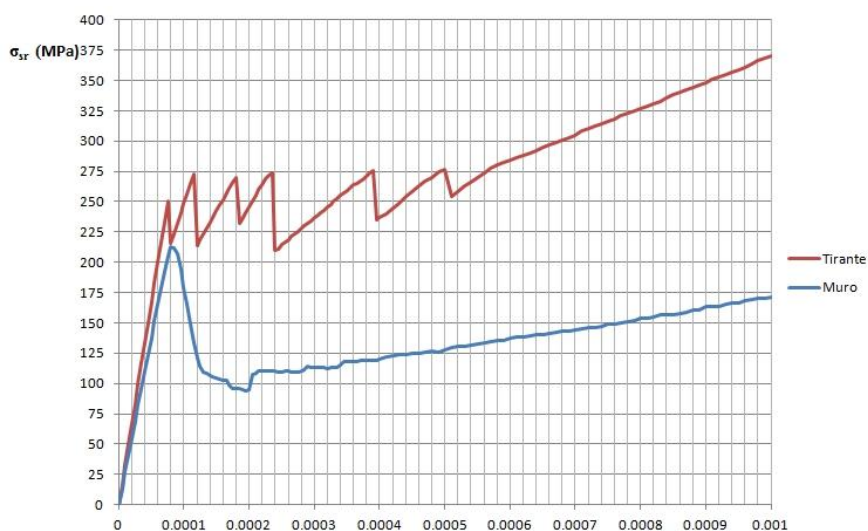


Figura 4.21 – Comparação entre um tirante e o elemento nº4 de um muro com relação B/H = 2 – Relação tensão-extensão

Neste subcapítulo, conclui-se que o grau de restrição varia de duas formas. Estas podem ser:

- O grau de restrição tende a diminuir em altura. Há medida que avançamos da base do muro para o seu topo, o efeito causado pela restrição da sapata também diminui.
- O afastamento do centro do muro também tem efeitos no grau de restrição. Há medida que nos afastamos do centro, o grau de restrição causado pela sapata é inferior.

4.5.1.2. Tirante Vs. Muro - Comparação dos diferentes muros

Apresenta-se agora um caso em que a relação B/H é o dobro da anterior. Segundo a figura 4.18, do anexo L do Eurocódigo 2 – Parte 3, o grau de restrição na zona central do muro para o seu topo passa de 0 para 0.3. Será evidente que as fendas se propaguem até pelo menos, ao topo do muro.

Começar-se-á esta análise com uma caracterização do padrão de fendilhação. Conforme ilustrado na figura seguinte, na representação da abertura de fendas, a propagação das mesmas já tende a alcançar o topo do muro na zona central. Se nos afastarmos um bocado da zona central, concluímos que a restrição aplicada não é tao elevada o que faz com que as fendas não se propaguem totalmente. De referir que a presente figura é relativa a uma diferença de temperatura de 40°C, equivalente a uma deformação imposta de 0.4‰.

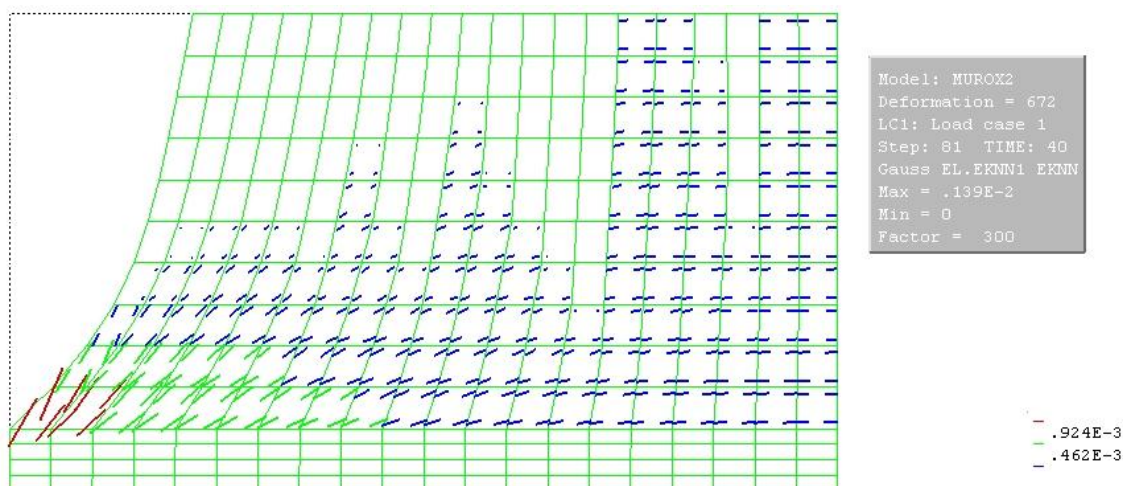


Figura 4.22 – Abertura de fendas para uma deformação imposta de 0.4‰ num muro com relação B/H=4

Para a análise comparativa com o tirante, refere-se que o elemento nº1, elemento analisado no subcapítulo anterior, partilha das mesmas propriedades e características para todos os muros com relações B/H diferentes. A tensão resultante na armadura, após fendilhar, cai para valores de cerca de 70% do valor de pico, seguindo uma lei praticamente linear, apenas oscilando na formação de novas fendas na vizinhança, mas nunca atingindo os valores da tensão de fendilhação.

Apresenta-se de seguida, na figura 4.23, a comparação dos diferentes muros na sua condição de maior restrição, a do elemento nº1.

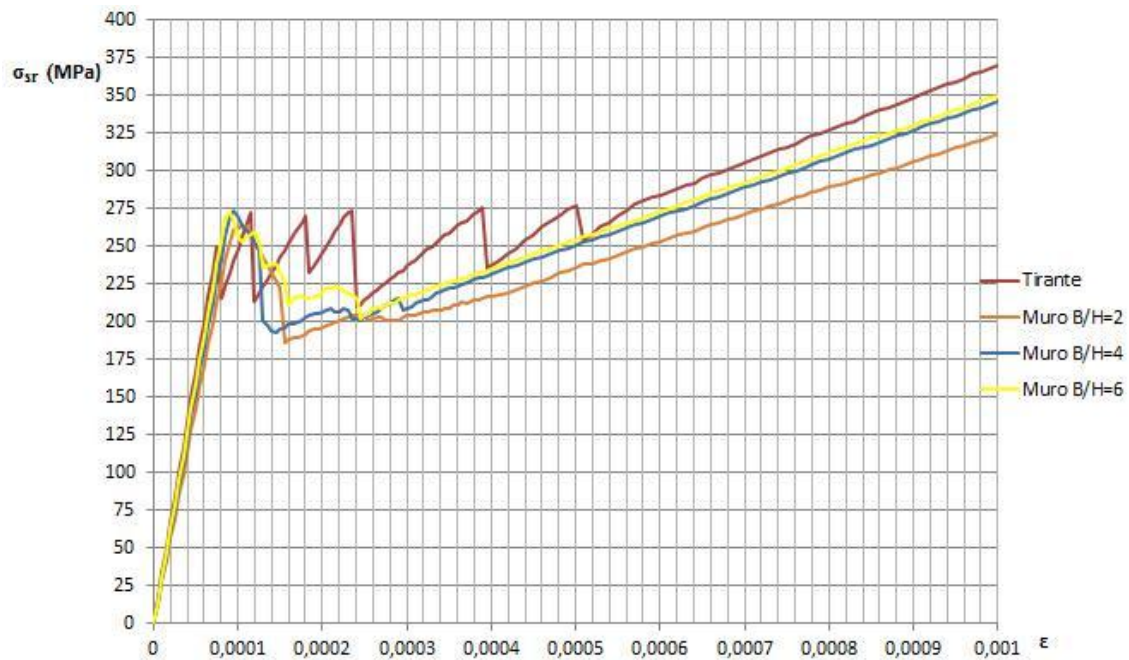


Figura 4.23 – Comparação das tensões na armadura para o elemento nº1 nos diferentes muros – Relação tensão-extensão

Como já foi constatado anteriormente, o elemento nº1 é o caso de maior restrição. Segundo o Anexo L do EC2 parte 3, independentemente da relação B/H do muro, os elementos que se encontram na base na zona central partilham entre si o mesmo grau de restrição. Note-se, pela observação da figura anterior, que as tensões na armadura tendem a cair para aproximadamente os mesmos valores. A relação B/H para esta secção pouco infere apenas se fazendo sentir num ligeiro aumento do valor da tensão na armadura para muros maiores.

Analisando agora o topo do muro, segundo a figura 4.18, representativa do grau de restrição em função da relação B/H, para o muro mais pequeno (MR1) o grau de restrição no topo deveria ser igual a 0, isto é, o betão não possui qualquer restrição à deformação. Já para o muro intermédio (MR2), o grau de restrição deveria ser cerca de 0.3 e para o muro B/H=6 (MR3), um valor próximo de entre 0.3 e 0.5. As compressões mencionadas no subcapítulo anterior para o topo do muro MR1 encontram-se representadas no gráfico, demonstrando que o grau de restrição é nulo. Analisando as tensões no topo do muro MR2, conclui-se que, não sendo o grau de restrição tão elevado, apenas aparecem fissuras no betão para deformações superiores.

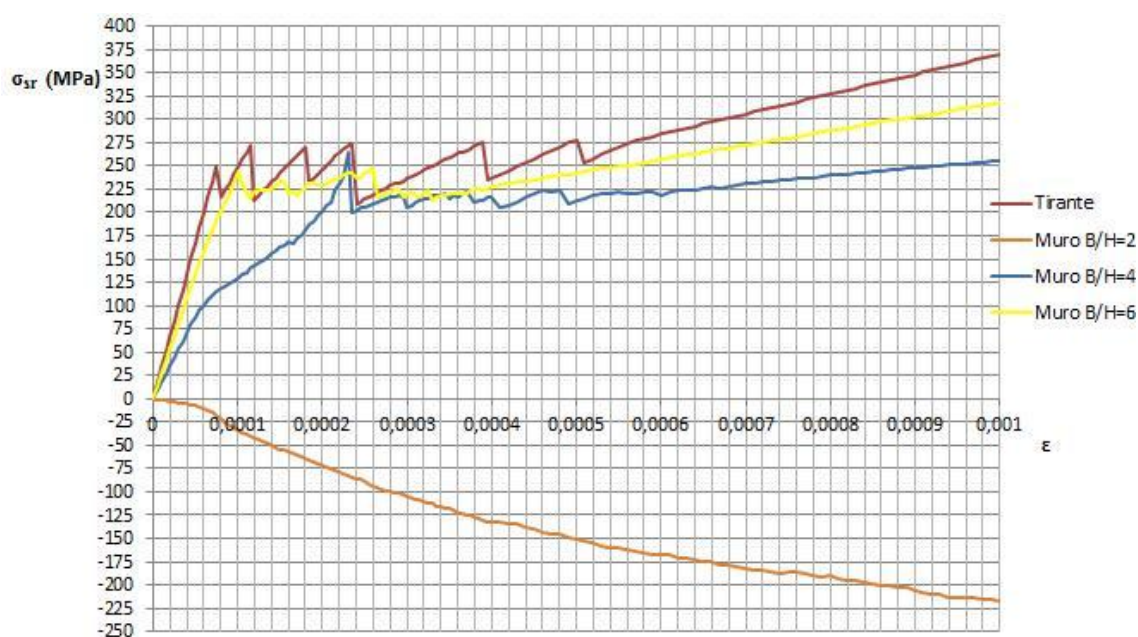


Figura 4.24 - Comparação das tensões na armadura para o elemento nº3 nos diferentes muros – Relação tensão-extensão

Avaliando a figura 4.24 e reportando à figura 4.18, embora não seja dado nenhum caso em que a relação B/H seja equivalente à que está a ser analisada, sabe-se que o grau de restrição se encontra entre 0.3 e 0.5. Estes resultados parecem ser plausíveis dado que o muro MR3 apresenta uma variação de tensões sensivelmente equivalente ao da figura 4.23. Analisando a figura 4.25, dizendo respeito à abertura de fendas, impondo uma diferença de deformação de apenas 0.01‰, observa-se que a fenda, na zona central do muro, ao abrir, propaga-se diretamente até ao topo. Este facto sugere que o grau de restrição induzido à estrutura seja praticamente o mesmo no topo e na base logo, próximo de 0.5.

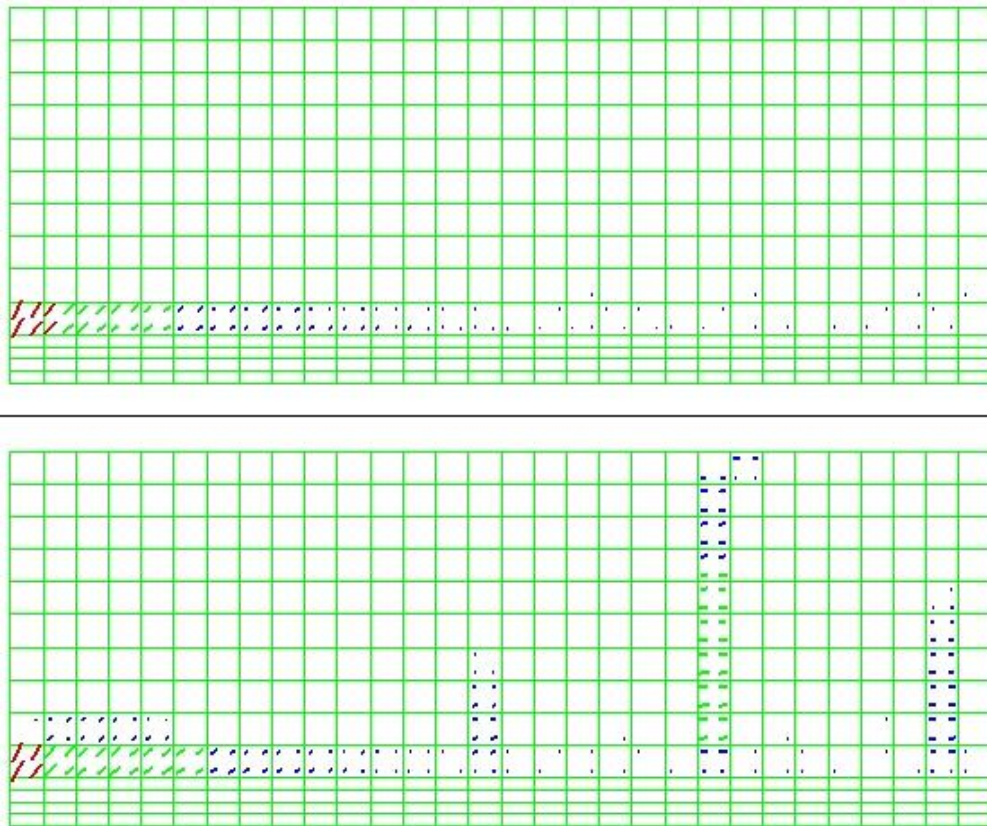


Figura 4.25 – Abertura de fendas – em cima: para $\Delta T=10^\circ\text{C}$; em baixo: para $\Delta T=11^\circ\text{C}$

Para concluir este subcapítulo, analisa-se o 4º elemento dos 3 muros modelados. Para uma correta interpretação dos dados, torna-se importante referir que a localização do 4º elemento no muro MR3 pode ser considerada como sendo na zona central do muro visto estar relativamente próxima dessa secção, o que se irá refletir nos resultados. Tomando como referência o gráfico da figura 4.26, pode se constatar que à medida que se vai avançando para a extremidade do muro, a tensão na armadura para a abertura de fenda no elemento é inferior comparativamente com o elemento nº 1. Este fator toma preponderância quando a relação B/H se torna menor.

Tanto neste gráfico como nos das figuras anteriores, é importante referir que a inclinação da reta que define a relação tensão-extensão tende a diminuir com a diminuição do grau de restrição. Será analisado no capítulo da abertura de fendas a consequência desta diminuição.



Figura 4.26 - Comparação das tensões na armadura para o elemento nº4 nos diferentes muros – Relação tensão-extensão

Todos os gráficos atrás analisados sugerem que após abertura da primeira fenda, a relação tensão-extensão tende a seguir uma variação linear, função do grau de restrição. Comparando com o tirante em que, durante a fase de formação de fendas, a tensão na armadura atinge sempre o valor de $\sigma_{sr,cr}$, nos muros, para a mesma deformação imposta, a armadura pode ser dimensionada para valores de tensão inferiores.

4.5.1.3. Conclusões

Após uma comparação entre um tirante de betão armado com uma percentagem de armadura de 1% e muros com igual percentagem de armadura mas fazendo variar o seu comprimento e fazendo uma comparação do grau de restrição com os valores sugeridos pelo Eurocódigo 2 parte 3 [3], conclui-se o seguinte:

- A tensão na armadura no momento de ocorrência da primeira abertura de fenda é igual tanto no tirante como para elementos situados na base da zona central do muro.
- A tensão nas armaduras é dependente do valor do grau de restrição.
- Após determinada secção fendilhar, a tensão nas armaduras nunca mais volta ao valor de $\sigma_{s,cr}$ nessa mesma secção, fazendo-se sentir entre 50% a 70% desse valor.
- O grau de restrição varia com a relação B/H, assim como em altura e em proximidade da zona central do muro.
- O grau de restrição aumenta com a proximidade ao centro do muro e diminui com o afastamento em altura da base.

- Quanto maior for a relação B/H, maior o grau de restrição exercido ao muro pela fundação.
- A relação tensão-extensão do material após abertura de fenda tende a ser linear e dependente do grau de restrição exercido pela fundação.

4.5.2 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO IMPEDIMENTO DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NA SAPATA

Nas análises efetuadas anteriormente, todas as fundações foram modeladas com apoios duplos. No presente subcapítulo pretende-se estudar a influência do impedimento do movimento da base da sapata no que diz respeito ao período de formação de fendas. Na figura 4.27 está representado um muro com uma relação B/H=6, sem qualquer tipo de restrição ao movimento horizontal na base da fundação. Como se pode observar pela extremidade inferior esquerda, a sapata desloca-se do seu ponto inicial, representado pelo tracejado circundante ao muro.

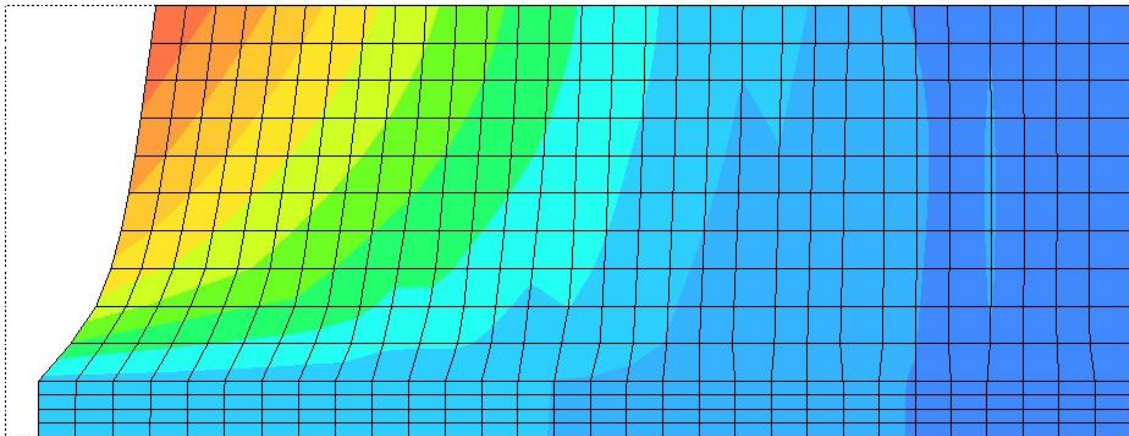


Figura 4.27 – Efeito da restrição na sapata. Sapata não restringida

Na figura 4.28, na mesma extremidade mencionada, nota-se que o efeito do apoio duplo impede que a sapata se afaste do seu ponto inicial. Comparando as duas figuras, conseguimos concluir que o ângulo de inclinação dos elementos inferiores da estrutura com a sapata restringida, é superior aos elementos da estrutura sem restrição na sapata, o que sugere uma atenuação da deformação imposta atuante.

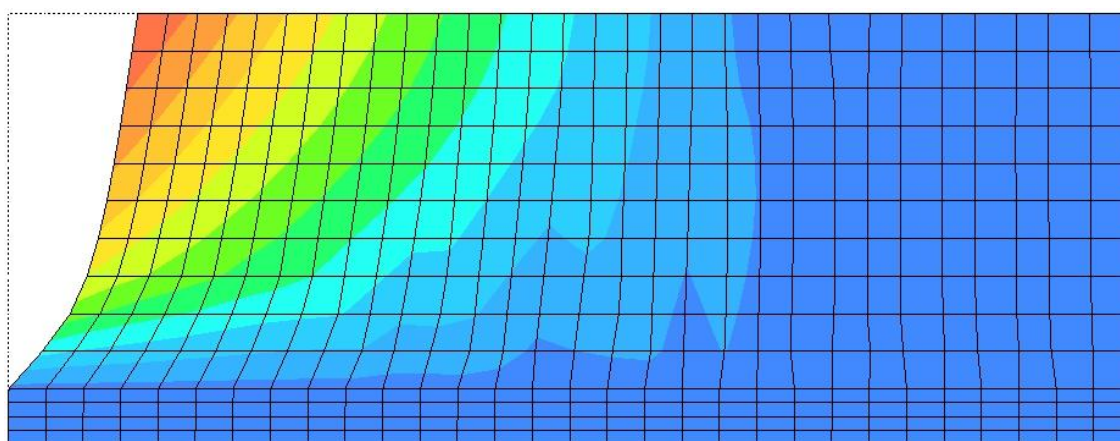


Figura 4.28 – Efeito da restrição da sapata. Sapata restringida

Procedendo à comparação gráfica das tensões entre os dois casos enunciados, conclui-se que o impedimento ou não do deslocamento horizontal da sapata, apenas tem influência na capacidade com que as deformações são acomodadas. O facto de a sapata não ser impedida de se deslocar faz com que o betão atinga a fissuração apenas para deformações impostas com valores superiores, o que é equivalente a dizer neste caso, mais tarde.

No caso do seguinte gráfico, representado na figura 4.29, pode-se constatar que no muro em que não existe restrição da sapata, a fissuração só acontece quando a deformação imposta atinge valores de cerca de 0.13‰, enquanto no caso do muro com sapata restringida, esta ocorre para valores de deformação da ordem dos 0.09‰.

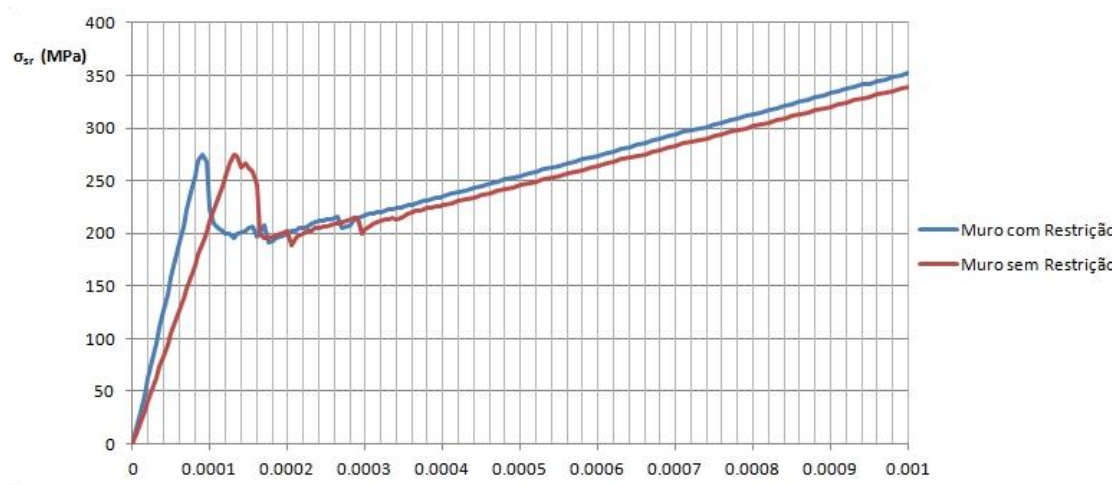


Figura 4.29 – Comparação de tensão nas armaduras para elemento nº1 de muro B/H=6. Muro com restrição de sapata e Muro sem restrição de sapata - Relação tensão-extensão

Pode-se então afirmar que é conservativo modelar a sapata com restrição ao deslocamento horizontal. Em termos de tensões na armadura, ambos os casos são equivalentes diferindo apenas, em pequenos valores de deformação imposta para se atingirem os mesmos resultados.

4.5.3 ABERTURA DE FENDAS

Serão neste subcapítulo analisadas diferentes abordagens à abertura de fendas em muros de betão para que se possa fazer uma comparação entre os resultados obtidos pelas aplicações numéricas e pela utilização da formulação proposta pelo Eurocódigo 2 [1]. Verificar-se-á que a formulação proposta por este último é demasiado conservativa e não deverá ser aplicável a muros ou elementos não totalmente restringidos pois introduz na estrutura, uma quantidade de armadura demasiado grande para cumprir com os critérios de abertura de fendas, que na realidade não seria necessária.

A partir do programa de análise de elementos finitos DIANA, é extraído para Excel o gráfico que representa os valores associados à diferença entre a extensão do aço e do betão ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$), representado na figura 4.30.

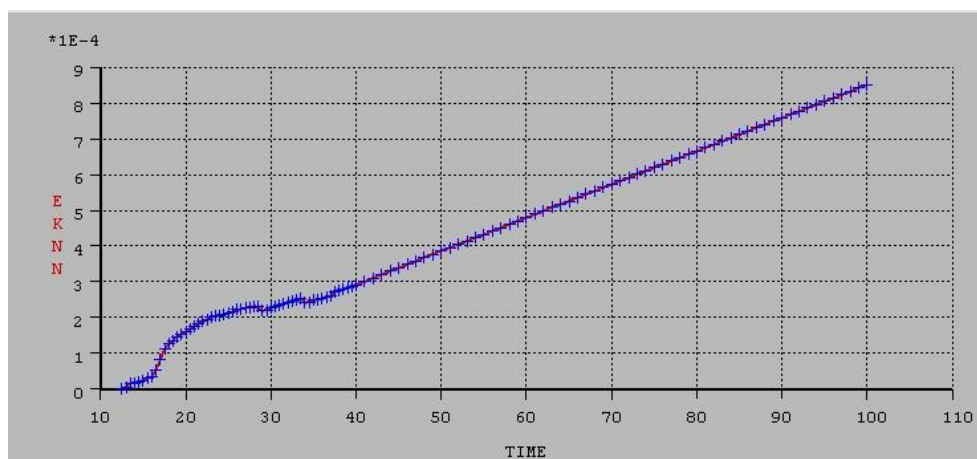


Figura 4.30 – Gráfico que relaciona a diferença entre a extensão do aço e do betão ao longo da deformação imposta – DIANA – Elemento genérico

Com o fim de se poder comparar a influência do grau de restrição na abertura de fendas, apresenta-se de seguida gráficos com a diferença da extensão entre o aço e o betão para diferentes muros em elementos distintos. O recurso ao tirante estará presente em todas as análises para que se possa que as conclusões tenham validade.

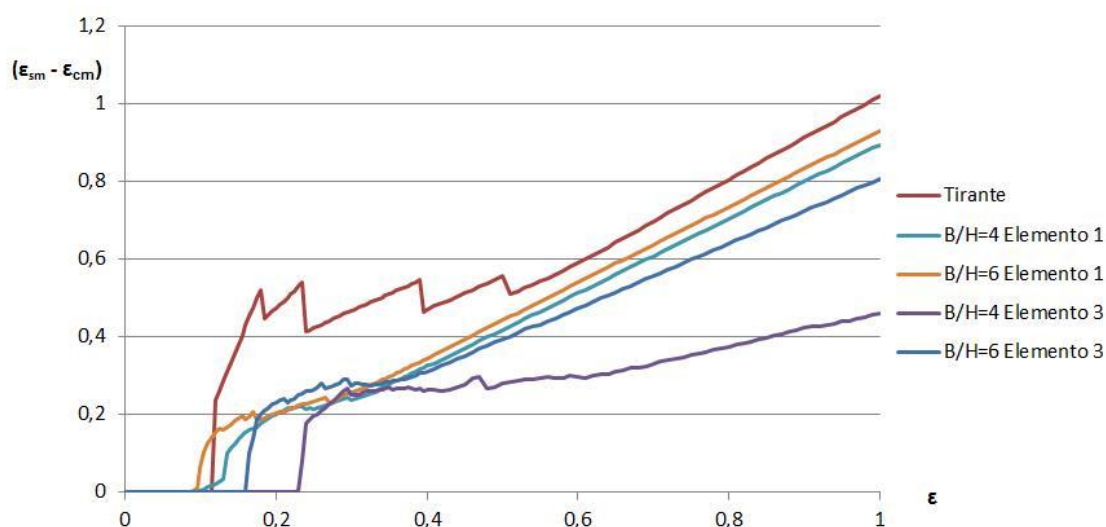


Figura 4.31 – $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ Vs ϵ_{free} (‰)

Observando o gráfico da figura 4.31, e comparando os resultados com os valores propostos por Emborg, pode ser concluído que os mesmos são válidos, embora conservativos. Como seria de esperar, no tirante, em fase de fendilhação estabilizada, estando o mesmo totalmente restringido, ϵ_{free} é igual à deformação impedida e logo, o fator de restrição associado à estrutura é igual a 1. Para os diferentes muros a deformação que ocorreria caso o elemento não estivesse restringido não é a que na realidade está impedida mas sim inferior. Fazendo uma análise comparativa entre os elementos 1 e 3 do muro com B/H=4, facilmente se percebe que o efeito do grau de restrição varia também em altura, estando o muro muito menos impedido de se deformar no seu topo. Já para muros com relações B/H superior, caso exemplificado também na figura, apesar de a diferença não ser tao notável, existe uma diminuição do grau de restrição.

O quadro L.1 do anexo L do Eurocódigo 2 parte 3 [3] dá a indicação de fatores de restrição para elementos restringidos na base. De referir que este regulamento já tem o fator de modificação diretamente aplicado a estes valores [6]. Para se proceder à comparação direta com os valores da figura 4.18, foram multiplicadas as extensões impedidas por 0,5, fator utilizado pelo mesmo regulamento. Na figura seguinte estão representados os resultados obtidos.

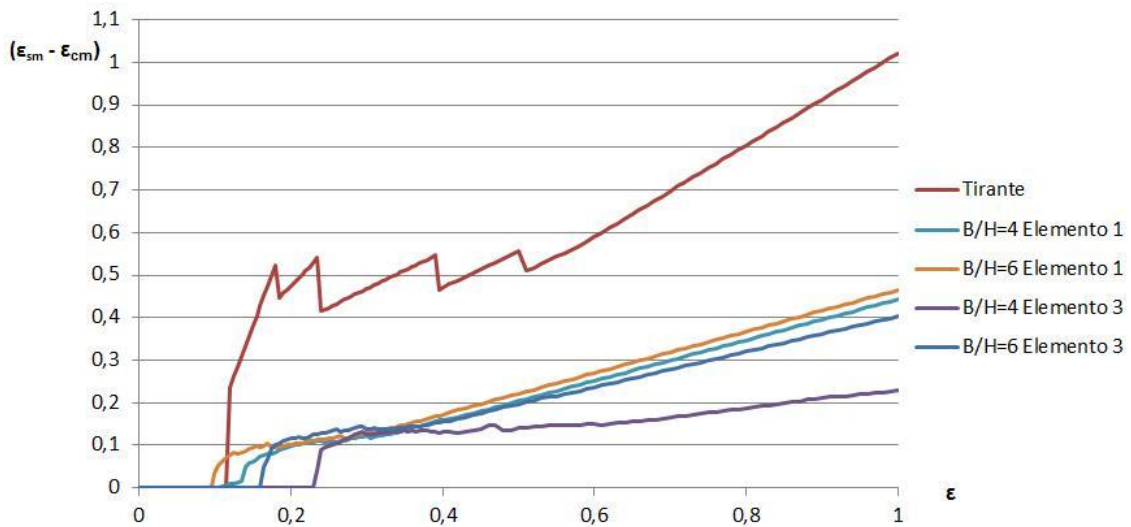


Figura 4.32 - $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \times 0.5$ Vs ϵ_{free} (‰)

Embora os resultados não sejam exatamente iguais, as proporções são equivalentes e os valores apenas pouco diferem dos preconizados pelo EC2 – parte 3.

Para se proceder ao cálculo da abertura de fendas, e utilizando a expressão da equação 3.7, multiplica-se os valores obtidos pelo DIANA pelo correspondente espaçamento entre fendas, $S_{r,max}$. No gráfico da figura 4.33, estão os resultados obtidos para W_k na modelação numérica. Serão feitas algumas comparações entre os diferentes muros ao longo do capítulo assim como entre os valores esperados para abertura de fendas considerados pelos regulamentos.

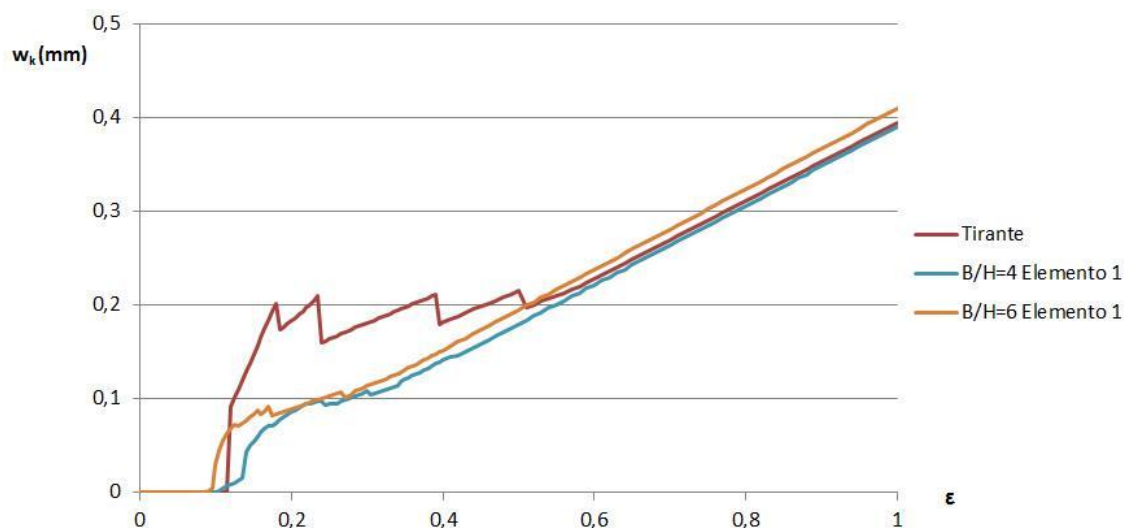


Figura 4.33 – Gráfico representativo da abertura de fendas calculada a partir de modelos numéricos – comparação entre muros e tirante – Elemento 1

Note-se, pela observação da figura 4.33 que, ao contrário do que sucede num tirante, a cada nova formação de fenda não está associada uma diminuição da sua abertura. Num tirante (ver figura 2.9), sempre que há um decréscimo do esforço axial, associado à abertura de uma nova fenda, o valor de w_k sofre uma abrupta diminuição, tendendo depois a crescer há medida que o esforço vai aumentando. No muro, tal como foi visto na figura 4.26, após a tensão atingir um nível máximo de fendilhação tende a descer e a estabilizar, o que é refletido na abertura de fendas.

Apresenta-se seguidamente, o cálculo da abertura de fendas para o elemento nº 3 em dois diferentes muros. Como se pode observar pelo gráfico (figura 4.34), para a zona superior do muro, a relação B/H já tem um peso muito mais significativo sendo que no muro com menor desenvolvimento longitudinal, a abertura de fendas é significativamente inferior para deformações impostas superiores a 0,4‰. No entanto, para valores de deformação ordem dos 0,3‰, ambos aparentam ter a mesma abertura de fendas.

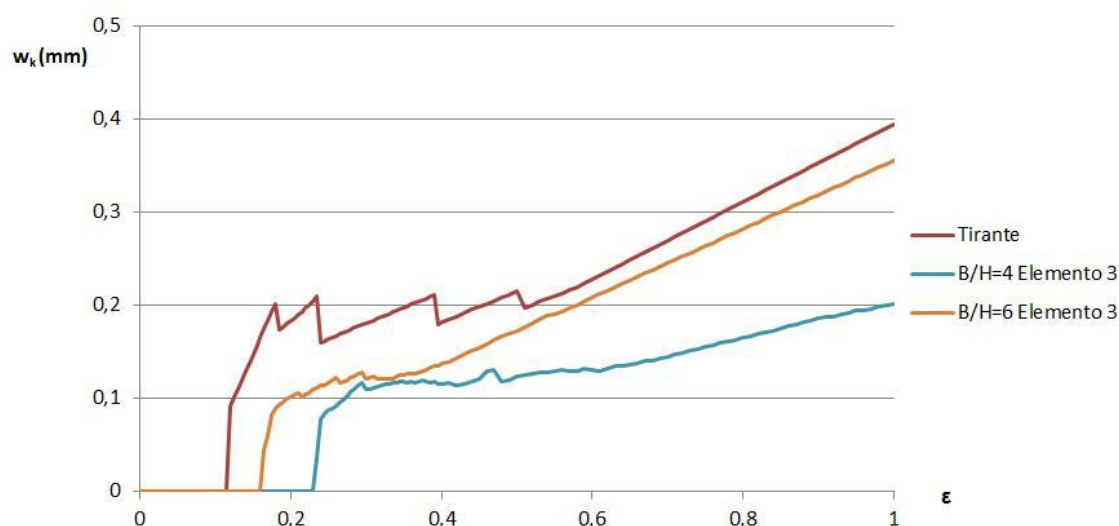


Figura 4.34 - Gráfico representativo da abertura de fendas calculada a partir de modelos numéricos – comparação entre muros e tirante – Elemento 3

Representado na tabela 4.6 estão os valores da abertura de fendas calculados para uma deformação imposta de 0,3‰. Como se pode observar, no cálculo da abertura de fendas preconizado pelo EC2 parte 1-1, os valores são muito superiores aos valores obtidos tanto com o modelo como com a formulação proposta pelo EC2 parte 3.

Tabela 4-6 – Valores de aberturas de fendas para $\varepsilon=0.3\text{‰}$ (em mm)

		Ec2 parte 1-1	Modelo	Ec2 parte 3 ¹
B/H				
Muro	4	0.2013	0.1040	0.1322
	6	0.2145	0.1137	0.1322

É importante referir que para o cálculo da abertura de fendas segundo o Eurocódigo 2 parte 1-1, no cálculo de $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$, para o valor de σ_s foi utilizada a tensão obtida pelo modelo na deformação imposta referida. O Eurocódigo 2 parte 1-1 considera que, para o cálculo de deformações impostas, a tensão que deve ser considerada é igual à tensão $\sigma_{sr,cr}$. No entanto, se tal estivesse a ser considerado, a abertura de fendas preconizada para o muro seria bastante superior pois seria calculada com uma tensão cerca de 60 MPa superior. A consideração da tensão, σ_s , no cálculo de $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ segundo este regulamento é aplicável, como visto nas várias figuras que comparam as tensões nas armaduras do tirante com os muros (exemplo da figura 4.23), apenas a tirantes pois, para a fase de formação de fendas, é esta a tensão a que as armaduras estão sujeitas. Para muros, foi observado pelas mesmas figuras que para a mesma fase, a tensão nas armaduras do muro, tanto na zona superior como inferior, é bastante menor.

Assim, apesar de ser ligeiramente conservativo, o Eurocódigo 2 parte 3 parece representar bem a verdadeira abertura de fendas em elementos restringidos na sua base.

Pelas conclusões tiradas pelas figuras representativas das aberturas de fendas e pelos valores da tabela 4.6, pode ser concluído neste subcapítulo que a abertura de fendas está diretamente relacionada com o grau de restrição a que a estrutura está sujeita.

¹ Para comparação equiparada com o modelo, foi utilizado como grau de restrição os valores propostos por Emborg, ausentes de qualquer fator de modificação

5. CONCLUSÕES / DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

O presente estudo pretende avaliar os efeitos causados às estruturas de betão armado pelas ações originadas devido às deformações impostas. A partir do mecanismo de fendilhação caracterizante do tirante, pretende-se fazer um estudo, comparando o mesmo com diversos muros de betão armado.

Inicialmente, faz-se uma caracterização das deformações impostas às quais as estruturas de betão estão sujeitas com especial ênfase na retração. A correta consideração destas ações permite o conhecimento das tensões de tração possibilitando o controlo de fendilhação através da limitação da abertura de fendas. Dependendo das condições de restrição da estrutura, as deformações impostas podem originar maiores ou menores tensões de tração e como tal, o conhecimento do grau de restrição a que as estruturas estão sujeitas é de extrema importância.

Apresentadas as abordagens regulamentares para o cálculo de abertura de fendas e para a consideração do grau de restrição afeto à estrutura, constroem-se diversos modelos numéricos com o intuito de avaliar a influência de parâmetros como a relação desenvolvimento longitudinal/altura e o efeito da restrição da fundação, avaliados em diferentes alturas e distâncias aos extremos dos muros.

Para validar os resultados foi modelado um tirante. Tendo sido obtidos os resultados expectáveis e assim confirmada a validade do modelo, procede-se à modelação dos diferentes muros para comparação com o tirante.

Analisando os diferentes elementos estudados no muro, calculando as tensões na armadura e respetiva abertura de fendas, foi possível atribuir alguma influência aos parâmetros estudados assim como avaliar a aplicabilidade dos diferentes regulamentos para elementos sujeitos apenas a restrição na base. Foi feita uma análise qualitativa ao grau de restrição a que a estrutura está sujeita tendo sido concluídos os seguintes pontos:

- O grau de restrição tende a diminuir em altura. Há medida que avançamos da base do muro para o seu topo, o efeito causado pela restrição da sapata também diminui.
- O afastamento do centro do muro também tem efeitos no grau de restrição. Há medida que nos afastamos do centro, o grau de restrição causado pela sapata é inferior.
- A tensão na armadura no momento de ocorrência da primeira abertura de fenda é igual tanto no tirante como para elementos situados na base da zona central do muro.

- A tensão nas armaduras é dependente do valor do grau de restrição.
- Após determinada secção fendilhar, a tensão nas armaduras nunca mais volta ao valor de $\sigma_{s,cr}$ nessa mesma secção, fazendo-se sentir entre 50% a 70% desse valor.
- No topo do muro, o grau de restrição varia com a relação B/H. Quanto maior for a relação B/H, maior é o grau de restrição provocado pela sapata.
- A relação tensão-extensão do material após abertura de fenda tende a ser linear e apenas dependente do grau de restrição exercido pela fundação.

Fazendo uma análise aos resultados observados no cálculo da abertura de fendas para o muro conclui-se que:

- O Eurocódigo 2 parte 1-1 é demasiado conservativo no que diz respeito ao cálculo de abertura de fendas dos muros. Este regulamento considera a abertura de fendas para um tirante em que durante a fase de formação de fendas, a tensão nas armaduras atinge sempre o valor de $\sigma_{sr,cr}$. O mesmo não acontece no muro em que a tensão nas armaduras é sempre inferior a esse valor.
- Nos gráficos realizados representativos da diferença de extensão entre o aço e o betão observa-se, claramente, que no muro a deformação impedida é proporcional à deformação livre fazendo-se sentir a influência do grau de restrição da estrutura.
- Os resultados obtidos pela formulação proposta pelo Eurocódigo 2 parte 3 no cálculo de abertura de fendas aproximam-se bastante dos resultados obtidos pelos modelos numéricos assegurando uma boa base para dimensionamento deste tipo de estruturas.

Assim, pelo predisposto anteriormente, verifica-se que as estruturas sujeitas a restrições apenas na base, estão em grande parte influenciadas pelo grau de restrição imposto pela sapata. É de uma importância enorme a correta quantificação deste fator dado que a quantidade de armadura necessária para cumprir limites e exigências relativas à abertura de fendas depende do conhecimento deste.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No seguimento do trabalho efetuado e tendo em conta que não foram possíveis abordagens a alguns temas considerados importantes, aconselha-se para desenvolvimento futuro os seguintes assuntos:

- Quantificação do grau de restrição R_{ax} , preconizado pelo Eurocódigo 2 parte 3, recorrendo a diversos modelos numéricos e comparação com estudos ensaiados.
- Avaliação do fator de modificação considerado pelo menos regulamento no valor de R_{ax} .
- Inclusão de análises com diferentes percentagens de armadura por forma a avaliar a sua influência no grau de restrição.
- Estudo do grau de restrição em modelos de estruturas massivas com inclusão do efeito do calor de hidratação.
- Estudo do efeito da utilização de betões de elevado desempenho.

BIBLIOGRAFIA

1. **CEN.** *Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.* 2010.
2. **CIRIA.** *Early-age thermal crack control in concrete, in C660.* Londres : Henry Ling, 2010.
3. **CEN.** *Eurocode 2 - Design of concrete structures - part 3: Liquid retaining and containment structures.* 2006.
4. **Faria, Rui.** *Cement & Concrete Composites 28.* Elsevier. 2006, pp. 572-585.
5. **Azenha, Miguel.** *Comportamento do betão nas primeiras idades.* Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004. Tese de Mestrado.
6. **Harrison, T A.** *Early-age Thermal Crack Control in Concrete.* s.l. : Ciria Report 91, 1992.
7. **Coutinho, A. Sousa.** *Fabrico e Propriedades do Betão.* Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994. Vol. I.
8. **Coutinho, A. Sousa.** *Fabrico e Propriedades do Betão.* Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1998. Vol. II.
9. **Teixeira, W.** *Controlo de fendilhação para deformações impostas em depósitos.* Lisboa : Instituto Superior do Técnico, 2008. Tese de Mestrado.
10. **Leitão, Luís.** *Análise dos Efeitos das Deformações Impostas em Estruturas de Betão Armado.* Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011. Dissertação de Mestrado.
11. **Silva, Ana.** *A influência dos adjuvantes redutores da retracção no controlo da fissuração.* Núcleo de Betões. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006. Dissertação de Mestrado.
12. **CEB.** *Bulletin d'Informatio N°235 - Serviceability Models.* 1997.
13. **Vieira, Óscar.** *A consideração de deformações impostas no projecto de tanques.* Lisboa : Instituto Superior do Técnico, 2011. Dissertação de Mestrado.
14. **Sousa, C. F.** *Continuidade estrutural em tabuleiros de pontes construídos com vigas pré-fabricadas. Solução com ligação em betão armado.* Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004. Tese de Mestrado.

15. **Bamforth, P.** *Properties of concrete for use in Eurocode 2*. s.l. : The Concrete Center, 2008.
16. **Coelho, Carlos.** *Dimensionamento de estruturas às deformações impostas*. Lisboa : Instituto Superior do Técnico, 2004. Tese de Mestrado.
17. **CEN.** *Eurocódigo 1: Acções em estruturas – parte 1.5: Acções gerais - Acções térmicas*. 2003.
18. **Luís, Ricardo.** *Análise e dimensionamento de estruturas de betão com sobreposição de cargas e Deformações Impostas*. s.l. : Instituto Superior do Técnico, 2005. Dissertação de Mestrado.
19. **Favre, R., et al., et al.** *Traité de génie civil, volume 8: Dimensionnement des structures en béton - Aptitude au service et éléments de structures*. Lausanne : École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1997.
20. **B.P., Hughes.** Early-age concrete crack control - Is EC 2 right or wrong? *Structural Engineer*. 2008, pp. 32-37.
21. **Pimentel, M. S.** *Modelação e análise de estruturas laminares de betão: possibilidade e desafios*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004. Tese de Mestrado.
22. **Faria, R.** *Avaliação do comportamento sísmico de barragens de betão através de um modelo de dano contínuo*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994. Tese de Doutoramento.
23. **Póvoas, R. H.** *Modelos Não-Lineares de Análise e Dimensionamento*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1991. Tese de Doutoramento.
24. **Rodrigues, J. S.** *Efeitos da retracção em estruturas de betão armado de edifícios: métodos de análise e dimensionamento*. Guimarães : Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2010. Tese de Mestrado.
25. **Bazant, Z.P. e Oh, B. H.** Crack band theory for fracture of concrete. *Matériaux et Constructions*. 1983, pp. 155-177.
26. **de Souza, Rafael Alves.** *Concreto Estrutural: Análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades*. São Paulo : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. Tese de Doutoramento.

ANEXOS

Anexo 1: Exemplo de ficheiro de dados DIANA

Anexo 2: Exemplo de ficheiro de comandos de DIANA

Anexo 3: Exemplo de 1 script para extração de dados do DIANA para ficheiro .lst

Anexo 4: Exemplo de 1 Macro para extração de dados de ficheiro .lst para excel

Anexo 5: Exemplo de 1 Macro para a criação automática de gráficos

Anexo 6: Interface de gráficos no MsExcel

Anexo 7: Interface de cálculo da retração

ANEXO 1

Sub Importar()

,

' importar ficheiros do idiana

,

,

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
    "TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\betao1.lst", Destination:= _
    Range("$D$9"))
    .Name = "betao_3"
    .FieldNames = True
    .RowNumbers = False
    .FillAdjacentFormulas = False
    .PreserveFormatting = True
    .RefreshOnFileOpen = False
    .RefreshStyle = xlOverwriteCells
    .SavePassword = False
    .SaveData = True
    .AdjustColumnWidth = True
    .RefreshPeriod = 0
    .TextFilePromptOnRefresh = False
    .TextFilePlatform = 850
    .TextFileStartRow = 8
    .TextFileParseType = xlFixedWidth
    .TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
    .TextFileConsecutiveDelimiter = False
    .TextFileTabDelimiter = True
    .TextFileSemicolonDelimiter = False
    .TextFileCommaDelimiter = False
    .TextFileSpaceDelimiter = False
    .TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
```

```

.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\aco1.lst", Destination:= _
Range("$E$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\betao2.lst", Destination:= _

```

```
Range("$f$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\aco2.lst", Destination:= _
Range("$g$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
```

```
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\betao3.lst", Destination:= _
Range("$h$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
```

```
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\aco3.lst", Destination:= _
Range("$i$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
```

```
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\betao4.lst", Destination:= _
Range("$j$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
```

```

.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\aco4.lst", Destination:= _
Range("$k$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\betao5.lst", Destination:= _
Range("$l$9"))

```

```
.Name = "betao_3"  
.FieldNames = True  
.RowNumbers = False  
.FillAdjacentFormulas = False  
.PreserveFormatting = True  
.RefreshOnFileOpen = False  
.RefreshStyle = xlOverwriteCells  
.SavePassword = False  
.SaveData = True  
.AdjustColumnWidth = True  
.RefreshPeriod = 0  
.TextFilePromptOnRefresh = False  
.TextFilePlatform = 850  
.TextFileStartRow = 8  
.TextFileParseType = xlFixedWidth  
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote  
.TextFileConsecutiveDelimiter = False  
.TextFileTabDelimiter = True  
.TextFileSemicolonDelimiter = False  
.TextFileCommaDelimiter = False  
.TextFileSpaceDelimiter = False  
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)  
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)  
.TextFileTrailingMinusNumbers = True  
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _  
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\aco5.lst", Destination:= _  
Range("$m$9"))  
.Name = "betao_3"  
.FieldNames = True  
.RowNumbers = False  
.FillAdjacentFormulas = False  
.PreserveFormatting = True  
.RefreshOnFileOpen = False
```

```
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\betao6.lst", Destination:= _
Range("$n$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
```

```

.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro\AS2\aco6.lst", Destination:= _
Range("$o$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True

```

```
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
```

```
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\betao1.lst", Destination:= _
```

```
Range("$q$9"))
```

```
.Name = "betao_3"
```

```
.FieldNames = True
```

```
.RowNumbers = False
```

```
.FillAdjacentFormulas = False
```

```
.PreserveFormatting = True
```

```
.RefreshOnFileOpen = False
```

```
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
```

```
.SavePassword = False
```

```
.SaveData = True
```

```
.AdjustColumnWidth = True
```

```
.RefreshPeriod = 0
```

```
.TextFilePromptOnRefresh = False
```

```
.TextFilePlatform = 850
```

```
.TextFileStartRow = 8
```

```
.TextFileParseType = xlFixedWidth
```

```
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
```

```
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
```

```
.TextFileTabDelimiter = True
```

```
.TextFileSemicolonDelimiter = False
```

```
.TextFileCommaDelimiter = False
```

```
.TextFileSpaceDelimiter = False
```

```
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
```

```
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
```

```
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
```

```

.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\aco1.lst", Destination:= _
Range("$r$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\betao2.lst", Destination:= _
Range("$s$9"))
.Name = "betao_3"

```

```
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\aco2.lst", Destination:= _
Range("$t$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
```

```
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\betao3.lst", Destination:= _
Range("$u$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
```

```
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\aco3.lst", Destination:= _
Range("$v$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
```

```
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\betao4.lst", Destination:= _
Range("$w$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _

"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\aco4.lst", Destination:= _

Range("\$x\$9"))

.Name = "betao_3"

.FieldNames = True

.RowNumbers = False

.FillAdjacentFormulas = False

.PreserveFormatting = True

.RefreshOnFileOpen = False

.RefreshStyle = xlOverwriteCells

.SavePassword = False

.SaveData = True

.AdjustColumnWidth = True

.RefreshPeriod = 0

.TextFilePromptOnRefresh = False

.TextFilePlatform = 850

.TextFileStartRow = 8

.TextFileParseType = xlFixedWidth

.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote

.TextFileConsecutiveDelimiter = False

.TextFileTabDelimiter = True

.TextFileSemicolonDelimiter = False

.TextFileCommaDelimiter = False

.TextFileSpaceDelimiter = False

.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)

.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)

.TextFileTrailingMinusNumbers = True

.Refresh BackgroundQuery:=False

End With

With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _

"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\betao5.lst", Destination:= _

Range("\$y\$9"))

.Name = "betao_3"

.FieldNames = True

.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False

End With

With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\aco5.lst", Destination:= _
Range("\$z\$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False

```
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\betao6.lst", Destination:= _
Range("$aa$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
```

```
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro6\AS2\aco6.lst", Destination:= _
Range("$ab$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
```

```
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\betao1.lst", Destination:= _
Range("$ad$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```

With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\aco1.lst", Destination:= _
Range("$ae$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False

```

End With

```

With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\betao2.lst", Destination:= _
Range("$af$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False

```

.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False

End With

With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\aco2.lst", Destination:= _
Range("\$ag\$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True

```
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\betao3.lst", Destination:= _
Range("$ah$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
```

```
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\aco3.lst", Destination:= _
Range("$ai$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
```

```

.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\betao4.lst", Destination:= _
Range("$aj$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _

```

```

"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\aco4.lst", Destination:= _
Range("$ak$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\betao5.lst", Destination:= _
Range("$al$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False

```

```
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\aco5.lst", Destination:= _
Range("$am$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
```

```
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\betao6.lst", Destination:= _
Range("$an$9"))
.Name = "betao_300"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
```

```
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
"TEXT;C:\Users\Pedro\Desktop\DIANA FINAL\Muros\Muro9\AS2\aco6.lst", Destination:= _
Range("$ao$9"))
.Name = "betao_3"
.FieldNames = True
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlOverwriteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 8
.TextFileParseType = xlFixedWidth
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(9, 9, 9, 9, 1)
```

```
.TextFileFixedColumnWidths = Array(1, 6, 8, 16)
```

```
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
```

```
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

```
End With
```

```
End Sub
```

ANEXO 2

Sub Graficos3()

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim k As Integer

Dim l As Integer

Dim m As Integer

Dim n As Integer

Dim rng, rng2, rng3, rng4, rng5, rng6, cell1, cell2, cell3, cell4, cell5, cell6, cell7, cell8, cell9, cell10, cell11, cell12 As Range

i = Folha11.Cells(15, 31).Value

Set cell1 = Folha11.Cells(8, i)

Set cell2 = Folha11.Cells(148, i)

Set rng = Range(cell1, cell2)

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "=""Muro Ro=1 S/ Restrição"""

ActiveChart.SeriesCollection(2).XValues = "=""Esforços!\$A\$8:\$A\$148"""

ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = rng

j = Folha4.Cells(15, 27).Value

Set cell3 = Folha4.Cells(8, j)

Set cell4 = Folha4.Cells(148, j)

Set rng2 = Range(cell3, cell4)

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = "=""Muro Ro=1"""

ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "=""Esforços!\$A\$8:\$A\$148"""

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = rng2

k = Folha9.Cells(18, 52).Value

Set cell5 = Folha9.Cells(8, k)

Set cell6 = Folha9.Cells(148, k)

Set rng3 = Range(cell5, cell6)

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = ""Muro Ro=1 S/restrição""
ActiveChart.SeriesCollection(2).XValues = "Esforços!$A$8:$A$148"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = rng3
l = Folha3.Cells(18, 52).Value
Set cell7 = Folha3.Cells(8, l)
Set cell8 = Folha3.Cells(148, l)
Set rng4 = Range(cell7, cell8)
```

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = ""Muro Ro=1""
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "Esforços!$A$8:$A$148"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = rng4
m = Folha9.Cells(18, 56).Value
Set cell9 = Folha9.Cells(8, m)
Set cell10 = Folha9.Cells(148, m)
Set rng5 = Range(cell9, cell10)
```

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = ""F (KN) Muro S/Restr""
ActiveChart.SeriesCollection(2).XValues = "Esforços!$A$8:$A$148"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = rng5
n = Folha3.Cells(18, 57).Value
Set cell11 = Folha3.Cells(8, n)
Set cell12 = Folha3.Cells(148, n)
Set rng6 = Range(cell11, cell12)
```

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = ""F (KN) C/Restr""
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "Esforços!$A$8:$A$148"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = rng6
```

End Sub

Anexo 3

Exemplo de Script para extrair dados de Diana para ficheiros

r l lc1 2 to lc1 141

v m muro

l m el

r g el.sx sxx

p g el 147

u t p o betao1

p g el 149

u t p c

u t p o betao2

p g el 299

u t p c

u t p o betao3

p g el 300

u t p c

u t p o betao4

p g el 142

u t p c

u t p o betao5

p g el 292

u t p c

u t p o betao6

p g el 382

u t p c

r g re.s sxx

u t p o aco1

p g el 569

u t p c

u t p o aco2

p g el 719

u t p c

u t p o aco3

p g el 809
u t p c
u t p o aco4
p g el 562
u t p c
u t p o aco5
p g el 712
u t p c
u t p o aco6
p g el 802
u t p c