



**ANDRÉ JOÃO MOURA DE CAMPOS O PAPEL DAS ESTRUTURAS METÁLICAS NA
REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO**



ANDRÉ JOÃO MOURA DE CAMPOS **O PAPEL DAS ESTRUTURAS METÁLICAS NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação científica do Professor Doutor Nuno Filipe Ferreira Soares Borges Lopes, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José Miguel de Freitas Castro
Professor Auxiliar da Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia (arguente)

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente
Professor Associado da Universidade de Aveiro (orientador).

agradecimentos

Ao finalizar esta dissertação de mestrado não posso deixar de agradecer:

Ao meu orientador, Professor Doutor Romeu da Silva Vicente e co-orientador, Professor Doutor Nuno Filipe Ferreira Soares Borges, pela forma como orientaram o meu trabalho, pela disponibilidade demonstrada e por todo o apoio que me prestaram durante a execução deste trabalho.

A todos os colegas de trabalho pelo o apoio e contribuições prestadas.

Aos meus familiares e amigos próximos pelo apoio e paciência nas ausências.

Finalmente um agradecimento especial à Joana, pela ajuda e pela compreensão demonstrada.

palavras-chave

Reabilitação, estruturas metálicas, custos associados, pormenorização construtiva.

resumo

Em Portugal a área da reabilitação estrutural do edificado antigo tem apresentado um notório crescimento, em grande parte devido à existência de um vasto património que apresenta necessidades claras de reabilitação e manutenção e a um abrandamento do mercado da construção de novas edificações.

Esta dissertação de mestrado aborda o tema da reabilitação do edificado antigo com recurso a soluções metálicas. São apresentadas, detalhadas e identificadas as limitações e as vantagens de soluções metálicas para o reforço do edificado antigo. Estas soluções têm uma aplicabilidade muito elevada na reabilitação, e apresentam-se como alternativas muito válidas quer às soluções originais quer às soluções mais comuns de reforço pela sua elevada compatibilidade e moderada intrusividade.

A reabilitação com recurso a soluções metálicas apresenta-se ainda como mais económica, permitindo soluções mais leves que introduzem menos problemas nas estruturas de suporte existentes, nomeadamente as paredes de alvenaria e estrutura de madeira, sendo soluções com elevado grau de reversibilidade.

keywords

Rehabilitation, steel structures, associated costs, constructive detail.

abstract

In Portugal, the structural retrofitting of the old building stock has presented a notorious growth especially due to the existence of a vast heritage with clearly needs of rehabilitation and maintenance and a decrease on the construction of new buildings.

This dissertation focuses on the rehabilitation of old buildings resorting to the use of steel solutions. The limitations and advantages of steel solutions to strengthen old buildings are presented, described and detailed. These solutions have an extremely high applicability in rehabilitation and represent valid alternative solutions to either the original solutions or the most common retrofitting solutions due to their high compatibility and moderate intrusiveness.

The rehabilitation using steel solutions is a more prominent economical option and allows lighter solutions that introduce less problems to the existing structures, mainly the masonry walls and timber structures, being also solutions with a high degree of reversibility.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1. Considerações gerais	1
1.2. Motivação e objectivos.....	3
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. A utilização de aço na construção metálica	5
2.1. Perspectivas históricas.....	5
2.2. Tratamento anticorrosivo.....	9
2.3. Protecção ao fogo	12
3. Soluções de reforço – Intervenções locais.....	15
3.1. Soluções de reforço – Intervenções locais em paredes.....	15
3.1.1 Tirantes.....	15
3.1.2 Confinamento transversal de paredes	20
3.1.3 Aplicação de vigas treliça.....	23
3.1.4 Ligação de paredes ortogonais.....	27
3.2. Soluções de reforço – Intervenções locais em pavimentos.....	29
3.2.1 Aplicação de chapas ou perfis de reforço locais.....	30
3.2.2 Colocação de perfil perpendicular à viga	34
3.2.3 Colocação de perfil paralelo à viga	36
3.3. Soluções de reforço – Intervenções locais em coberturas	39
3.3.1 Chapas e perfis de reforços.....	40
3.3.2 Substituição de perfil de madeira por perfil metálico.....	43
3.4. Soluções de reforço – Intervenções locais em chaminés	45
4. Soluções de reforço – Intervenções globais.....	49
4.1. Soluções de reforço – Intervenções globais em paredes.....	49
4.1.1 Cintagem global dos edifícios	49
4.1.2 Reboco armado.....	52
4.2. Soluções de reforço – Intervenções globais em pavimentos.....	57
4.2.1 Substituição de pavimentos por estrutura em LSF	57
4.2.2 Substituição de pavimento por estrutura em perfis metálicos.....	61
4.2.3 Colocação de viga periférica com tarugamento do pavimento	63
4.3. Soluções de reforço – Intervenções globais em coberturas	67
4.3.1 Substituição de coberturas por estrutura em LSF	68
4.3.2 Substituição de coberturas por estrutura em Perfis metálicos.....	71
4.4. Soluções de reforço – Intervenções globais em chaminés.....	73
4.5. Análise resumida das soluções	78
5. Conclusões, comentários finais e perspectivas de trabalho futuro.....	81
5.1. Síntese do trabalho realizado.....	81
5.2. Conclusões principais.....	81
5.2.1 Intervenções de reforço local.....	81
5.2.2 Intervenções de reforço global.....	82
5.3. Comentário Final	82
5.4. Perspectiva de trabalho futuro	83
6. Referências bibliográficas	85
Anexo A	89

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Ponte Coalbrookdale, Inglaterra.(wikipedia, 2016)	5
Figura 2.2 – Pormenorização de estrutura metálica em TEKLA. (TEKLA, 2016)	6
Figura 2.3 – Perfis laminados a quente e secções enformadas a frio.(Simões, 2005).....	8
Figura 2.4 – Argamassa projectada. (Carneiro, 2012).....	13
Figura 2.5 – Aplicação de placa de lâ de rocha (Carneiro, 2012).....	13
Figura 2.6 – Reacção da tinta intumescente.(Mesquita, Piloto, Vaz, & Real, 2005).....	14
Figura 3.1 - Tirante passivo em paredes de alvenaria (Planirest.pt, n.d.).....	16
Figura 3.2 - Tirante não aderente (Cóias, 2007).....	16
Figura 3.3 – Diferentes tipos de esticadores (Rodrigues, 2010).....	17
Figura 3.4 – Funcionamento dos tirantes (Cóias, 2007).....	18
Figura 3.5 – Confinamento transversal (Rodrigues, 2010).....	20
Figura 3.6 – Conectores e pregagens (Cóias, 2007).....	21
Figura 3.7 – Efeito do confinamento transversal (Rodrigues, 2010).....	22
Figura 3.8 – Aplicação de vigas reticuladas em fachadas.(Barros, 2005)	23
Figura 3.9 – Viga treliça colocada em posição central (Barros, 2005).	24
Figura 3.10 – Viga treliça e tirante. (Lopes, 2008).....	25
Figura 3.11 – Desenho de assemblagem da viga treliça.	25
Figura 3.12 – Exemplos de melhoria de ligação de paredes ortogonais (Roque, 2002).	27
Figura 3.13 – Exemplos de Mecanismos de colapso de estruturas de alvenaria. (Faria & Chastre, 2015).28	
Figura 3-14 – Solução preconizada para análise de custo.	29
Figura 3.15 – Associação entre aço e madeira (Moraes, 2009).	30
Figura 3.16 – Pormenor da ligação da chapa à viga de madeira (Cóias, 2007).	31
Figura 3.17 – Reforço com LSF (Branco, 2014).	31
Figura 3.18 – Reforço de viga com recurso a chapas e varões roscados. (Ilharco et al., 2010).....	32
Figura 3.19 – Exemplo de aplicação de perfis comerciais UPN nas faces laterais de viga degradada (Arriaga et al.,2002)	32
Figura 3.20 – Viga Metálica (Barros et al., 2008).	35
Figura 3.21 – Vigas metálicas adicionais (Baião et al., 2012).....	35
Figura 3.22 –Vigas paralelas ao vigamento existente (Carneiro, 2012)	37
Figura 3.23 – Exemplo de aplicação de vigas paralelas ao vigamento de madeira (costa et al., 2014).....	37
Figura 3.24 – Corte e pormenor da solução adoptada (Anibal Costa et al., 2014)	38
Figura 3. 25 – Ferragens típicas das asnas (F. Costa, 1955).	40
Figura 3.26 – Pormenor de reforço das vigas de madeira às paredes da capela na Igreja Corpus Christi (Costa et al., 2014).	41
Figura 3.27 – Esquema preconizado para reforço dos apoios (Costa et al., 2014).	42
Figura 3.28 – Reforço da linha da asna (Costa et al., 2014).	42
Figura 3.29 –Chaminés em centros urbanos. (Ivorra, 2014).....	45
Figura 3.30 –Fissuração em chaminés de alvenaria. (V. A. M. Lopes, 2009).....	46
Figura 3.31 –Aplicação de cintas metálica para reforço de chaminés de alvenaria. (Ivorra, 2014)	46
Figura 4.1 – Aplicação de cintagem global.(Rodrigues, 2010)	50
Figura 4.2 – Cintagem pelo exterior (Rodrigues, 2010).	50
Figura 4.3 – Cintagem pelo interior (Lopes, 2008).	50
Figura 4.4 – Melhoria da ligação parede pavimento (Cóias, 2007).	51
Figura 4.5 – Cintagem com recurso a UPN (Costa et al., 2014).....	51
Figura 4.6 – Armadura metálica fixa por confinadores (Cóias, 2007).	53
Figura 4.7 – Aplicação de argamassa projectada (Cruz, 2008).1	54
Figura 4.8 – Aplicação localizada de reboco armado (Cóias, 2007).	55
Figura 4.9 – Perfis enformados a frio mais comuns (Moreira, 2012).	58
Figura 4.10 – Aplicação de laje em LSF (Futureng, 2011).	59
Figura 4.11 – Perfis da solução adoptada.	62
Figura 4.12 – Ligação entre viga de apoio e viga principal.....	62
Figura 4.13 Melhoria da ligação parede pavimento com cantoneiras quinadas (Ilharco, 2008).....	64
Figura 4.14 Cantoneira metálica fixa à parede (Arriaga, 2002).....	65
Figura 4.15 Aplicação de chapa fina continua (Ilharco, 2008).	65
Figura 4.16 Reforço do pavimento com chapas metálicas (Ilharco, 2008).....	66
Figura 4.17 Colocação de treliça horizontal em barra (Ilharco, 2008).	66

Figura 4.18 – Aplicação de treliça de cobertura em LSF (Futureng, 2011).	69
Figura 4.19 – Solução estrutural adoptada.	70
Figura 4.20 – Aplicação de treliça de cobertura (Quinta do Bomfim).	72
Figura 4.21 – Solução estrutural adoptada para treliça em perfis tubulares	72
Figura 4.22 – Fábrica de Cerâmica Campos em Aveiro.	74
Figura 4.23 – Vários formatos de chaminés. (V. A. M. Lopes, 2009).....	75
Figura 4.24 – Partes de uma chaminé. (Costa et al., 2014)	75
Figura 4.25 – Solução de reforço preconizada. (Costa et al., 2014).....	77

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Aços mais utilizados na construção metálica. (EN1993-1-1, 2010)	7
Tabela 2 – Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambientes típicos (Adaptado de CIN, 2013).....	10
Tabela 3 – Categorias de corrosividade para imersão em água e em solo (Adaptado de CIN, 2013).	10
Tabela 4 – Soluções propícias a corrosão e soluções alternativas (Carneiro, 2012).....	11
Tabela 5 –Esquemas de pintura para ambiente C3 com durabilidade alta (>15 anos) (adaptado de CIN, 2013)	12
Tabela 6 – Soluções de reforço locais em paredes.	15
Tabela 7 - Custo da chapa ancoragem	19
Tabela 8 - Custo da bucha química	19
Tabela 9 - Custo total do tirante	20
Tabela 10 - Custo total do confinamento transversal.	23
Tabela 11 – Custo por m ² da decapagem.....	26
Tabela 12 – Custo por kg da Viga treliça.	26
Tabela 13 – Custo total da viga treliça	27
Tabela 14 – Custo total do reforço de paredes ortogonais.....	29
Tabela 15 – Soluções de reforço locais em pavimentos.	30
Tabela 16 – Custo total de reforço de viga com chapa.	33
Tabela 17 – Custo total do reforço de viga com UPN.....	34
Tabela 18 – Custo total de reforço com perfil perpendicular à viga.....	36
Tabela 19 – Custo total de reforço com perfis paralelos à viga.....	39
Tabela 20 – Soluções de reforço locais em coberturas.	40
Tabela 21 – Custo total do reforço da cobertura com chapa quinada.	43
Tabela 22 – Custo total de substituição de perfil de madeira por perfil metálico.....	44
Tabela 23 – Custo total de cintas de reforço.....	47
Tabela 24 –Soluções de reforço globais em paredes.	49
Tabela 25 – Custo cintagem global de edifício com perfil UPN.	52
Tabela 26 – Custo total de reboco armado com rede electrossoldada.	56
Tabela 27 –Soluções de reforço globais em pavimentos.....	57
Tabela 28 – Valores máximos admissíveis (em m) de vão simples com reforço de apoio. (Tabela 7.1 - Silvestre et al., 2013).....	60
Tabela 29 – Custo da laje com perfis LSF.....	60
Tabela 30 – Custo total laje com perfis laminados a quente.....	63
Tabela 31 – Custo total da viga periférica com tarugamento do pavimento.....	67
Tabela 32 – Soluções de reforço globais em pavimentos	68
Tabela 33 – Equivalência entre velocidade do vento e sobrecarga da neve (adaptada de Tabela 7.13 - Silvestre et al., 2013).....	69
Tabela 34 – Vãos Máximos em planta, em vigas de cobertura. (adaptada de Tabela 7.12 - de Silvestre et al., 2013).....	70
Tabela 35 – Vãos Máximos vigas de tecto de vão único com reforço de apoio, sótão inacessível. (adaptada de Tabela 7.4 - Silvestre et al., 2013).....	70
Tabela 36 – Custo total da cobertura em LSF.	71
Tabela 37 – Custo total da cobertura em perfis tubulares.....	73
Tabela 38 – Custo total reforço global de uma chaminé.	78
Tabela 39 – Análise resumida das soluções.	80

1. Introdução

1.1. Considerações gerais

A reabilitação e reforço do património edificado, é um trabalho multidisciplinar, onde vários profissionais têm uma importante acção, pois apesar de terem habilitações distintas, são complementares em todo este processo profissionais como historiadores, arquitectos, engenheiros, arqueólogos, técnicos de conservação e restauro e outros trabalhadores especializados (Rodrigues, 2010).

A necessidade de reabilitação aparece intrinsecamente ligada ao conceito de utilidade da construção. Assim a reabilitação consiste numa reparação com o intuito de permitir o uso de uma certa estrutura, sendo muito importante o conceito de salvaguarda em casos de edifícios de alto valor patrimonial. As intervenções de reabilitação desenvolvem-se em três grandes campos, o desempenho do invólucro exterior, que se caracteriza mais pela importância do aspecto exterior e da integração no espaço urbano, um segundo campo que diz respeito às condições de habitabilidade e conforto, que remete essencialmente para o bem-estar das pessoas que utilizam o espaço, o aparecimento de novas soluções e novas tecnologias permite hoje em dia manter em uso edifícios com um aumento acentuado das condições de habitabilidade apesar da sua idade. O terceiro é o comportamento estrutural, que remete para a segurança de bens e pessoas, sendo que este assume particular relevância quando existe a componente sísmica (Cóias, 2007).

Grande parte do edificado antigo existente é baseado na utilização de paredes de alvenaria, pavimentos e coberturas em madeira. Estes edifícios apresentam variadas patologias e fragilidades ao nível estrutural e especialmente no desempenho sísmico. Tendo em conta esta premissa torna-se necessário desenvolver soluções de reabilitação e reforço que permitam melhorar o comportamento estrutural destes edifícios, soluções estas que se devem apresentar como menos intrusivas possível e com possibilidade de reversão.

Tais soluções devem também permitir, em casos que seja necessário, possibilitar alterações arquitectónicas, alterações de uso dos edifícios ou uma melhor resposta a situações imprevistas como o caso de sismo (Mateus, 2015).

Todo e qualquer tipo de intervenção deve ter em consideração o valor patrimonial dos edifícios a intervencionar, e nesta medida as soluções devem ser o menos intrusivas possível e compatíveis com o pré-existente (Cóias, 2007).

Considerando que grande parte do edificado antigo do País necessita de intervenções de reabilitação, cuja urgência e dimensão está exponencialmente ligada à idade do tecido urbano, sendo que a título de exemplo em Lisboa mais de 50% dos edifícios necessitam de intervenções e que cerca de 3000 apresentam um estado de degradação muito avançado (Mateus, 2015).

As soluções consideradas tradicionais hoje em dia, como a utilização do betão armado, apresentam grandes limitações quando utilizadas no domínio da reabilitação de edifícios antigos. O aparecimento de novas tecnologias e materiais, veio permitir a execução de intervenções com materiais como o aço, que permitem soluções mais leves que as de betão armado e mais resistentes que as originais.

Estas intervenções deverão sempre salvaguardar o valor intrínseco do imóvel, salvaguardando o seu valor arquitectónico e cultural, e se bem planeada, concebida e executada, podemos falar de uma solução muito interessante a nível económico.

Nestas intervenções devem ser salvaguardados alguns critérios muito importantes, tais como a eficácia da solução, a compatibilidade do material adicionado na intervenção com os materiais existentes, a durabilidade das soluções e materiais preconizados para as intervenções e a reversibilidade que permite a remoção da solução se existirem diferentes decisões no futuro. Além destes critérios existe também a eficiência da solução que promoverá o menor consumo de recursos.

As intervenções podem ser claramente divididas em dois tipos, as de melhoria, que se destinam a melhorar o comportamento estrutural dos edifícios intervencionados e os de adequação, que tornam o edifício apto a resistir a todas as acções previstas na regulamentação.

Nas acções de reabilitação, reforços e conservação, deve também ser tido em conta a necessidade de estas serem o mais correctas possível a nível ambiental,

promovendo a sustentabilidade. Estas orientações estão ligadas a várias questões ambientais tais como a eficiência energética, economia dos materiais, a localização, a envolvente e a preservação e economia de água (Cóias, 2007).

1.2. Motivação e objectivos

Na sequência das soluções de reabilitação e reforço que envolvem componentes de aço pretende-se compilar e analisar um conjunto de soluções aplicáveis ao edificado antigo.

A análise executada relaciona-se com elementos importantes na reabilitação tais com intrusividade, reversibilidade, aumento da capacidade resistente, necessidade de mão-de-obra especializada e o custo das soluções.

Com esta análise pretende-se fornecer o custo relativo associado às soluções, apresentando as vantagens e desvantagens das mesmas.

Para execução desta análise dividiu-se a mesma em soluções globais e soluções locais, sendo que dentro de cada um destes grupos subdividiu-se em reforço e reabilitação de paredes, pisos e coberturas. Apresenta-se também o reforço de chaminés de alvenaria quer devido à sua especificidade quer devido à existência de numerosos casos em Portugal.

Cada uma das técnicas é resumidamente descrita e analisada. Para análise de custo optou-se pelo uso do programa gerador de preços CYPE. Sempre que necessário foram efectuadas consultas ao mercado. Os custos são baseados em soluções que foram pormenorizadas para facilitar a sua análise, sendo que as pormenorizações se encontram nos anexos deste documento.

Por fim executou-se uma Tabela quer permite facilmente compreender toda a análise a que se procedeu neste documento.

1.3. Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos e um anexo, sendo que o capítulo 1 é a presente introdução, na qual se apresenta as considerações gerais, a motivação e objectivos e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2, a utilização de aço na construção metálica, apresenta o enquadramento histórico da construção metálica bem como as necessidades de

protecção anticorrosiva e contra a acção do fogo comuns a todas as estruturas metálicas.

No capítulo 3, soluções de reforço locais, apresentam-se várias técnicas de reforço consideradas locais, subdivididas pelo local de aplicação, sendo as mesmas descritas e analisadas, por forma a se poder obter um custo das mesmas.

O capítulo 4, soluções de reforço globais, apresentam-se várias técnicas de reforço consideradas globais, subdivididas pelo local de aplicação, sendo as mesmas descritas e analisadas, por forma a se poder obter um custo das mesmas.

Finalmente, no capítulo 5, conclusões, resumem-se as principais conclusões do trabalho realizado apresentando ainda alguma perspectivas de trabalho futuras.

No anexo A são apresentadas todas as pormenorizações e detalhes das soluções apresentadas nos capítulos 3 e 4.

2. A utilização de aço na construção metálica

2.1. Perspectivas históricas

A utilização de estruturas metálicas como elemento construtivo tem início no século XVIII, com a utilização de ferro fundido. A ponte de Coalbrookdale, ilustrada na Figura 2.1, em Inglaterra é um dos primeiros exemplos desta técnica tendo sido completada em 1779. Como o ferro fundido apresenta um mau comportamento à tracção toda a estrutura foi pensada para trabalhar a compressão.



Figura 2.1 – Ponte Coalbrookdale, Inglaterra.(wikipedia, 2016)

Na segunda metade do século XIX, com o avanço da revolução industrial, passa a ser comum o uso do aço laminado, que apresenta um melhor comportamento quer à tracção quer a flexão que o ferro fundido, aparecendo nesta altura os perfis tipo I, por volta de 1870 (Moraes, 2009).

É com o desenvolvimento da siderurgia com base nos processos de Siemens-Martin em 1865, Bessemer em 1870 e posteriormente por Thomas em 1888, que se industrializa a produção do aço. A Soldadura vai sendo desenvolvida por várias décadas no final do século XIX. No início do século aparece o Oxi-corte e a soldadura com base em eléctrodos. Posteriormente aparecem outras inovações tais como a tecnologia de corte a laser e a soldadura por arco-submerso.

Em meados do século XX, e com o aparecimento dos sistemas digitais aparece a tecnologia CAD, que permite um grande avanço do projecto e detalhe das estruturas metálicas, sendo na década de 70 que se dá o grande desenvolvimento com o aparecimento da tecnologia CAM nas máquinas de

produção, que torna o processo de fabrico muito mais rápido e fiável (Santos & Silva, 2011).

O uso de estruturas metálicas apresenta uma série de vantagens significativas tais como a liberdade arquitectónica, pois permite soluções mais arrojadas, mas que necessitam de uma componente técnica muito específica e mão-de-obra muito especializada quer em fase de projecto e preparação de obra, quer em fase de fabrico e montagem das estruturas metálicas. Com o recurso a aço aparece por norma um maior pé-direito útil, pois os perfis metálicos são mais esbeltos que os sistemas de construção convencionais, o que permite soluções mais flexíveis especialmente em casos de reabilitação e ou reforço de edifícios antigos.

O uso de soluções metálicas é também importante na redução do prazo de execução, sendo que estudos indicam uma redução até 40% do tempo de construção em relação às soluções convencionais. Outro elemento importante prende-se com a racionalização de materiais, pois os desperdícios são mais facilmente controláveis e praticamente inexistentes em estaleiro, tornando-o mais limpo e organizado.

As soluções metálicas apresentam-se como mais leves que as tradicionais, especialmente quando comparadas com as de betão, permitindo um alívio de carga sobre as estruturas de suporte.

Outra das grandes vantagens do uso de aço é a precisão, pois a mesma é executada ao milímetro com recurso a programas computacionais específicos, como se ilustra na Figura 2.2, que permitem o desenvolvimento e pormenorização das soluções ainda em fase de projecto (Moraes, 2009).

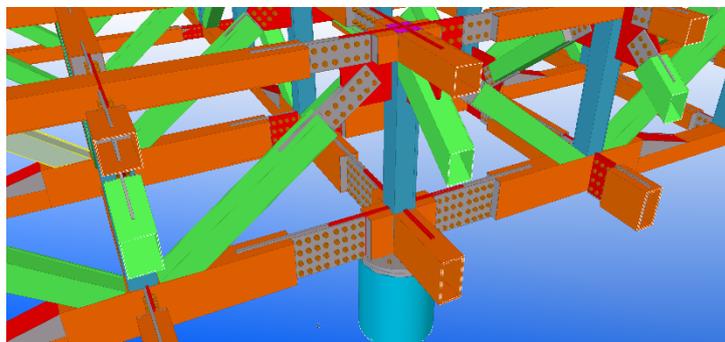


Figura 2.2 – Pormenorização de estrutura metálica em TEKLA. (TEKLA, 2016)

Os perfis de aço apresentam-se nas suas mais variadas formas, tais como tubos, varões, chapas ou perfis laminados, sendo um dos materiais com mais importância na reabilitação estrutural. O aço consiste numa liga de ferro e carbono, em que este último pode variar fazendo variar as propriedades do aço (Cóias, 2007).

Existem outros componentes que podem ser adicionados ao aço por forma a melhorar as suas características, sendo muito comum para melhorar a resistência à corrosão, conforme apresentado na Tabela 1 (Carneiro, 2012).

Tabela 1 – Aços mais utilizados na construção metálica. (EN1993-1-1, 2010)

Classe do aço	Espessura nominal t (mm)			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	355	470
S 450	440	550	410	550

Uma das ligas mais comuns na reabilitação é o aço inoxidável, contendo um baixo teor de carbono e pelo menos 12% de cromo. Existem vários tipos de aço inoxidável que variam essencialmente na resistência à corrosão. Os mais usados na construção são o austenítico, o ferrítico e o austenítico-ferrítico, sendo o austenítico o mais recomendado para aplicações exteriores devido à sua maior resistência à corrosão. O cromo reage com o oxigénio e cria um filme que protege o metal da corrosão, sendo apenas vulnerável à corrosão por picada. Os aços austeníticos são o 1.4301 que é adequado à maior parte das aplicações em edifícios, e o 1.4401 que é adequado a ambientes marítimos.

Existem também os aços de alta resistência que são obtidos através do tratamento do aço corrente sendo muito usuais em cabos, que são constituídos por vários fios de pequeno diâmetro, que agrupados formam cordões e por sua vez agrupados dão origem aos cabos. Estes cabos são maleáveis, o que facilita a sua

aplicação. Os aços de alta resistência são ainda aplicados em elementos de fixação tais como parafusos, buchas e esticadores.

Em zonas marítimas, pode-se optar pelo aço Corten, que tem uma capacidade resistente à corrosão duas vezes superior ao aço macio corrente, sendo muito usado na construção naval. O aço Corten apenas é atacado superficialmente pela corrosão, oxidando lentamente. Na construção o aço Corten, é usado em elementos estruturais e decorativos expostos à intempérie sem nenhum tratamento anticorrosivo.

Mais recentemente têm sido aplicadas ligas metálicas com memória de forma, que quando aquecidas retornam à sua forma original. A pouca utilização destas ligas prende-se com o seu elevado custo (Cóias, 2007).

Alem das soluções mais comuns em perfis laminados, das várias séries existentes no mercado, têm aparecido no mercado várias soluções em “Light Steel Framing”, que se baseia num conceito de perfis quinados ou perfilados directamente de chapas metálicas em bobine. Estas soluções apresentam densidades ainda mais baixas que as tradicionais e que as construções metálicas em perfis laminados.

As soluções a usar e os perfis a aplicar dependem sempre dos esforços actuantes, da facilidade de montagem, das soluções construtivas ou ainda de condicionantes estéticos e de durabilidade, encontram-se ilustrados da Figura 2.3 as várias secções existentes no mercado.

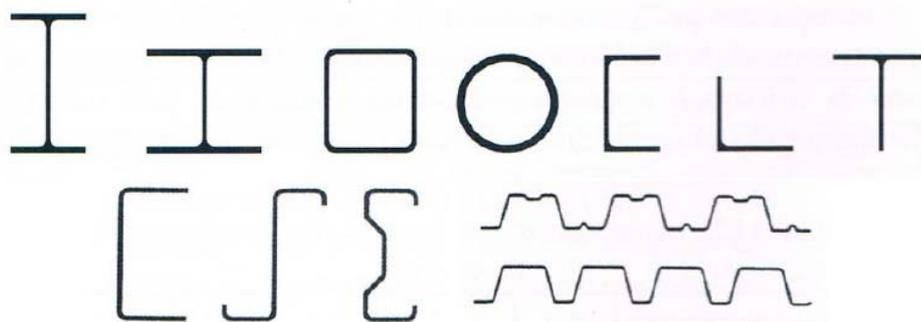


Figura 2.3 – Perfis laminados a quente e secções enformadas a frio.(Simões, 2005)

A durabilidade das soluções metálicas está dependente de três factores principais:

- i. Efeito da corrosão;
- ii. Desgaste mecânico;

iii. Desgaste por fadiga.

A corrosão está dependente das condições do meio onde os elementos metálicos estão incluídos e do sistema de protecção desses mesmos elementos. O desgaste por fadiga aparece quando a estrutura é solicitada ciclicamente de forma relevante. Outra das deficiências apresentada pelos elementos metálicos está directamente relacionada com a sua resistência ao fogo, levando a que as suas propriedades resistentes sejam bastante reduzidas quando sujeitas a temperaturas elevadas (Carneiro, 2012).

As soluções de reforços com elementos metálicos apresentam outra grande desvantagem, a introdução de materiais diferentes dos originais podendo ocorrer a possibilidade da criação de um grande impacto estético. Esta nova introdução de materiais diferentes dos originais obriga a um grande cuidado para não existir aparecimento de incompatibilidades entre os materiais. Apesar destas desvantagens as soluções metálicas são muito aceites na reabilitação devido à sua grande eficácia e facilidade de aplicação (Ilharco, 2008).

2.2. Tratamento anticorrosivo

Conforme já referido, uma das principais deficiências das soluções metálicas é a corrosão.

A corrosão é um processo químico, que através da interacção do aço com o ambiente leva a deterioração das propriedades do aço, estando este processo intimamente ligado à presença de humidade, oxigénio e outros tipos de poluentes, sendo definido pela norma ISO 12944 o grau de corrosividade atmosférica, conforme apresentado na Tabela 2 e 3 (Carneiro, 2012).

Tabela 2 – Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambientes típicos (Adaptado de CIN, 2013).

Categoria de corrosividade	Exterior	Interior
C1 Muito Baixa		Edifícios com aquecimento e atmosferas limpas.
C2 baixa	Atmosferas com baixos níveis de contaminação. Áreas rurais.	Edifícios sem aquecimento com possíveis condensações.
C3 Média	Atmosferas urbanas e industriais, com moderada contaminação de SO ₂ . Áreas costeiras com baixa salinidade.	Naves de fabricação com elevada humidade e com alguma contaminação.
C4 Alta	Áreas industriais e áreas costeiras com moderada salinidade.	Indústrias químicas, piscinas.
C5 Muito alta (Industrial)	Áreas industriais com elevada humidade e com atmosfera agressiva.	Edifícios ou áreas com condensações quase permanentes e contaminação elevada.
C5-M Muito alta (Marítima)	Áreas costeiras e marítimas com elevada salinidade.	Edifícios ou áreas com condensações permanentes e contaminação elevada.

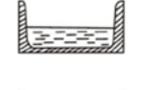
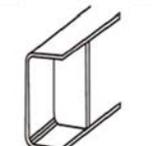
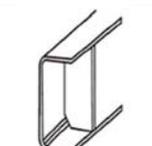
Tabela 3 – Categorias de corrosividade para imersão em água e em solo (Adaptado de CIN, 2013).

Categoria de corrosividade	Ambiente	Exemplo de ambientes e estruturas
Im 1	Água doce	Instalações de rio, centrais hidroeléctricas.
Im 2	Água do mar ou salobra	Áreas portuárias com estruturas, tais como portas de comportas, diques, quebra-mares, estruturas de plataformas offshore.
Im 3	Solo	Tanques enterrados, condutas e vigas.

A norma define ainda as classes de durabilidade como baixa para uma duração de 2 a 5 anos, média para uma duração de 5 a 15 anos e alta para uma duração superior a 15 anos (CIN, 2013).

É também muito importante ter atenção às disposições construtivas, pois estas poderão ter um grande impacto no aparecimento de corrosão nas estruturas metálicas, sendo apresentadas algumas soluções na Tabela 4 (Carneiro, 2012).

Tabela 4 – Soluções propícias a corrosão e soluções alternativas (Carneiro, 2012).

Descrição do problema	Esquema representativo	Descrição da solução	Esquema representativo
Acumulação de humidade e sujidade no vazio entre os dois perfis		Utilização de perfis com outra geometria	
Acumulação de água e sujidade		Adotar disposições construtivas e perfis que evitem a acumulação de água e sujidade	
Retenção de água na concavidade do perfil		Adotar disposições construtivas que evitem a retenção de água	
Chapa metálica transversal impede a drenagem		Adotar chapa metálica com entradas que possibilitem a drenagem	

A aplicação das correctas disposições construtivas só por si não resolve o problema da corrosão. Assim ou são aplicados aços com protecção anticorrosiva própria da liga, como os aços inox ou o aço Corten, ou então torna-se necessário a aplicação de tratamentos anticorrosivos, tais como tintas superficiais ou galvanização por imersão a quente (Carneiro, 2012).

A aplicação de qualquer tratamento superficial prevê a preparação da superfície, que se inicia com a limpeza de todos os vestígios de óleo, gordura, sais e outros contaminantes, por forma a estes não ficarem incrustados no aço nem contaminarem o abrasivo. O jacto abrasivo deve atingir o grau SA 2 ½., que se encontra definida na norma ISO 8501-1 com uma decapagem cuidada por projecção de abrasivos, sendo que quaisquer vestígios de contaminação terão o aspecto de leves manchas na forma de pontos ou faixa (CIN, 2013).

A classificação das tintas varia em função do tipo de resina ou pigmento utilizado na protecção anticorrosiva, destacando-se as Alquídicas, que não resistem à imersão constante, as Epoxídicas, que são bicomponentes de secagem ao ar, e que têm fraca resistência às intempéries, as poliuretânicas que são

bastante resistentes e indicadas para aplicações no exterior e as Acrílicas, que são mococomponentes e cuja secagem se dá por secagem do solvente sendo bastante resistentes aos raios solares e indicadas para acabamento exteriores moderadamente agressivos (Carneiro, 2012).

Os esquemas de pintura deverão sempre ser definidos pelo fornecedor de tinta e aplicados por trabalhadores qualificados e com equipamento adequado (CIN, 2013).

Tabela 5 –Esquemas de pintura para ambiente C3 com durabilidade alta (>15 anos) (adaptado de CIN, 2013)

Tipo de tinta	Esquema	Espessura seca (micrómetros)
Epoxi fosfato de zinco	1 × C-Pox Primer ZP200 HP	100 µm
Poliuretano alta espessura	1 × C-Thane S700 HB	100 µm
Espessura Total		100 µm
Epoxi tolerante alumínio	1 × C-Pox ST180 AL	80 µm
Intermédio epoxi	1 × C-Pox S100	80 µm
Poliuretano	1 × C-Thane S258	40 µm
Espessura Total		200 µm
Epoxi tolerante de superf.	1 × C-Pox ST160 MP	165 µm
Espessura Total		165 µm

2.3. Protecção ao fogo

As estruturas metálicas apresentam como maior limitação a sua débil resistência ao fogo, apresentando uma redução muito elevada das suas características resistentes quando submetidas a temperaturas elevadas. A mesma situação ocorre em soluções mistas aço-madeira em reforço estrutural.

Com a intenção de retardar o efeito do fogo, pode-se recorrer a três tipos de soluções distintas: materiais projectados, materiais rígidos e tintas intumescentes.

Os materiais projectados exibem bom isolamento térmico a temperaturas elevadas, auxiliando à manutenção da integridade estrutural dos elementos metálicos durante uma ocorrência de incêndio. Apresentam como aglutinantes básicos o cimento Portland e o gesso sendo aplicados por projecção com equipamentos específicos. Após a sua aplicação e cura, trabalham monoliticamente com a estrutura, acompanhando os deslocamentos da mesma, evitando assim o aparecimento de fissuras e conseqüente desprendimento. Em

caso de incêndio, absorvem a energia do fogo permitindo manter a temperatura do aço baixa. Os materiais projectados mais comuns são a argamassa projectada, a fibra projectada e a argamassa projectada à base de vermiculita, conforme se ilustra na Figura 2.4(Carneiro, 2012).



Figura 2.4 – Argamassa projectada. (Carneiro, 2012)

Os materiais rígidos, são elementos pré-fabricados, que são fixos à estrutura com recurso a fixações mecânicas, proporcionando diversos tipos de acabamento e regra geral uma boa aparência.

O seu funcionamento em caso de incêndio é em idêntico ao dos materiais projectados permitindo, manter a temperatura do aço baixa. Apresentam como principais limitações o elevado custo quando comparados com os materiais projectados e a dificuldade de aplicação em locais com formatos mais complexos, promovendo assim o aumento do tempo de aplicação e consequente aumento do custo com mão-de-obra.

Os materiais rígidos mais comuns na construção metálica são as placas de gesso cartonado, placas de lã de rocha e as mantas cerâmicas, conforme se ilustra na Figura 2.5 (Carneiro, 2012).



Figura 2.5 – Aplicação de placa de lã de rocha (Carneiro, 2012).

A aplicação de tintas intumescentes, é um método de protecção relativamente recente e consiste na aplicação de tintas específicas sobre a superfície a proteger. Estas tintas quando expostas a temperaturas elevadas são altamente expansivas, podendo atingir até 60 vezes a sua espessura original (ver Figura 2.6). A sua aplicação deve ser efectuada segundo as indicações dos fabricantes das mesmas, usando primários específicos. Estas apresentam como principal vantagem o aspecto, pois quando finalizada a sua aplicação podem ser revestidas com uma tinta de base acrílica ou poliuretano, permitindo obter o aspecto comum das estruturas metálicas. A principal limitação é que apresentam fraca resistência química e física apresentando um custo elevado quando comparado às outras soluções (Carneiro, 2012).

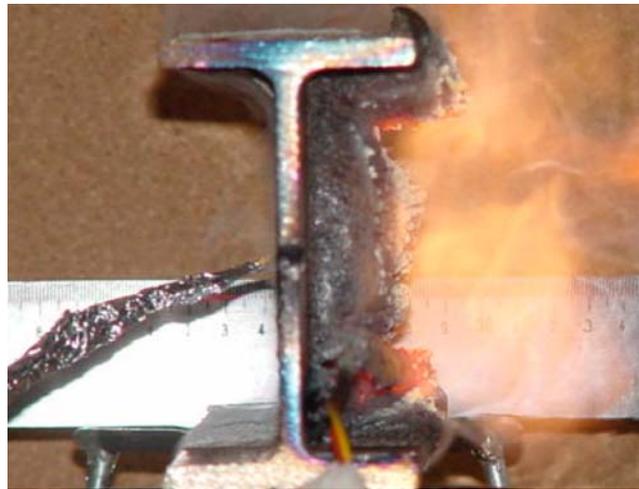


Figura 2.6 – Reacção da tinta intumescente.(Mesquita, Piloto, Vaz, & Real, 2005)

3. Soluções de reforço – Intervenções locais

3.1. Soluções de reforço – Intervenções locais em paredes

Nas subsecções seguintes serão apresentadas, detalhadas e identificadas limitações e vantagens das soluções de reforço local para paredes, identificadas na Tabela 6.

Os esquemas e detalhes podem ser consultados no anexo A.

Tabela 6 – Soluções de reforço locais em paredes.

Local	Subsecção	Designação
PAREDES	3.1.1	Tirantes
	3.1.2	Confinamento transversal de paredes
	3.1.3	Aplicação de vigas treliça
	3.1.4	Ligação de paredes ortogonais

3.1.1 Tirantes

Os tirantes são elementos lineares de reforço estrutural em aço, que funcionam à tracção, podendo ser de tipos variados, tais como varões, cabos ou vergalhões, sendo que antigamente eram muito comuns varões de ferro sendo que actualmente os mais comuns são cabos de aço semelhantes a cabos de pré-esforço (Barros et al., 2008).

Esta técnica de reforço é bastante antiga, tendo sido executada na ilha do Faial, no seguimento do sismo de 1927, e que se revela bastante eficiente, pois permite a ligação de panos opostos de alvenaria. Este sistema de contraventamento que é económico e de fácil execução apresenta-se como uma boa solução a ser aplicada na maioria das construções de alvenaria.

Esta solução encontra-se amplamente difundida, tendo vindo a ser aplicada de forma sistemática em edifícios de alvenaria, como se ilustra na Figura 3.1.



Figura 3.1 - Tirante passivo em paredes de alvenaria (Planirest.pt, n.d.)

A colocação de tirantes cria problemas a nível arquitectónico especialmente na vertente estética e por forma a minimizar esta situação as soluções devem ser sempre pensadas por forma a atenuar o impacto causado, devendo para isso serem bem analisadas e desenvolvidas ainda em fase de projecto. Por forma a combater esta situação, especialmente em monumentos com elevado valor patrimonial, tal como igrejas, têm sido usadas estruturas de cobertura e ocultação dos tirantes (Mário Lopes, 2008).

São considerados elementos de reforço passivos pois não alteram as condições de equilíbrio da estrutura permitindo reforçar paredes de alvenaria paralelas, com fraca ligação entre elas, e ajudam a prevenir quer o seu colapso quer a sua deformação transversal e rotação da fachada para fora do seu plano, usando para isso elementos específicos de ancoragem, conforme se ilustra na Figura 3.2 (Rodrigues, 2010).

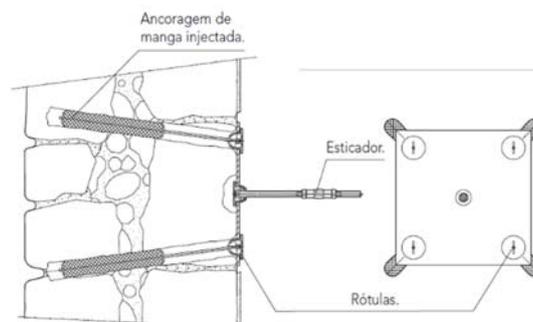


Figura 3.2 - Tirante não aderente (Cóias, 2007)

Esta ancoragem impede a separação e a perda de capacidade resistente, tendo como função a distribuição das cargas concentradas por forma a não provocar esforços excessivos na alvenaria. É importante garantir aquando da instalação dos tirantes uma baixa pré tensão no mesmo para este entrar em carga na sua instalação, usando para isso esticadores, ilustrados na Figura 3.3, que permitem o aumento da tensão na instalação e sempre que seja necessário (Rodrigues, 2010).



Figura 3.3 – Diferentes tipos de esticadores (Rodrigues, 2010)

Os elementos de ancoragem têm como formas mais usuais os quadriláteros ou as circunferências, com cerca de 50cm de lado ou de diâmetro, estas serão sujeitas a uma carga linear, que ocorre após a distribuição de esforço de tracção transmitido pelos tirantes às paredes (Barros et al., 2008).

O principal benefício dos tirantes é uma melhoria significativa da resistência estrutural das paredes aos sismos sendo que apresenta baixo impacto a nível de alterações da estrutura existente (ver Figura 3.4). Os tirantes são também considerados moderadamente intrusivos e garantem alta reversibilidade da solução pois podem ser facilmente removidos se aplicados pelo exterior (Cóias, 2007).

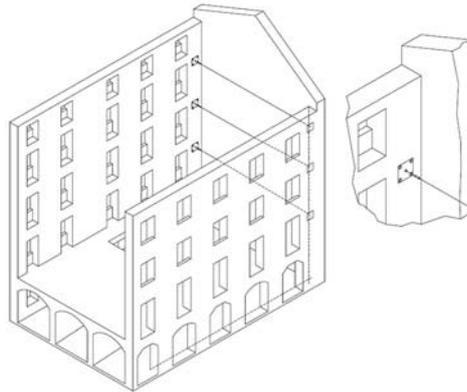


Figura 3.4 – Funcionamento dos tirantes (Cóias, 2007)

Na aplicação de tirante é sempre necessário ter em atenção a qualidade das paredes de alvenaria, pois com a aplicação de grandes concentrações de tensões podem aparecer problemas de punçamento nas alvenarias. A fim de evitar este problema as tensões aplicadas inicialmente devem ser baixas e as chapas de suporte devem ser aplicadas sobre uma argamassa não retráctil para melhorar a degradação das cargas (Rodrigues, 2010).

Esta solução necessita de algum equipamento especializado para a sua aplicação, tal como equipamento de furação a seco sem percussão, e chaves dinamométricas para controlo do torque aplicado. A aplicação exige operadores especializados, e plataformas de trabalho estáveis (Cóias, 2007).

Para análise da solução definiu-se uma solução com duas chapas de ancoragem, de 12mm de espessura, fixas à parede por meio de quatro buchas químicas, sendo que foi considerado um cabo de aço de 20mm e respectivos esticadores.

A análise de custo foi efectuada tendo em conta que o principal elemento do tirante é o cabo de aço galvanizado, sendo que o mesmo é vendido ao quilograma ou ao metro linear, portanto assume-se que o custo dos tirantes será efectuado por metro linear, sendo que se considerou de forma conservativa que o tirante irá ter um comprimento de 3m.

Os constituintes da solução com tirantes são cabo de aço e respectivos acessórios.

Após consulta ao mercado obteve-se os seguintes preços:

Preço por metro de cabo de aço de 20mm – 4.50€/ml

Preço unitário do esticador – 16.20 €/unidade

Preço unitário do cerra-cabos – 0.77€/unidade

Nas Tabelas 7 e 8, encontram-se discriminados os preços das chapas de ancoragem e das buchas químicas. Nestas Tabelas os meios auxiliares consideram-se todos os instrumentos necessários para a montagem dos elementos, podendo variar conforme a necessidade de meios de elevação mecânicos ou outros instrumentos mais específicos. Os custos indirectos, apresentam-se como custos das empresas que não podem ser directamente atribuídos a áreas produtivas.

Tabela 7 - Custo da chapa ancoragem

Placa de ancoragem de aço S275JR (Fe430) em perfil plano, de 250x250 mm e espessura 12 mm.				
Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Placa de aço laminado EN 10025 S275JR, para aplicações estruturais.	kg	5,888	1,34 €	7,89 €
Primário de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	l	0,294	4,80 €	1,41 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	0,393	15,31 €	6,02 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	0,393	14,91 €	5,86 €
Meios auxiliares	%	2,000	21,18 €	0,42 €
Custos indirectos	%	3,000	21,60 €	0,65 €
Total (un.):				22,25 €

Tabela 8 - Custo da bucha química

Ancoragem química estrutural, através de furo de 14 mm de diâmetro e 135 mm de profundidade, preenchimento do orifício com injeção de resina epóxi, livre de estireno, e inserção posterior de varão roscado com porca e anilha de aço galvanizado qualidade 8.8, segundo EN ISO 898-1, de 12 mm de diâmetro e 160 mm de comprimento.

Descrição	Unid.	Rend.	Preço unitário	Importância
Cartucho de resina epóxi, livre de estireno, de dois componentes, com dosificador e boca de mistura automática, de 400 ml, para ancoragens estruturais verticais e horizontais.	Ud	0,05	21,56 €	0,97 €
Ancoragem composta por varão roscado de aço galvanizado qualidade 8.8, segundo EN ISO 898-1 de 12 mm de diâmetro, e 160 mm de comprimento, porca e anilha.	Ud	1,00	0,24 €	0,24 €
Oficial de 1ª construção.	h	0,12	14,58 €	1,71 €
Operário especializado construção.	h	0,12	14,10 €	1,65 €
Meios auxiliares	%	2,000	4,57 €	0,09 €
Custos indirectos	%	3,000	4,66 €	0,14 €
Total (un.):				4,80 €

Apresenta-se na Tabela 9 a composição de custo para fornecimento e aplicação de tirantes, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 9 - Custo total do tirante

Tirante em cabo de aço de 20mm de diâmetro, incluindo todos os acessórios necessários á operação, considerando um tirante de 3m.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Cabo de aço de 20mm	m	3,500	4,50 €	15,75 €
Esticador	Ud	1,000	16,20 €	16,20 €
Cerra-cabos	Ud	8,000	0,77 €	6,16 €
Custo da chapa de ancoragem	Ud	2,000	22,25 €	44,50 €
Custo da ancoragem química e respectivos acessórios	Ud	8,000	6,32 €	50,56 €
Oficial de 1ª construção.	h	0,410	14,58 €	5,97 €
Operário especializado construção.	h	0,410	14,10 €	5,77 €
Meios auxiliares	%	2,000	144,91 €	2,90 €
Custos indirectos	%	3,000	147,81 €	4,43 €
Total (vg):				152,24 €
Total (ml):				50,75 €

3.1.2 Confinamento transversal de paredes

O confinamento transversal é aplicado em paredes de alvenaria constituídas por múltiplos panos quando a ligação entre panos é fraca realizando-se para o efeito um confinamento das mesmas através de placas de ancoragem e conectores, como se ilustra na Figura 3.5 (Rodrigues, 2010).

Esta técnica de reforço é aplicada em alvenarias de má qualidade (pedra de baixa resistência ou fragmentadas) ou com alto grau de degradação, os varões aplicados são em aço inoxidável ou aço corrente com tratamento anticorrosivo adequado, tal como galvanização a quente (Cóias, 2007).

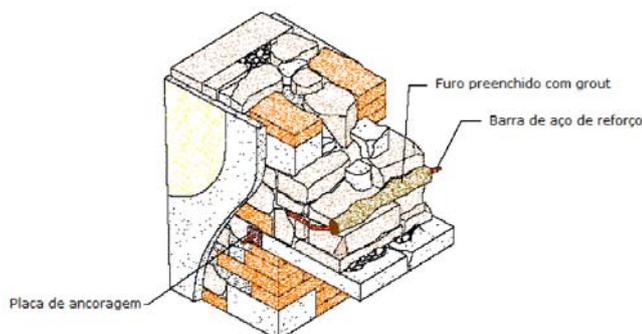


Figura 3.5 – Confinamento transversal (Rodrigues, 2010)

Esta técnica pode ser considerada mista, pois tem uma parte mecânica, a placa de ancoragem e o varão de reforço e uma parte química que será o preenchimento com argamassa não retráctil.

A solução consiste na colocação de varões de pequeno diâmetro, que trespassam transversalmente a parede a reforçar, com posterior injeção de argamassa não retráctil, pretendendo desta forma melhorar as características mecânicas das paredes de alvenaria, tornando-as assim capazes de resistir a esforços de corte e tracção e aumentando a resistência à compressão. A aplicação de confinamentos transversais apresenta algumas limitações, especialmente em paredes de alvenaria com pedra à vista ou cuja espessura seja menor que 0.5m, pois será difícil reparar os danos provocados pela abertura dos carotes (Costa, 2012).

Os varões são designados de conectores quando atravessam a espessura total da parede, ou pregagens quando não ultrapassam toda a espessura do elemento a reforçar, e apenas possuindo uma chapa de ancoragem. Os varões após aplicação da calda são confinados à alvenaria através de chapas apertadas com porcas, sendo que em casos de menor exigência podem-se dispensar tanto porcas com as chapas de ancoragem, como se ilustra na Figura 3.6 (Rodrigues, 2010).

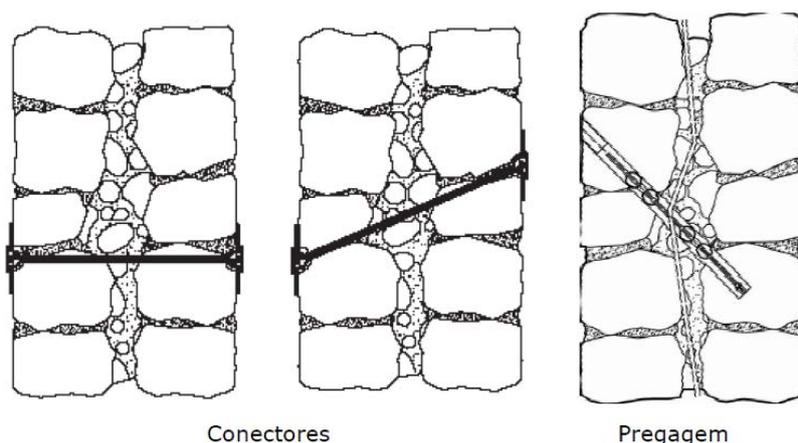


Figura 3.6 – Conectores e pregagens (Cóias, 2007)

Os elementos de confinamento transversal têm como finalidade impedir a separação entre os diferentes panos das paredes de alvenaria melhorando o seu comportamento monolítico, aumentando a sua resistência à flexão fora do plano e

reduzindo o risco de instabilização da parede (ver Figura 3.7). A eficácia da técnica depende em grande parte da quantidade e disposição das ancoragens. (Rodrigues, 2010)

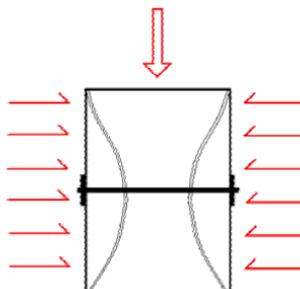


Figura 3.7 – Efeito do confinamento transversal (Rodrigues, 2010)

Esta técnica apresenta uma reduzida intrusividade e moderada reversibilidade, pois a remoção total do elemento metálico apenas pode ser executada por carotagem.

Se os paramentos forem rebocados, é possível esconder a solução com o reboco, já se for aplicada num paramento de pedra aparente ou que contenham pinturas murais, quer os orifícios quer as chapas de ancoragem podem criar um efeito nefasto no aspecto dos paramentos.

Para a execução desta solução é necessário equipamento de furação a seco e sem precursão para as alvenarias de pedra, equipamento de aplicação da componente química e equipamento de aperto controlado. A mão-de-obra deve ser especializada (Cóias, 2007).

No caso de paramento de três panos com núcleo de material pobre esta solução apresenta-se como particularmente interessante pois permite a melhoria da ligação transversal entre paramentos. (Rodrigues, 2010)

Para análise do custo do confinamento vamos analisar o preço do conjunto obtendo assim um preço unitário. Nesta solução considera-se as chapas com dimensões de 100x100 mm e com 10mm de espessura.

Apresenta-se na Tabela 10 a composição de custo para fornecimento e aplicação de confinamentos transversais, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 10 - Custo total do confinamento transversal.

Placa de ancoragem de aço S275JR (Fe430) em perfil plano, de 100x100 mm e espessura 10 mm e ancoragem em varão roscado galvanizado com 16mm de espessura.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Placa de aço laminado EN 10025 S275JR, para aplicações estruturais.	kg	1,570	1,34 €	2,10 €
Primário de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	l	0,047	4,80 €	0,23 €
Ancoragem composta por varão roscado de aço galvanizado qualidade 8.8, segundo EN ISO 898-1 de 16 mm de diâmetro, e 400 mm de comprimento, porca e anilha.	Ud	1,000	0,90 €	0,90 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	0,393	15,31 €	6,02 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	0,393	14,91 €	5,86 €
Meios auxiliares	%	2,000	15,11 €	0,30 €
Custos indirectos	%	3,000	15,41 €	0,46 €
			Total (un.)	15,87 €

3.1.3 Aplicação de vigas treliça

Esta técnica de reforço consiste na aplicação de vigas treliças, constituídas por perfis tubulares ocios, sendo normalmente pré-fabricadas, permitindo assim poupança na execução em obra e na sua montagem. A viga pode ter dimensões variadas e ser perfeitamente adaptada ao local de aplicação, adaptando-se assim ao vão e geometria do edifício, conforme ilustrado na Figura 3.8 (Barros, 2005).

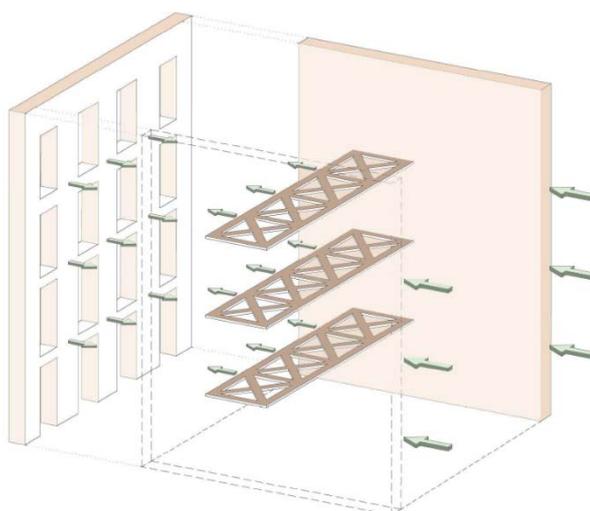


Figura 3.8 – Aplicação de vigas reticuladas em fachadas.(Barros, 2005)

A viga treliça vai ajudar a controlar os deslocamentos da fachada, através da aplicação de tirantes, pois serão os tirantes a estar ligados às paredes

perpendiculares às linhas da viga, que irão transmitir os esforços à viga treliça, que irá posteriormente descarregar nas paredes de contraventamento (paredes laterais do edifício), onde a viga se encontra fixa.

A colocação das vigas numa posição central em relação às paredes de contraventamento, conforme se ilustra na Figura 3.9, é o ideal pois desta forma quer a fachada principal quer a fachada posterior irão transmitir cargas semelhantes às vigas treliça.

No caso de a situação anterior não ser possível, deve-se optar pela colocação mais distante possível da parede a reforçar, por forma a mobilizar um maior peso da parede de contraventamento. Tal solução vai aumentar consideravelmente a capacidade resistente ao derrube da parede a ser reforçada (Barros, 2005).



Figura 3.9 – Viga treliça colocada em posição central (Barros, 2005).

A solução apresenta-se como sendo de moderada intrusividade e moderada reversibilidade pois a remoção da viga treliça pode apresentar algumas dificuldades devido às dimensões da mesma, como se ilustra na Figura 3.10. Para a execução desta solução é necessário equipamento de furação a seco e sem percussão para as alvenarias de pedra, equipamento de aplicação da componente química e equipamento de aperto controlado.



Figura 3.10 – Viga treliça e tirante. (Lopes, 2008)

Para efeito de cálculo do custo da aplicação de uma viga treliça, considera-se uma viga com 4 metros de comprimento e 1 metro de altura, constituída por perfis SHS 100,0x5,0, obtendo assim a configuração ilustrada na Figura 3.11.

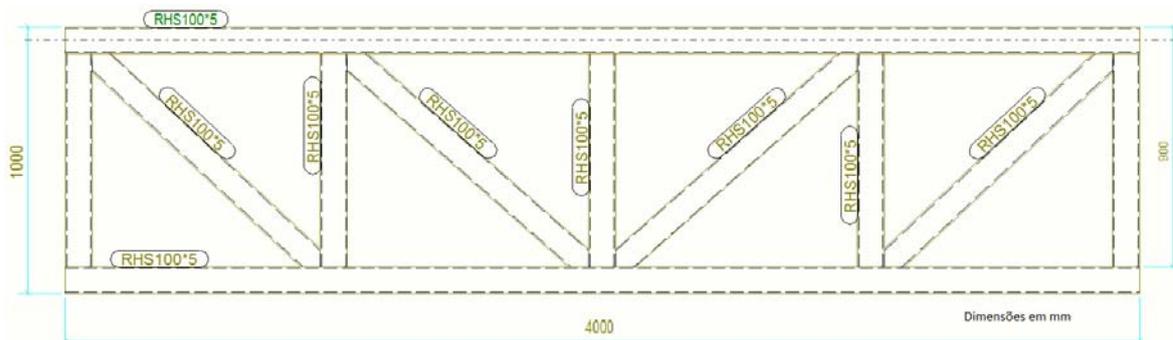


Figura 3.11 – Desenho de assemblagem da viga treliça.

Apresenta-se nas Tabelas 10 e 11, os custos para limpeza superficial, produção, tratamento superficial e montagem de estruturas metálicas.

Tabela 11 – Custo por m² da decapagem.

Projeção a seco de jacto de partículas de material abrasivo (silicato de alumínio) sobre perfis metálicos até alcançar um grau de preparação Sa 2 ½ segundo EN ISO 8501-1, eliminando os restos deteriorados de pintura e óxido, para proceder posteriormente à aplicação de uma protecção antioxidante (não incluída neste preço).

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Abrasivo para limpeza através de jacto a pressão, formado por partículas de silicato de alumínio.	kg	2,975	0,25 €	0,74 €
Equipamento de jacto de areia à pressão.	h	0,221	2,86 €	0,63 €
Grupo electrogéneo insonorizado, trifásico, de 45 kVA de potência.	h	0,221	4,81 €	1,06 €
Operário especializado construção.	h	0,231	14,10 €	3,26 €
Operário não qualificado construção.	h	0,231	13,66 €	3,16 €
Meios auxiliares	%	2,000	8,85 €	0,18 €
Custos indirectos	%	3,000	9,03 €	0,27 €
Total (m ²)				9,30 €

Tabela 12 – Custo por kg da Viga treliça.

Aço S275JR (Fe430) em vigas treliça com ligações soldadas.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em perfis laminados a quente da série tubular para aplicações estruturais.	kg	1,050	1,37 €	1,44 €
Primário de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	l	0,050	4,80 €	0,24 €
Equipamentos e elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	h	0,030	3,10 €	0,09 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	0,030	15,31 €	0,46 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	0,030	14,91 €	0,45 €
Meios auxiliares	%	2,000	2,68 €	0,05 €
Custos indirectos	%	3,000	2,73 €	0,08 €
Total (kg):				2,81 €

Considerando os valores apresentados, e tendo um peso para a viga preconizada de 272.58kg, e uma área de pintura de 6.52 m², obtém-se um preço médio de 3,03 €/kg, assumiu-se a colocação de tirantes de amarração à parede, espaçados de 1 metro com 4m de comprimento.

Apresenta-se na Tabela 13 a composição de custo para fornecimento e aplicação de vigas treliça, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 13 – Custo total da viga treliça

Viga treliça com 4m, em aço S275JR (Fe430) com ligações soldadas e tirante em cabo de aço de 20mm de diâmetro

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Tirante de aço e respectivos acessórios e trabalhos.	m	40,000	50,75 €	2.030,00 €
Vigas treliça incluindo chapas e acessórios (foram considerados 10% do peso para chapa e acessórios).	kg	272,580	3,03 €	825,92 €
Total (vg)				2.855,92 €
Total (ml):				713,98 €

3.1.4 Ligação de paredes ortogonais

No edificado antigo existem diversos tipos de paredes em alvenaria utilizados, sendo que todas elas apresentam uma função estrutural, ainda que de forma diferenciada, em relação às acções horizontais e às acções verticais. As paredes mais comuns são as de pedra irregular, que apresentam espessuras que variam desde 0.40m podendo ir até 1,00m ou superiores conforme o tipo de edifício e a função da parede. Estas paredes são por norma uniformes na sua espessura podendo ser constituídas por uma ou duas folhas e uma camada de enchimento interno. (Baião et al., 2012)

Uma das situações mais críticas num edifício, cujas paredes são em alvenaria, é a ligação entre paredes ortogonais, sejam estas na ligação de paredes exteriores ou na ligação de paredes exteriores com interiores. Por forma a melhorar o comportamento destas zonas, podem ser aplicados varões metálicos. Estes varões metálicos, devidamente protegidos contra a corrosão, serão aplicados no interior das paredes, atravessando as mesmas por forma a melhorar a ligação entre elas, conforme ilustrado na Figura 3.12 (Codices, 2015).

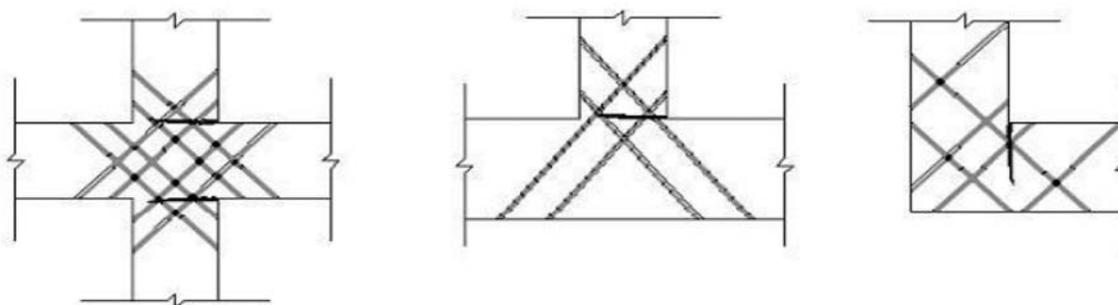


Figura 3.12 – Exemplos de melhoria de ligação de paredes ortogonais (Roque, 2002).

A facilidade actual em encontrar dispositivos de furação, de grande precisão (caroteadora), que permitem abrir furos de baixo diâmetro, mas com grande profundidade, o que facilita a colocação dos reforços metálicos. Esta técnica apresenta-se assim como sendo de moderada intrusividade e de alta reversibilidade se os varões metálicos não forem embebidos em calda aderente. (Rodrigues, 2010)

Esta solução de reforço vai melhorar o comportamento tridimensional dos edifícios, pois vai permitir a mobilização das paredes ortogonais, impedindo que as paredes colapsem no plano perpendicular à sua maior direcção, conforme ilustrado na Figura 3.13 (Faria & Chastre, 2015).

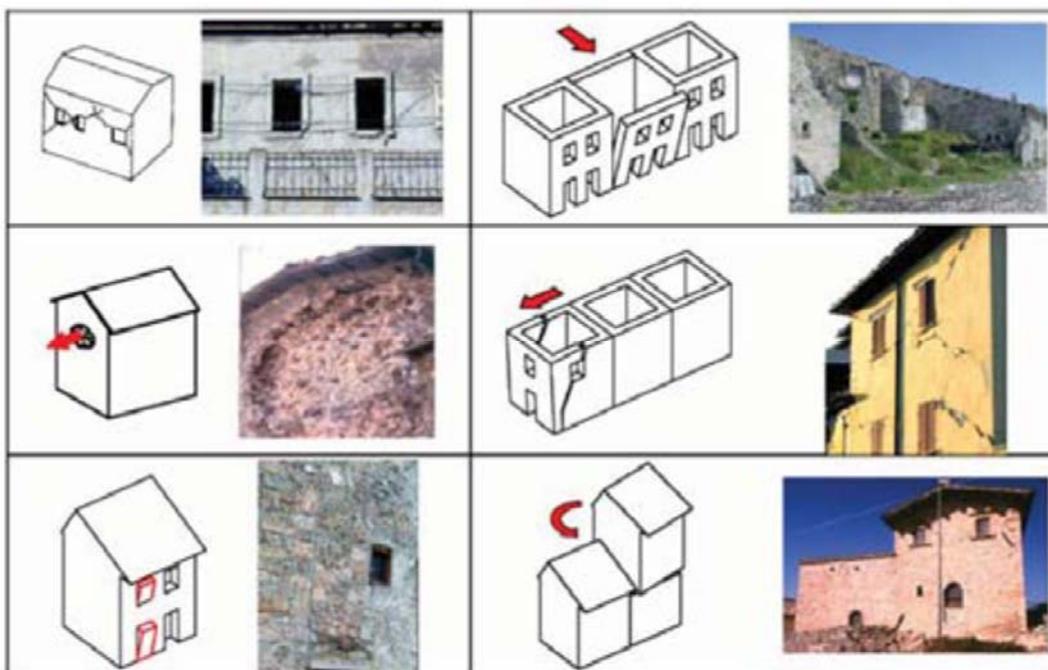


Figura 3.13 – Exemplos de Mecanismos de colapso de estruturas de alvenaria. (Faria & Chastre, 2015)

As extremidades dos varões metálicos podem ser colocadas com chapas de distribuição, à face dos paramentos, tal como nos sistemas de confinamento, pois não existe risco de perda de calda pelo interior das paredes e mantem-se a reversibilidade da solução (Rodrigues, 2010).

A solução estudada para análise de custo baseou-se numa solução sem calda pelo interior, com barras à face do paramento exterior e com cantoneiras de abas iguais para fixação do paramento interior, assumindo-se 3 metros como a altura do reforço, conforme se ilustra na Figura 3.14.

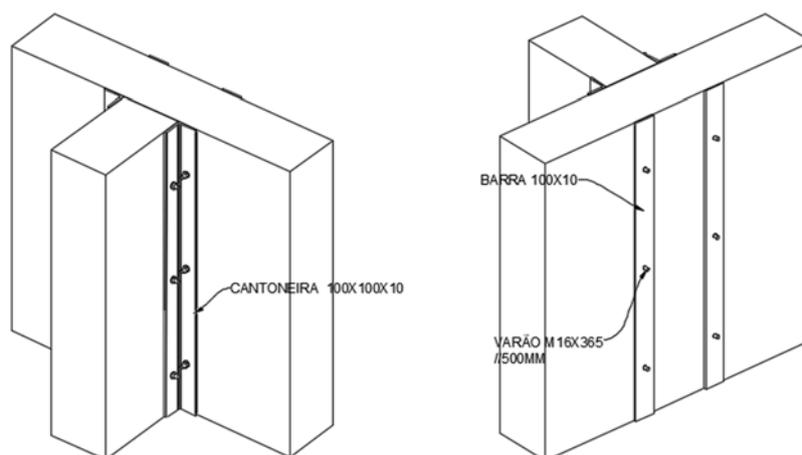


Figura 3-14 – Solução preconizada para análise de custo.

Apresenta-se na Tabela 14 a composição de custo para fornecimento e aplicação do reforço de paredes ortogonais, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 14 – Custo total do reforço de paredes ortogonais

Ligação de paredes ortogonais com recurso a elementos ancoragem de aço S275JR (Fe430) em barras de 100 mm de largura e espessura 10 mm e cantoneira de abas 100x100x10mm.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Barra de aço laminado e cantoneira de abas iguais EN 10025 S275JR, para aplicações estruturais, galvanizada a quente.	kg	159,950	2,13 €	340,69 €
Ancoragem composta por varão roscado de aço galvanizado qualidade 8.8, segundo EN ISO 898-1 de 16 mm de diâmetro, e 500 mm de comprimento, porca e anilha.	Ud	24,000	1,27 €	30,48 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	0,393	15,31 €	6,02 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	0,393	14,91 €	5,86 €
Meios auxiliares	%	2,000	383,05 €	7,66 €
Custos indirectos	%	3,000	390,71 €	11,72 €
Total (vg)				402,43 €
Total (ml)				114,98 €

3.2. Soluções de reforço – Intervenções locais em pavimentos

Nas subsecções seguintes serão apresentadas, detalhadas e identificadas limitações e vantagens das soluções de reforço local para paredes, identificadas na Tabela 15.

Os esquemas e detalhes podem ser consultados no anexo A.

Tabela 15 – Soluções de reforço locais em pavimentos.

Local	Subsecção	Designação
PAVIMENTOS	3.2.1	Aplicação de chapas ou perfis de reforço locais
	3.2.2	Colocação de perfil perpendicular à viga
	3.2.3	Colocação de perfil paralelo à viga

3.2.1 Aplicação de chapas ou perfis de reforço locais

Esta técnica é essencialmente usada no reforço ou reabilitação de estruturas de madeira. É um método de aplicação simples, de moderada intrusividade, com a vantagem de que não será necessário remover a madeira degradada das vigas. As peças metálicas serão fixas nas zonas em bom estado da viga através de pernos ou parafusos, conforme se representa na Figura 3.15, evitando assim a remoção do material degradado e em caso de a operação ser efectuada num tecto com valor patrimonial, a mesma pode ser aplicada através da remoção do soalho. No caso contrário, de se querer manter o soalho, a técnica pode ser aplicada pela remoção do tecto falso (Carneiro, 2012).

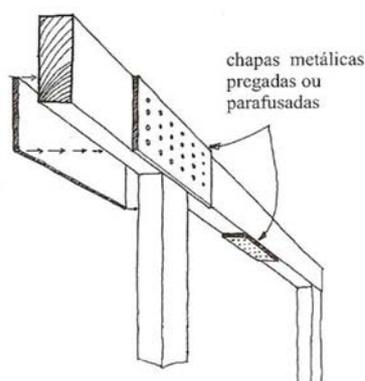


Figura 3.15 – Associação entre aço e madeira (Moraes, 2009).

Esta técnica baseia-se na aplicação de dois perfis ou chapas nas faces laterais da viga de madeira, sendo as mesmas ligadas mecanicamente através de pernos que vazam toda a secção da viga e porcas. As chapas ou perfis devem ser adequados à capacidade resistente da peça de madeira que se encontra em serviço. Esta solução pode ser aplicada quer nos apoios, quer a meio vão da viga. (Carneiro, 2012)

A menor capacidade desta solução deve-se essencialmente à sua aplicação pontual, sendo uma solução muito discutível ao nível estético e de grande impacto visual, bem como a sua fraca resistência ao fogo.

Ainda assim a sua utilização é muito comum para o reforço pontual em obras de reabilitação de edifícios antigos sendo normalmente aplicada em locais onde a madeira se deteriora com mais facilidade, tais como entregas nas paredes, conforme se ilustra na Figura 3.16, ou zonas de rotura da madeira. Esta solução exige uma área ampla para aplicação, pois as chapas ou os perfis necessitam de uma grande superfície para aparafusamento sendo a assim de elevadas dimensões.

A solução apresenta uma eficácia relativamente baixa, pois quando os elementos entram em carga as ligações apresentam alguma deformação, o que torna a técnica pouco eficiente do ponto de vista estrutural (Miguel Lopes, 2007).



Figura 3.16 – Pormenor da ligação da chapa à viga de madeira (Cóias, 2007).

Esta solução pode ser executada em perfis de chapa quinada por forma a abraçar a viga de madeira, permitindo desta forma melhor ligação entre a viga e o perfil de reforço, conforme se representa na Figura 3.17. É também importante referir que os perfis em LSF, como são produzidos em chapa já galvanizada, não necessitam de nenhum tratamento anticorrosivo adicional (Teobaldo, 2004).

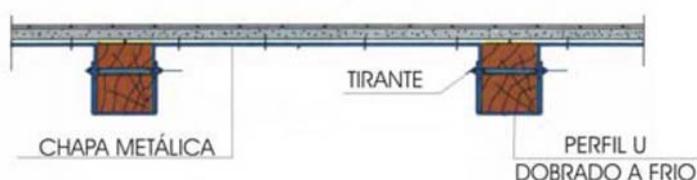


Figura 3.17 – Reforço com LSF (Branco, 2014).

No caso da reabilitação da Igreja de Valongo a solução usada foi de chapas de 10mm de espessura com um metro de comprimento, sendo as mesmas fixas por varões roscados de 8mm, conforme se ilustra na Figura 3.18 (Ilharco et al., 2010).

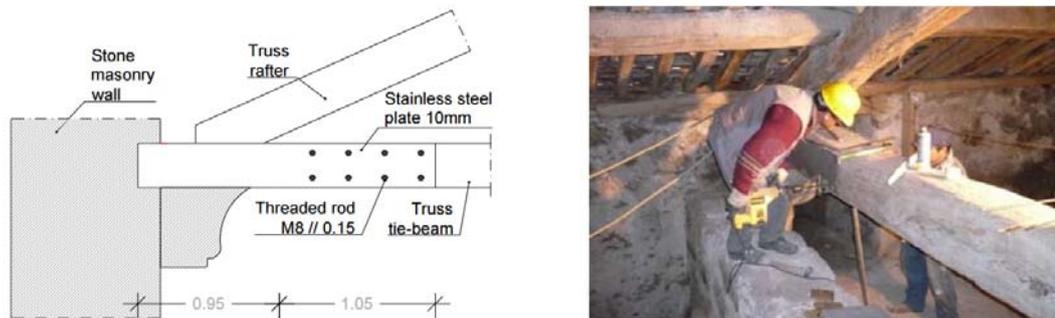


Figura 3.18 – Reforço de viga com recurso a chapas e varões roscados. (Ilharco et al., 2010)

Outra solução bastante comum é com perfis comerciais do tipo UPN, conforme se representa na Figura 3.19, em vez das chapas. Os perfis devem ter um comprimento entre os 50 e 80cm fixos com recurso a varão roscado e perno. Esta solução apresenta-se com um custo superior à substituição da zona degradada, e pelo tipo de fixação mecânica, requer uma maior deformação até à sua entrada em carga, o que pode levar a solução a ser excessivamente deformável em relação à solução original. (Arriaga et al., 2002)

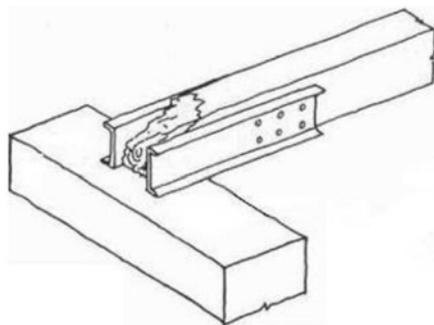


Figura 3.19 – Exemplo de aplicação de perfis comerciais UPN nas faces laterais de viga degradada (Arriaga et al., 2002)

Para estimativa de custos, considera-se que a viga de madeira a reforçar teria uma secção de 200x150mm, assim para reforço da mesma assume-se duas chapas de 200x1000 mm por 10mm de espessura, considerando 14 parafusos M16X200 DIN 931.

Apresenta-se na Tabela 16 a composição de custo para fornecimento e aplicação do reforço de vigas com chapas, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 16 – Custo total de reforço de viga com chapa.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta de chapa laminada a quente, acabamento com primário antioxidante, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço, para reforço estrutural.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de chapas laminadas a quente, galvanizada a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra, aplicado em reforços estruturais.	kg	31,500	2,13 €	67,10 €
Parafusos da série DIN 931, classe 8,8 galvanizados por imersão a quente, incluindo porca e duas anilhas.	un.	14,000	1,93 €	27,02 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	0,914	15,31 €	13,99 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	0,914	14,91 €	13,62 €
Meios auxiliares	%	2,000	121,73 €	2,43 €
Custos indirectos	%	3,000	124,16 €	3,72 €
Total (vg)				127,88 €
Total (kg)				4,06 €

Na solução com utilização de perfil UPN, considerou-se a mesma viga de madeira a reforçar com secção de 200x150mm, assim para reforço da mesma assumimos dois UPN 200 com 1m de comprimento. O sistema de fixação preconizado foi o mesmo da solução anterior, ou seja, 14 parafusos M16X200 DIN 931.

Apresenta-se na Tabela 17 a composição de custo para fornecimento e aplicação do reforço de vigas com perfis, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 17 – Custo total do reforço de viga com UPN.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta UPN laminado quente, acabamento com primário antioxidante, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço, para reforço estrutural.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de UPN laminadas a quente, acabamento com primário antioxidante, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra, aplicado em reforços estruturais.	kg	50,600	3,03 €	153,32 €
Parafusos da série DIN 931, classe 8,8 galvanizados por imersão a quente, incluindo porca e duas anilhas.	un.	14,000	1,93 €	27,02 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	1,467	15,31 €	22,47 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	1,467	14,91 €	21,88 €
Meios auxiliares	%	2,000	224,69 €	4,49 €
Custos indirectos	%	3,000	229,18 €	6,88 €
Total (vg)				236,06 €
Total (kg)				4,67 €

3.2.2 Colocação de perfil perpendicular à viga

Esta intervenção consiste na adição de vigas novas perpendiculares ao viga existente, sendo uma das formas mais simples de reforço de um pavimento degradado, visto que reduz ao mínimo a intervenção sobre o existente (Baião et al., 2012).

Os perfis são colocados perpendicularmente às vigas existentes e paralelamente às paredes de suporte das vigas existentes, apoiando nas paredes transversais da estrutura. Esta é uma solução muito simplista, mas que se apresenta como uma solução muito recorrente em casos de reforço de emergência (Carneiro, 2012).

A fixação das vigas metálicas pode ser executada por meio de chapas metálicas e ligações aparafusadas, conforme ilustrado na Figura 3.20, ou poderão ser executadas aberturas nas paredes nas quais se apoiam as extremidades das vigas, sendo posteriormente betonadas as aberturas (R. S. Barros et al., 2008).



Figura 3.20 – Viga Metálica (Barros et al., 2008).

Apresentando-se como uma solução pouco intrusiva, moderadamente reversível, apresenta bons resultados de reforço, pois a aplicação da nova viga metálica aumenta consideravelmente a rigidez e resistência na zona de apoio, além de dividir o vão inicial das vigas de madeira em vãos mais pequenos, conforme se representa na Figura 3.21, no entanto, apresenta como grande desvantagem o aumento considerável da altura do pavimento. Os perfis mais usuais neste tipo de reforço são os da série IPE, o aumento da altura do pavimento estará sempre dependente do perfil a adoptar e da necessidade de se revestir o mesmo. Esta solução não terá grande utilidade em casos que seja necessário preservar elementos de grande valor patrimonial dos tectos, pois sendo esta solução realizada pela face inferior da viga obrigaria a remoção dos mesmos (Carneiro, 2012).



Figura 3.21 – Vigas metálicas adicionais (Baião et al., 2012).

Esta solução pode apresentar-se como pouco económica, pois a solução estende-se por toda a largura do pavimento, o que poderá promover um desaproveitamento de material no caso de nem todas as vigas necessitarem de reforço, visto que se entre uma viga degradada existirem vigas que se encontrem

em bom estado, irão ser reforçados locais onde não existia essa necessidade, criando assim um desperdício de material pois serão reforçados locais onde não seria necessário aplicar reforços (Carneiro, 2012).

Esta solução pode ser aplicada em qualquer localização da viga a reforçar, sendo o mais comum ser aplicado a meio vão. Devido à concentração de cargas nas paredes de apoio da nova viga metálica, e dependendo da capacidade resistente das paredes, pode ser necessário proceder ao reforço das paredes (Ilharco, 2008).

Para análise da solução foi considerado uma laje a reforçar com 4 metros de vão por 7 metros de largura, obtemos assim a necessidade de aplicar um perfil metálico com 7 metros de comprimentos, sendo o perfil adoptado um IPE270.

Apresenta-se na Tabela 18 a composição de custo para fornecimento e aplicação do reforço com perfil perpendicular à viga, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 18 – Custo total de reforço com perfil perpendicular à viga.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta de perfis laminados a quente das séries IPE, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço, para reforço estrutural.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de perfis laminados a quente das séries IPE, galvanizado a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra, aplicado em reforços estruturais.	kg	277,970	2,13 €	592,08 €
Custo da ancoragem química e respectivos acessórios	Ud	8,000	6,32 €	50,56 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	8,061	15,31 €	123,42 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	8,061	14,91 €	120,19 €
Meios auxiliares	%	2,000	886,25 €	17,73 €
Custos indirectos	%	3,000	903,98 €	27,12 €
Total (vg)				931,10 €
Total (kg)				3,35 €

3.2.3 Colocação de perfil paralelo à viga

Esta solução é muito comum nas obras de reabilitação, pois através da colocação de vigas metálicas paralelas ao vigamento já existente, conforme ilustrado na Figura 3.22, permite diminuir as cargas exercidas sobre as vigas de madeira, promovendo a diminuição dos esforços existentes na estrutura. Desta

forma, permite aumentar a rigidez do pavimento reduzindo a deformação e as vibrações (Carneiro, 2012).

Esta solução, tal como a anterior apresenta limitações relacionadas com aspectos arquitectónicos, construtivos e estruturais, mas apresenta-se como uma boa solução para um reforço com vista a controlar a deformação excessiva sem comprometer o pé-direito existente (Appleton, 2003).

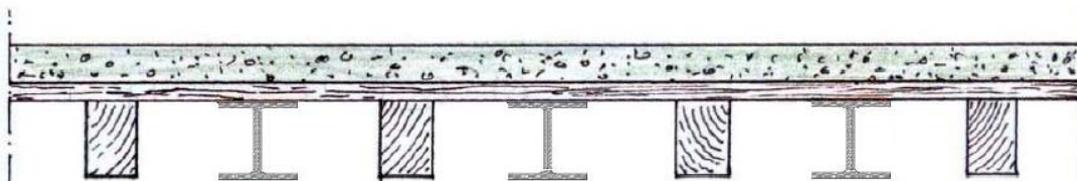


Figura 3.22 – Vigas paralelas ao vigamento existente (Carneiro, 2012)

A aplicação de vigas paralelas ao vigamento existente apresenta como grande dificuldade a compatibilização entre os dois materiais, a madeira e os elementos metálicos, já que as características do aço, especialmente o módulo de elasticidade são muito distintas da madeira, sendo o módulo de elasticidade do aço vinte vezes superior ao da madeira, o que origina ocorrências de comportamentos muito diferentes entre os dois elementos (Ilharco, 2008).

Assim apresenta-se como de extrema importância que o dimensionamento dos perfis metálicos seja executado tendo em conta a rigidez à flexão, por forma a que a mesma seja mais próxima possível da rigidez das vigas de madeira existentes. É também de grande importância ter em consideração que a deformação nas vigas existentes devido à fluência, não será totalmente recuperada aquando da transferência de carga para os perfis, sendo necessário aplicar calços por forma a nivelar as vigas de madeira com os perfis (ver Figura 3.23) (Ilharco, 2008).



Figura 3.23 – Exemplo de aplicação de vigas paralelas ao vigamento de madeira (costa et al., 2014)

A ligação das vigas metálicas pode ser executada quer através de chapas metálicas e ligações aparafusadas ou pela execução de aberturas nas paredes, nas quais se apoiam as extremidades das vigas sendo posteriormente betonadas as aberturas. A solução com chapas poderá apresentar algumas dificuldades dependendo da planura da parede. Esta solução poderá levar ao sobre carregamento das paredes nas zonas de descarga das vigas, podendo haver necessidade de um reforço local da parede por forma a prevenir possíveis problemas na parede de alvenaria. Tal como em outras soluções apresentadas esta solução apresenta muitos problemas de execução em locais onde os tectos tenham grande valor patrimonial pois será necessário removê-los para aplicação desta técnica. (Carneiro, 2012)

Esta solução foi aplicada no Mosteiro de Pombeiro, com construção por volta do século XIII, houve a necessidade de remoção do escoramento de vigas para requalificação da entrada. Sobre o pavimento existiam paredes divisórias de tabique. As vigas de madeira apoiavam nas paredes de alvenaria e a meio vão nas escoras que se pretendia retirar. Após análise das vigas de madeira principais, conclui-se que as mesmas não cumprem a regulamentação em vigor, sendo então necessário proceder ao seu reforço.

Devido ao vão existente, foi decidido adoptar a solução de reforço através de vigas metálicas, pois permitia com secções relativamente reduzidas vencer um vão elevado, com 7.8m. A solução e reforço passou por vigas metálicas paralelas às vigas, passando as cargas a serem suportada na sua totalidade pelos perfis metálicos. Os perfis adoptados foram HEB260, conforme se representa na Figura 3.24 (Costa et al., 2014).

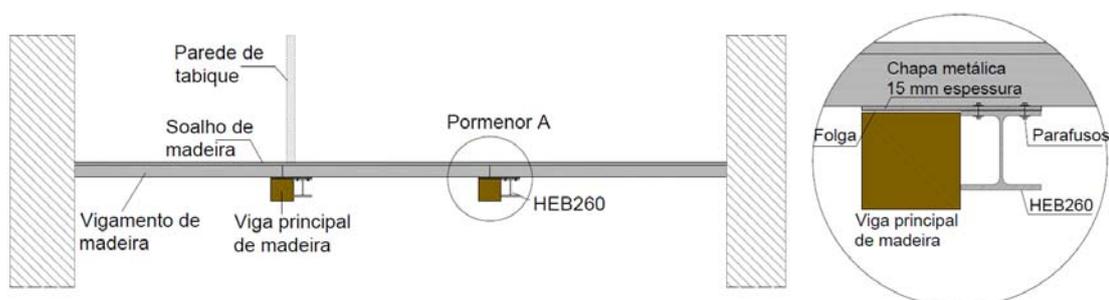


Figura 3.24 – Corte e pormenor da solução adoptada (Aníbal Costa et al., 2014)

Foram adicionadas chapa aos perfis metálicos por forma a garantir que as cargas eram apenas transmitidas aos perfis metálicos e não às vigas de madeira, estas chapas metálicas eram contínuas e aparafusadas aos perfis, onde assentam as vigas do pavimento do segundo piso, garantindo-se assim a transmissão de esforços. Para a montagem dos perfis metálicos foram retiradas as escoras inclinadas, tendo-se escorado as vigas de madeira existente. A chumbagem dos perfis metálicos foi executada com argamassas de consolidação à base de cal hidráulica. Após execução do reforço foram retirados os escoramentos temporários (Costa et al., 2014).

Assumindo a solução preconizada deste caso de estudo temos dois HEB260 com 8.5m mais as chapas de 15 mm de espessura e 0.6m de desenvolvimento, aplicada a todo o comprimento da viga.

Apresenta-se na Tabela 19 a composição de custo para fornecimento e aplicação do reforço com perfil paralelo à viga, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 19 – Custo total de reforço com perfis paralelos à viga.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta de perfis laminados a quente das séries HEB, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço, para reforço estrutural.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de perfis laminados a quente das séries HEB e respectivas chapas de ligação, galvanizado a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra, aplicado em reforços estruturais.	kg	2664,540	2,13 €	5.675,47 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	77,272	15,31 €	1.183,03 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	77,272	14,91 €	1.152,12 €
Meios auxiliares	%	2,000	8.010,62 €	160,21 €
Custos indirectos	%	3,000	8.170,83 €	245,12 €
			Total (vg)	8.415,95 €
			Total (kg)	3,16 €

3.3. Soluções de reforço – Intervenções locais em coberturas

Nas subsecções seguintes serão apresentadas, detalhadas e identificadas limitações e vantagens das soluções de reforço local para coberturas, identificadas na Tabela 20.

Os esquemas e detalhes podem ser consultados no anexo A.

Tabela 20 – Soluções de reforço locais em coberturas.

Local	Subsecção	Designação
COBERTURAS	3.3.1	Aplicação de chapas ou perfis de reforço locais
	3.3.2	Substituição de perfil de madeira por perfil metálico

3.3.1 Chapas e perfis de reforços

O uso de ferragens metálicas está intrinsecamente ligado à construção de asnas em madeira. Todas as ligações existentes nas asnas têm a sua própria ferragem, conforme se representa na Figura 3.25. A espessura mais comum destas peças é de 6mm e a sua largura pode ir de 50mm a 60mm. Os parafusos mais comuns são de 6mm, 9mm ou 12mm consoante as necessidades resistentes da asna (Lopes, 2007).

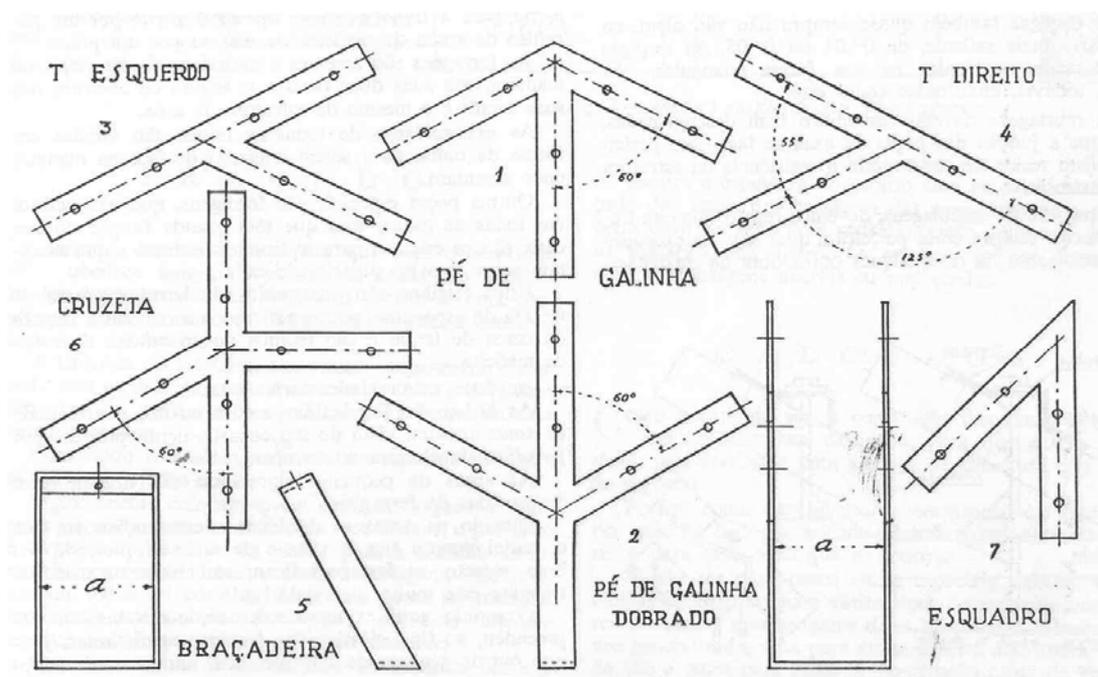


Figura 3. 25 – Ferragens típicas das asnas (F. Costa, 1955).

A técnica de reforço com recurso a elementos metálicos e normalmente utilizada na reparação e reforço de peças sujeitas a flexão. A eficácia destas soluções é bastante baixa, em grande parte ao caracter pontual da sua aplicação. A nível estético são também muito discutíveis pois acrescentam um material diferente do original, sendo também difícil garantir a sua estabilidade ao fogo (Lopes, 2007).

Esta solução apresenta como principais vantagens a sua moderada intrusividade, o aproveitamento dos materiais originais, não havendo necessidade de remoção dos mesmos e a facilidade com que se consegue criar legibilidade da solução. Como principal desvantagem apresenta a introdução de materiais diferentes dos originais. Os materiais mais usados são perfis laminados e chapas de aço com protecção anticorrosiva (Cóias, 2007).

Existem vários exemplos práticos da aplicação deste tipo de reforço, como é o caso da Igreja Corpus Christi, em Vila Nova de Gaia. Na reabilitação da cobertura, devido ao elevado valor patrimonial do tecto, foi restaurada *in situ*, para evitar a sua degradação, tendo sido necessário a aplicação pontual deste tipo de reforço, sendo de referir que a mesma foi efectuada pela parte superior. A intervenção foi essencialmente ao nível dos apoios, nos elementos que apresentavam secção residual suficiente, sendo efectuada com recurso a chapas metálicas fixas por meios de varões roscados ao elemento estrutural e chumbadas às paredes de alvenaria, conforme ilustrado na Figura 3.26 (Costa et al., 2014).



Figura 3.26 – Pormenor de reforço das vigas de madeira às paredes da capela na Igreja Corpus Christi (Costa et al., 2014).

Já no reforço da Igreja Matriz de Valongo, a solução encontrada para o reforço para o apoio degradado, foi realizada com recurso a uma chapa de 8mm quinada em U, até uma distância de 1m da parede, como se ilustra na Figura 3.27 (Costa et al., 2014).

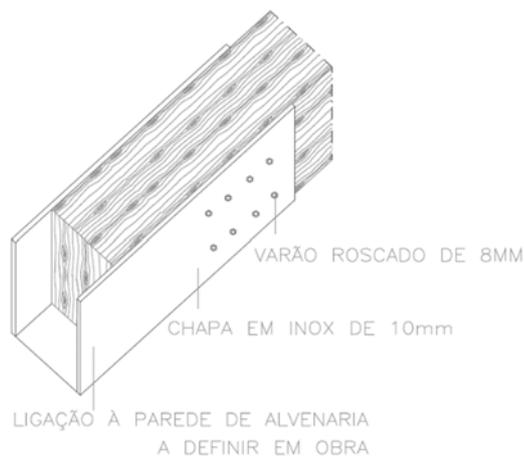


Figura 3.27 – Esquema preconizado para reforço dos apoios (Costa et al., 2014).

Na Igreja Matriz de Valongo, existiu a necessidade de reforço de uma linha de asna, sendo que a ideia original era a sua substituição, mas devido às dificuldades inerentes desta opção, optaram pela aplicação de uma chapa metálica de 6mm de espessura fixada através de cintas metálicas que abraçariam o elemento estrutural, conforme ilustrado na Figura 3.28.



Figura 3.28 – Reforço da linha da asna (Costa et al., 2014).

Esta solução de reforço é em tudo semelhante à apresentada na Secção 2.2.1, com a diferença que esta será aplicada no reforço de coberturas.

Para análise de custo a solução escolhida foi a aplicada na Igreja Matriz de Valongo, em que foram aplicadas chapas quinadas em aço S275JR de 8mm com 1 metro por 0.75m de desenvolvimento e varões roscados M8 com 300mm.

Apresenta-se na Tabela 21 a composição de custo para fornecimento e aplicação do reforço de cobertura com chapas quinadas, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 21 – Custo total do reforço da cobertura com chapa quinada.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta chapa quinada laminada a quente, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço, para reforço estrutural.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em chapa quinada de 8mm de espessura, laminada a quente, galvanizada a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra, aplicado em reforços estruturais.	kg	47,100	2,13 €	100,32 €
Varão M8, com 300mm, da série DIN 931, classe 8,8 galvanizados por imersão a quente, incluindo porca e duas anilhas.	un.	8,000	0,23 €	1,80 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	1,366	15,31 €	20,91 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	1,366	14,91 €	20,37 €
Meios auxiliares	%	2,000	143,40 €	2,87 €
Custos indirectos	%	3,000	146,27 €	4,39 €
Total (vg)				150,66 €
Total (kg)				3,20 €

3.3.2 Substituição de perfil de madeira por perfil metálico

As recomendações internacionais referem que se deverá sempre optar pela solução menos intrusiva e mais reversível, sempre que o estado de conservação dos materiais e o cumprimento das exigências funcionais assim o permitem. Esta condição é garantida através de pequenas reparações ou substituição de materiais. O método mecânico assume o uso de elementos metálicos nestas reparações.

Nas aplicações de madeira maciça, por vezes é necessário recorrer a madeiras exóticas por estas possuírem maior resistência, mas tendo em conta o ponto de vista ambiental estas soluções devem ser evitadas, e considerando também a parte económica estas soluções apresentam-se como significativamente mais onerosas, apresentando-se nestes casos a substituição pontual de um perfil de madeira por um perfil metálico como uma solução possível (Almeida & Faria, 2008).

Esta solução apresenta-se como pouco usual, mas permite em casos de degradação extrema de uma peça de madeira substituí-la por um perfil de aço, devendo o mesmo ser devidamente protegido contra a corrosão. Esta técnica vai

permitir a consolidação e reforço de estruturas de madeira que se encontrem danificadas por acção de agentes biológicos ou outros. Em coberturas e preferencialmente aplicada às pernas e linhas.

Esta técnica possui a vantagem a facilidade de manter a legibilidade da solução original, pois existem no mercado uma série de perfis tubulares com dimensões semelhantes as peças de madeira e a economia da intervenção, sendo que apresenta como principais desvantagens a introdução de materiais diferentes dos originais, alteração da rigidez e comportamento estrutural e alteração significativa da estética da estrutura (Lopes, 2007).

Para análise de custo assume-se a substituição de uma perna de madeira 200x150 por um perfil tubular de 200x150x5, respectivas chapas de fixação, conforme pormenor apresentado em anexo, que representa um peso total de 52.91kg.

Apresenta-se na Tabela 22 a composição de custo para fornecimento e aplicação substituição de perfil de madeira por perfil metálico, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 22 – Custo total de substituição de perfil de madeira por perfil metálico.

Aço laminado S275JR (Fe430), em perfil tubular laminado quente, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço, para reforço estrutural.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em perfil tubular laminado a quente, galvanizado a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra, aplicado em reforços estruturais.	kg	48,410	2,13 €	103,11 €
Parafusos da série DIN 931, classe 8,8 galvanizados por imersão a quente, incluindo porca e duas anilhas.	un.	22,000	1,93 €	42,46 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	1,404	15,31 €	21,49 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	1,404	14,91 €	20,93 €
Meios auxiliares	%	2,000	187,99 €	3,76 €
Custos indirectos	%	3,000	191,75 €	5,75 €
Total (vg)				197,50 €
Total (kg)				4,08 €

3.4. Soluções de reforço – Intervenções locais em chaminés

Com o início da revolução industrial e o aparecimento da máquina a vapor que se tornou comum para a produção de vários tipos de bens, tornou-se necessário expelir os fumos provocados pela queima do combustível necessário para colocar em funcionamento as máquinas (Ivorra, 2014).

Como muitas destas chaminés encontram-se localizadas no centro de grandes cidades, especialmente após o desenvolvimento urbano para áreas onde antigamente existiam zonas industriais. A singularidade destas estruturas e a sua importância histórica levou a que fossem mantidas nestes centros urbanos, como se ilustra na Figura 3.29 (Pallaré et al., 2010).



Figura 3.29 –Chaminés em centros urbanos. (Ivorra, 2014)

A patologia mais comum neste tipo de estruturas são as fissuras, conforme se representa na Figura 3.30, que se encontram relacionadas com a principal função das chaminés, pois as temperaturas de funcionamento eram sempre mais altas que 100°C e por vezes até superiores aos 200°C. Assim, e tendo em consideração esta informação é fácil preconizar que estas estruturas se encontravam sujeitas a grandes gradientes térmicos (Ivorra, 2014).



Figura 3.30 –Fissuração em chaminés de alvenaria. (V. A. M. Lopes, 2009)

O aparecimento de fissuras localizadas levam à redistribuição das forças verticais que promovem o desaparecimento da homogeneidade estrutural inicial, que podem provocar graves problemas estruturais e levar ao colapso de toda a estrutura (Ivorra, 2014).

Para minorar esta patologia uma solução muito comum é a aplicação de cintas metálicas, conforme se ilustra na Figura 3.31, que cintam a chaminé por forma a evitar o aparecimento da fissuração, sendo especialmente indicadas para fissuras verticais e para fissuras por compressão se a alvenaria ainda tiver capacidade de absorver a compressão. Este sistema de reforço pode ser aplicado numa fase inicial de deformação da estrutura, mas é pouco aconselhado para esta patologia. (Ivorra, 2014)



Figura 3.31 –Aplicação de cintas metálica para reforço de chaminés de alvenaria. (Ivorra, 2014)

Para análise do custo de aplicação da solução considerou-se uma cinta para reforçar uma chaminé com 2,50 metros de diâmetro, o que representa um perímetro de 7.85m. Considera-se a cinta de reforço uma barra 50x5mm, que representa um peso total de 15.41kg.

Apresenta-se na Tabela 23 a composição de custo para fornecimento e aplicação do reforço de chaminés com cintas, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 23 – Custo total de cintas de reforço.

Reforço de chaminé com cintas de aço S275JR (Fe430) em barras de 50 mm de largura e espessura 5 mm, galvanizada a quente.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Barra de aço laminado EN 10025 S275JR, para aplicações estruturais, galvanizada a quente.	kg	15,406	2,13 €	32,81 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	0,393	15,31 €	6,02 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	0,393	14,91 €	5,86 €
Meios auxiliares	%	2,000	44,69 €	0,89 €
Custos indirectos	%	3,000	45,58 €	1,37 €
Total (un.)				46,95 €
Total (kg.)				3,05 €

4. Soluções de reforço – Intervenções globais

4.1. Soluções de reforço – Intervenções globais em paredes

Nas subsecções seguintes serão apresentadas, detalhadas e identificadas limitações e vantagens das soluções de reforço global para paredes, identificadas na Tabela 24.

Os esquemas e detalhes podem ser consultados no anexo A.

Tabela 24 –Soluções de reforço globais em paredes.

Local	Subsecção	Designação
PAREDES	4.1.1	Cintagem global de edifícios
	4.1.2	Reboco armado

4.1.1 Cintagem global dos edifícios

Uma solução muito comum no reforço de paredes de alvenaria é a fixação de perfis ou chapas metálicas às paredes, por forma a criar uma cinta de confinamento. A solução necessita de uma prévia regularização da parede, para facilitar o encosto do perfil. A fixação dos perfis deve ser robusta e resistente por forma a impedir o deslocamento do perfil metálico, o que levaria ao aparecimento de esforços de flexão na parede (Ferreira, 2009).

O principal objectivo desta solução é permitir a ligação das paredes exteriores, promovendo um “box behavior”, permitindo a distribuição das cargas verticais e reduzindo o risco de deslocamento da cobertura (R. S. Barros et al., 2008).

A cintagem aplica-se a edifícios que apresentam fraca ligação entre elementos: paredes, pavimentos e coberturas, por forma a reduzir o risco de colapso, conforme se ilustra na Figura 4.1, permitindo a correcção de deformações para fora do plano.

Esta técnica consiste na aplicação de cintas metálicas no contorno dos edifícios, podendo as mesmas ser em perfis de chapa quinada ou perfil laminado, sendo bastante comum recurso a perfis UPN ou cantoneiras, ficando a alma do perfil encostada à parede, a chapas corridas ou a perfis em chapa galvanizada quinada. Esta solução tem sido executada em edifícios de alto valor patrimonial tais como o coliseu de Roma e em torres medievais italianas. Após a remoção do

reboco das paredes, são fixos, ao nível dos pavimentos, os perfis de aço através de varões embebidos em resinas químicas, que irão funcionar como uma armadura de estabilização (Rodrigues, 2010).

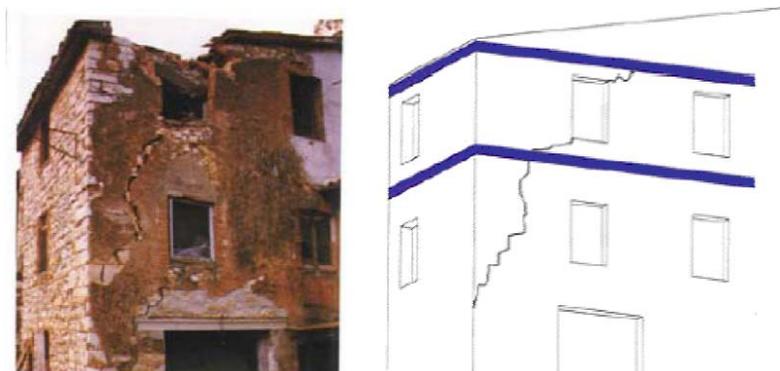


Figura 4.1 – Aplicação de cintagem global.(Rodrigues, 2010)

Os perfis de reforço podem ser aplicados pelo exterior do edifício (ver Figura 4.2), no interior (ver Figura 4.3), ou em ambos os lados, permitindo assim o confinamento das paredes, sendo que neste caso os perfis são ligados por conectores. A cintagem com recurso a perfis metálicos é eficaz em edifícios de altura limitada. Contudo quando a aplicação é executada pelo exterior poderá modificar o aspecto original do edifício. A aplicação pelo interior permite também usar o perfil de reforço como apoio para eventual suporte do pavimento (Rodrigues, 2010).



Figura 4.2 – Cintagem pelo exterior (Rodrigues, 2010).



Figura 4.3 – Cintagem pelo interior (Lopes, 2008).

Esta técnica é considerada um reforço sísmico, que permite a correcção das deformações e danos em fachadas. Apresenta como principais vantagens a reduzida intrusividade, sendo esta dependente da idealização da estrutura e apresentando um estaleiro de reduzido impacto apresentando como principais desvantagens a possibilidade de aparecimento de corrosão em zonas pontuais que poderá levar ao aparecimento de manchas nas fachadas e ao empolamento e perda de adesão dos rebocos. Esta solução aparece também associada ao reforço, dos apoios dos pavimentos ou coberturas, responsáveis pelo aparecimento das deformações, como é possível observar na Figura 4.4 (Cóias, 2007).

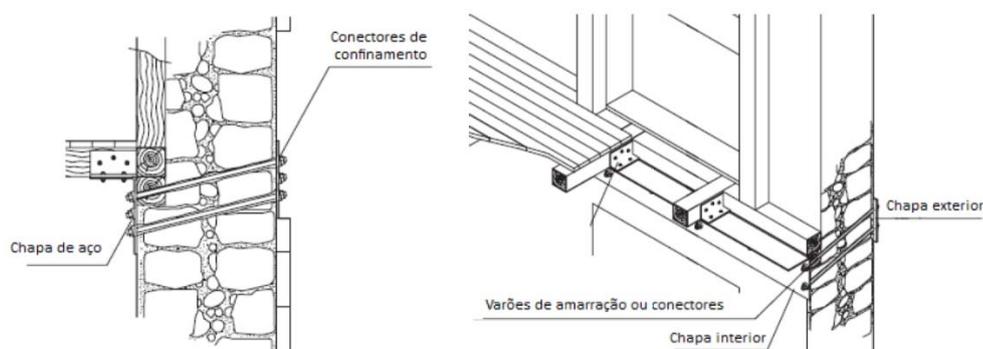


Figura 4.4 – Melhoria da ligação parede pavimento (Cóias, 2007).

O processo é iniciado com a remoção da camada de reboco no local a aplicar a cinta, reparação de possíveis anomalias e remoção de material que se apresente solto, limpeza da superfície e colocação dos elementos de cintagem e fixação através de conectores, conforme se ilustra na Figura 4.5.



Figura 4.5 – Cintagem com recurso a UPN (Costa et al., 2014).

Tendo em conta que a cintagem é feita, por norma, ao nível das lajes e da cobertura, considera-se o caso de um edifício de 2 pisos, que compreendem rés-do-chão e primeiro andar, que representa dois níveis de cintagem e um perímetro de 50m. Para perfil de reforço considerou-se um UPN160, e ancoragens químicas espaçadas de 1m.

A nível de custos considerou-se necessário aumentar o preço dos meios auxiliares, pois esta montagem irá necessitar de meios de elevação, tais como multifunções ou tesoura.

Apresenta-se na Tabela 25 a composição de custo para fornecimento e aplicação da cintagem global de um edifício, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 25 – Custo cintagem global de edifício com perfil UPN.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta de perfis laminados a quente das séries UPN, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço, para reforço estrutural.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de perfis laminados a quente das séries UPN, galvanizado a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra, aplicado em reforços estruturais (100 m de perfil).	kg	1880,000	2,13 €	4.004,40 €
Custo das buchas químicas e respectivos acessórios.	Ud	100,000	6,32 €	632,00 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	54,520	15,31 €	834,70 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	54,520	14,91 €	812,89 €
Meios auxiliares	%	20,000	6.283,99 €	1.256,80 €
Custos indirectos	%	3,000	7.540,79 €	226,22 €
Total (vg)				7.767,01 €
Total (kg)				4,13 €
Total (ml)				77,67 €

4.1.2 Reboco armado

Os rebocos armados, ilustrados na Figura 4.6, são uma solução cuja utilização apenas é possível em alvenarias revestidas, sendo uma técnica de reforço eficaz. A técnica é especialmente indicada para paredes com grande degradação superficial, como por exemplo as paredes de adobe. Com a sua aplicação existe

uma clara melhoria da resistência superficial da parede à tracção e ao corte. Com a junção a outras técnicas permite também a possibilidade de melhoria da ligação entre os vários elementos constituintes. Quando aplicada permite uma clara melhoria da protecção contra as agressões dos agentes climatéricos (Azevedo, 2010).

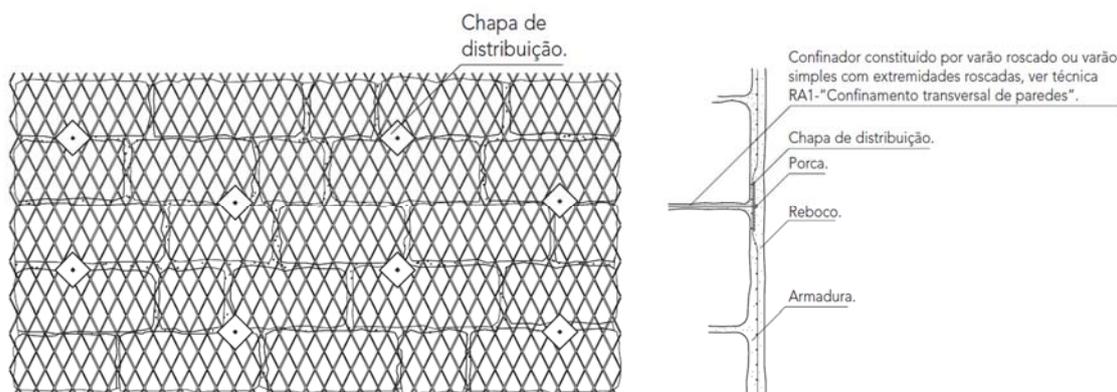


Figura 4.6 – Armadura metálica fixa por confinadores (Cóias, 2007).

Os rebocos armados consistem na aplicação de uma armadura de reforço, fixa pontualmente com recursos a confinadores metálicos, sendo posteriormente aplicada uma camada de argamassa de revestimento com espessuras que podem variar entre os dois e os três centímetros. As armaduras mais comuns são as de malha de aço electrossoldada e as de metal distendido. Sempre que possível deve optar-se pelo aço inoxidável, mas se não for possível devido ao seu elevado custo, optar por tratamentos anticorrosivos de grande qualidade, sendo o mesmo aplicável às fixações, sob pena de ocorrência do aparecimento de manchas de ferrugem e destacamento do reboco.

As argamassas podem ser de natureza inorgânica, sintética ou mistas. Em paredes antigas, deve evitar-se o uso das argamassas cimentícias e sintéticas, por razões de compatibilidade, pois estas não permitem as mesmas condições de higroscopicidade e permeabilidade ao vapor das fachadas além de apresentarem diferenças de rigidez e não permitirem a reversibilidade.

Antes da execução da técnica é importante proceder-se ao saneamento completo dos rebocos existentes, remover o reboco até às juntas de argamassa, por forma a não existirem pedaços soltos de argamassa e retirar todas as pedras que se encontrem soltas que poderiam impedir uma correcta ligação do novo reboco à parede. Após esta fase a parede deve ser lavada com água sob baixa

pressão. Posteriormente devem ser aplicadas as redes de reforço, tendo em atenção a fixação das mesmas especialmente na zona de união das redes.

A aplicação da argamassa pode ser feita quer manualmente, quer projectada com equipamento específico para o efeito, conforme se representa na Figura 4.7. A mistura pode ser húmida, onde os materiais são misturados previamente ou seca, onde a mistura da água, cimento e areia é feita por saídas independentes com o uso de ar comprimido (Roque, 2002).



Figura 4.7 – Aplicação de argamassa projectada (Cruz, 2008).1

A aplicação de argamassa com auxílio de uma bomba apropriada é bastante vantajosa a nível de tempo de execução especialmente quando é necessário revestir grandes áreas (Cruz, 2008).

Este sistema apresenta como vantagens a moderada intrusividade e a baixa tecnicidade, especialmente se o reboco for feito de forma manual. A principal desvantagem é a sua irreversibilidade, pois a remoção poderá causar a perda superficial de material (Rodrigues, 2010).

O uso desta técnica é especialmente aconselhado em situações localizadas. As zonas normalmente sujeitas a fendilhação, tais como os vértices dos vãos, zonas heterogéneas do suporte revestidas em continuidade, onde os diferentes estados de tensão ou diferentes coeficientes de dilatação térmica levam a

deslocamentos diferenciais, zonas muito deformáveis ou zonas com o suporte fendilhado, conforme se ilustra na Figura 4.8 (Roque, 2002).

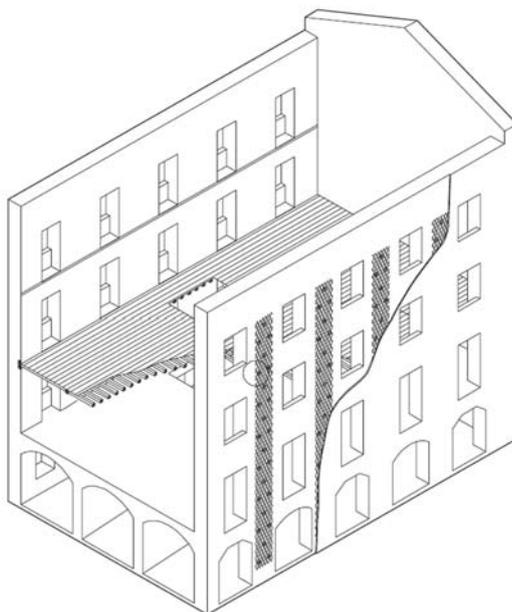


Figura 4.8 – Aplicação localizada de reboco armado (Cóias, 2007).

Na reparação de fendas localizadas, quando as mesmas têm origem no mau comportamento geral da estrutura, se as mesmas se encontrarem estabilizadas a aplicação de reboco armado com malha electrossoldada apresenta-se com uma boa solução, sendo importante executar a selagem prévia das fendas.

A evolução desta técnica está ligada a estudos feitos em laboratório que permitem confirmar a eficácia da solução no aumento da resistência à tracção diagonal e no aumento da rigidez e da capacidade de deformação global das paredes, podendo em certos casos duplicar a resistência ao corte no plano, mas a carga de fendilhação mantém-se praticamente inalterada, apresentando-se assim esta solução como reforço passivo. Estes estudos permitiram também concluir que a resistência ao corte no plano, sob acções cíclicas, aumenta entre 150% a 200% e o momento resistente da secção praticamente triplica.

Uma solução em tudo idêntica ao reboco armado é o encamisamento, que consiste na aplicação de um ou de ambos os lados da parede de uma malha de aço fixa à parede através de pregagens, mas a camada de betão aplicada é de maior espessura, cerca de 5 a 10cm de espessura. Esta solução apresenta-se como um revestimento de maior espessura que o reboco tradicional, e que permite

um reforço da alvenaria sobretudo ao corte. É especialmente indicada para alvenarias “pobres”, com muitas irregularidades, com diferentes misturas de materiais e deficiente ligação entre materiais.

Esta técnica apresenta dificuldades de aplicação nas alvenarias de pedra, pois a sua irregularidade não garante a existência de juntas que atravessem toda a secção, podendo assim ser necessário a abertura de carotes para atravessamento da parede de alvenaria (Roque, 2002).

O uso incorrecto desta solução pode facilmente levar a um pior comportamento estrutural devido a um excessivo aumento da rigidez da parede, promovendo também um aumento bastante grande da massa da estrutura, podendo também apresentar-se como inúteis devido a erros de execução ou por problemas de durabilidade (Modena et al., 2009).

Para análise de custo assumiu-se a aplicação de 1m² de reboco armado, apresentando-se na Tabela 26 a composição de custo para fornecimento e aplicação de reboco armado com rede electrossoldada, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 26 – Custo total de reboco armado com rede electrossoldada.

Reparação de fendas em paramento horizontal exterior reboco com argamassa de cimento, através de picagem do revestimento com meios manuais, aplicação de argamassa de cimento M-15 aplicado directamente com acabamento superficial afagado, reforçado com rede electrossoldada malha 25x25 e 1,75mm de espessura fixa com recurso a varão roscado e bucha química.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Argamassa de cimento CEM II/B-L 32,5 N tipo M-15, confeccionada em obra com 400 kg/m ³ de cimento e uma proporção em volume 1/3.	m ³	0,015	149,30 €	2,24 €
Rede elctrossoldada malha 25x25 com 1,75mm de espessura	m ²	1,050	3,13 €	3,29 €
Custo das buchas químicas e respectivos acessórios.	Ud	2,000	2,78 €	5,56 €
Oficial de 1ª construção.	h	0,716	16,85 €	12,06 €
Operário não qualificado construção.	h	1,210	15,82 €	19,14 €
Meios auxiliares	%	2,000	42,29 €	0,85 €
Custos indirectos	%	3,000	43,14 €	1,29 €
			Total(m ²)	44,43 €

4.2. Soluções de reforço – Intervenções globais em pavimentos

Nas subsecções seguintes serão apresentadas, detalhadas e identificadas limitações e vantagens das soluções de reforço global de pavimentos, identificadas na Tabela 27.

Os esquemas e detalhes podem ser consultados no anexo A.

Tabela 27 –Soluções de reforço globais em pavimentos

Local	Subsecção	Designação
PAVIMENTOS	4.2.1	Substituição de pavimentos por estrutura em LSF
	4.2.2	Substituição de pavimentos por estrutura de perfis metálicos
	4.2.3	Colocação de viga periférica com tarugamento do pavimento

4.2.1 Substituição de pavimentos por estrutura em LSF

Em situações em que não é possível a reabilitação e reforço das estruturas existentes, opta-se pela sua substituição integral, usando uma solução com base em perfis metálicos. Estas soluções apresentam como vantagem a possibilidade de vencerem grandes vãos, bem como de utilizarem soluções mais esbeltas quando comparadas com soluções de madeira, ficando assim menos dependentes de imposições arquitectónicas como o pé-direito. Esta solução é também bastante reversível e mais ligeira que soluções de betão armado (Almeida & Faria, 2008).

Apesar dos recentes desenvolvimentos na construção com perfis enformados a frio ainda é a opinião generalizada que esta se destina a soluções pré-fabricadas com tempo de vida útil bastante baixo. Apesar de este tipo de soluções apresentarem uma grande parte das suas operações em fábrica, o que permite um nível de qualidade e segurança ao nível da indústria automóvel, não significa isto que não sejam adaptáveis às novas necessidades, especialmente como o caso da reabilitação (Moreira, 2012).

Os elementos de aço enformado a frio são obtidos essencialmente por quinagem ou perfilagem, sendo que se podem dividir em dois grupos distintos que são os perfis e a chapas perfiladas (Almeida & Faria, 2008).

A quinagem é utilizada para a produção de perfis simples e não-*standard*, pois só assim a mesma se apresenta rentável, sendo que as dimensões dos perfis estão limitadas pela dimensão da quinadeira.

A perfilagem aparece como método de produção em grande escala, possibilitando o aumento da competitividade e da rentabilidade. Os perfis são transformados a partir de chapas, por uma sequência de rolos que deformam a chapa até à forma final pretendida. A furação pode ser feita automaticamente durante o processo de perfilagem. O comprimento dos perfis será apenas restringido por questões de transporte (Moreira, 2012).

A nível geométrico os perfis ou as chapas perfiladas são constituídas por zonas rectas e zonas curvas (ver Figura 4.9). Para além das quinagens normais, podem ser adicionados pequenas dobras aos perfis nas extremidades ou nos troços rectos que vão conferir mais resistência mecânica ao perfil, sendo denominados de rigidificadores. As espessuras das chapas utilizadas variam entre 0,45mm e 3,0mm, sendo usados aços com uma tensão de cedência que varia entre 220 e 550 N/mm² (Moreira, 2012).

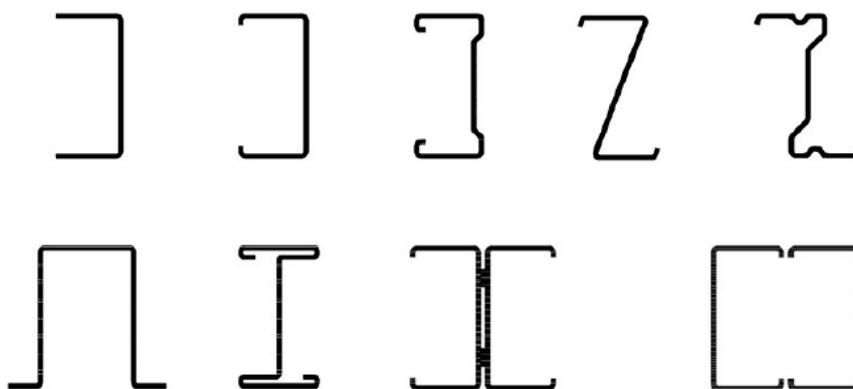


Figura 4.9 – Perfis enformados a frio mais comuns (Moreira, 2012).

O uso de perfis enformados a frio, pela sua leveza, permite a sua aplicação sem necessidade de meio mecânicos de elevação. As chapas perfiladas são normalmente usadas para a produção de lajes mistas.

As soluções de aço enformado a frio apresentam como principais desvantagens a necessidade de mão-de-obra especializada e equipamentos de trabalho muito específicos, o que poderá aumentar os custos operacionais (Almeida & Faria, 2008).

Nestas soluções é possível a criação de aberturas no pavimento, sendo necessário o uso de vigas mestras perpendiculares às restantes vigas de pavimento (Silvestre, Pires, & Santos, 2013).

Nesta solução poderá ser aplicado um isolamento térmico e acústico muito eficiente em lã-de-rocha nos espaços entre vigas (ver Figura 4.10), antes da aplicação do revestimento do piso e após a aplicação do tecto falso (Silvestre et al., 2013).



Figura 4.10 – Aplicação de laje em LSF (Futureng, 2011).

As lajes de pavimentos são normalmente compostas por vigas com altura de alma compreendida entre 150 a 300 mm de altura e espessuras de chapa entre 1.5 a 3mm, dependendo do vão a vencer e do espaçamento preconizado entre vigas de pavimento. Nesta solução será sempre necessário ter em conta a aplicação de uma viga perimetral, fixa às paredes, que servirá de apoio às vigas principais (Moreira, 2012).

Esta solução apresenta como principal desvantagem a regulamentação complexa a que ainda se encontra sujeita, como o EC3 que apenas aceita o cálculo estrutural ou ensaios experimentais a uma escala muito reduzida. Os poucos exemplos ou orientações (não regulamentares) são indicados por fornecedores da mesma (Silvestre et al., 2013).

A construção em LSF, garante a segurança estrutural se forem cumpridos um conjunto de condições relativos a dimensões e espaçamento dos elementos metálicos, tendo por base as dimensões das edificações, sendo que o método aplicado, o prescritivo que se encontra de acordo com os regulamentos estruturais existentes, tais com a “North American Specification” (NAS) e a “Standards of Atralia and Standards of New Zealand” (Silvestre et al., 2013).

Para análise considera-se que a laje cobre uma zona com 7 metros de largura por 5 metros de vão e que serão vãos simples com reforços nos apoios, sujeitos a uma sobrecarga de 1.92 kN/m².

Tabela 28 – Valores máximos admissíveis (em m) de vão simples com reforço de apoio. (Tabela 7.1 - Silvestre et al., 2013)

(Aço S235)								
Viga de Pavimento	Sobrecarga 1,44 kN/m ²				Sobrecarga 1,92 kN/m ²			
	30	40	48	60	30	40	48	60
C200/1,7mm	6,0	5,5	5,1	4,7	5,5	5,0	4,7	4,3

Como identificado na Tabela 28, conclui-se que a viga de pavimento a usar será a C200x1.7 mm espaçada de 40cm. Para viga de bordadura uma viga U200x2.5mm, fixa à parede com bucha química espaçada de 1m. Para contraventamento das vigas principais considera-se um perfil C200x1.7 aplicado a meio vão.

Assim tendo em conta estas premissas e pormenores, representadas detalhadamente no anexo A, obteve-se as seguintes quantidades:

- Viga C200 x 1.7 – 95 metros x 4.55 kg/m = 432.25 kg
- Contraventamento C200 x 1.7 – 7metros x 4.55 kg/m = 31.85 kg
- Viga de Bordadura U200x2.5 – 24 metros x 6.28 kg/m = 150.72 kg
- Total: 614.82 kg

Apresenta-se na Tabela 29 a composição de custo para fornecimento e aplicação de laje em LSF, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 29 – Custo da laje com perfis LSF.

Aço S235JRC em madres metálicas, com peças simples de perfis enformados a frio das séries C o Z, galvanizado e colocado em obra por aparafusamento.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço EN 10025 S235JRC, para madre formada por peça simples, em perfis enformados a frio das séries C ou Z, galvanizado, inclusive acessórios, parafusos e elementos de ancoragem.	kg	614,820	1,43 €	879,19 €
Bucha química de fixação.	un.	16,000	6,20 €	99,20 €
Oficial de 1º montador de estrutura metálica.	h	22,134	15,31 €	338,86 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	22,134	14,91 €	330,01 €
Meios auxiliares	%	2,000	1.647,26 €	32,95 €
Custos indirectos	%	3,000	1.647,26 €	49,42 €
Total (vg)				1.680,21 €
Total (m ²)				48,01 €
Total (kg)				2,73 €

4.2.2 Substituição de pavimento por estrutura em perfis metálicos

Solução idêntica à abordada na situação da solução da subsecção 4.2.1, sendo que a laje é constituída por perfis de alma cheia do tipo IPE que apresenta como principal desvantagem o facto de em zonas históricas de difícil acesso o peso das peças metálicas exigir soluções mecânicas de elevação (Almeida & Faria, 2008).

Esta solução apresenta também como desvantagem a necessidade de aplicação de um sistema anticorrosivo após fabricação, o que encarece a solução (Campos, 2006).

A nível estrutural apresenta alteração da rigidez da estrutura pois existe a introdução de materiais diferentes dos originais. Se no piso inferior não existir tecto falso, vai haver uma alteração significativa da estética da estrutura permitindo, apesar desta situação, manter a legibilidade da estrutura original (Miguel Lopes, 2007).

Este tipo de reforço quando comparado com a execução de um novo pavimento em betão, poderá considerar-se muito mais reversível, além de se apresentar como uma solução muito mais ligeira que poderá constituir uma vantagem no caso de solicitações horizontais. Poderá também ser importante a nível arquitectónico pois permite soluções mais esbeltas e permitem vencer maiores vãos quando comparadas com a madeira maciça, sendo esta vantagem importante para a determinação do pé direito (Almeida & Faria, 2008).

Se se pretender manter o revestimento do chão em madeira os perfis metálicos serão afastados de uma distância aproximada de 0.5m para aplicação do soalho. Os apoios da estrutura poderão ser através de chapas de topo fixas às paredes através de bucha química, o que dificulta a montagem em obra ou através de uma viga periférica que terá chapas soldadas para suporte das vigas de pavimento através de parafusos. Esta solução facilita a montagem pois é efectuada de forma faseada (Campos, 2006).

Para análise da estrutura de suporte do pavimento, considera-se as mesmas dimensões da solução descrita na subsecção 4.2.1 (5x7m), que o revestimento de piso seria madeira e que as vigas de suporte se encontram espaçadas de 0.5m. O

programa de análise foi o Robot™ Structural Analysis Professional, tendo sido consideradas as seguintes cargas:

- Peso próprio;
- Restantes Cargas Permanentes – 1 kN/m²
- Sobrecargas – 2 kN/m²

Atendendo aos resultados obtidos, adoptou-se a solução de vigas IPE120 (ver Figura 4.11) espaçadas de 0.5m e vigas de suporte fixas à parede através de buchas químicas espaçadas de 1m. A ligação entre viga de apoio e viga principal será feita com recurso a uma chapa e dois parafusos, conforme se ilustra na Figura 4.12.

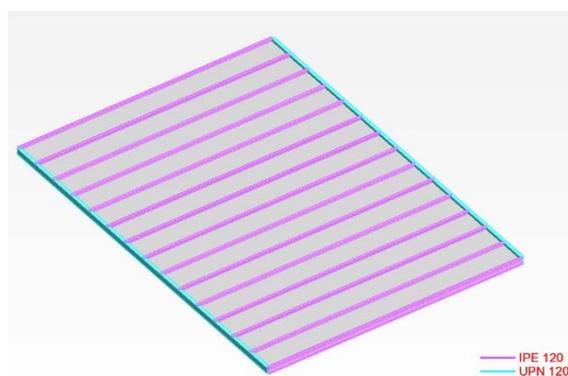


Figura 4.11 – Perfis da solução adoptada.

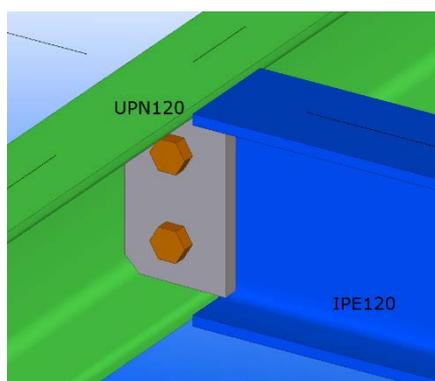


Figura 4.12 – Ligação entre viga de apoio e viga principal.

Tendo em conta os resultados da análise, a quantidade de aço será de 1060kg, incluindo as chapas de ligação.

Apresenta-se na Tabela 30 a composição de custo para construção de uma laje em perfis laminados a quente, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 30 – Custo total laje com perfis laminados a quente.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta de perfis laminados a quente das séries IPE e UPN, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de perfis laminados a quente das séries IPE e UPN, galvanizado a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra.	kg	1060,000	2,13 €	2.257,80 €
Custo das buchas químicas e respectivos acessórios.	Ud	16,000	6,32 €	101,12 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	30,740	15,31 €	470,63 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	30,740	14,91 €	458,33 €
Meios auxiliares	%	20,000	3.287,88 €	657,58 €
Custos indirectos	%	3,000	3.945,46 €	118,36 €
Total (vg)				4.063,82 €
Total (m ²)				116,11 €
Total (kg)				3,83 €

4.2.3 Colocação de viga periférica com tarugamento do pavimento

O edificado antigo é normalmente constituído por paredes resistentes de alvenaria e estrutura de madeira nos pisos elevados e nas coberturas. Por norma os pavimentos apresentam formas estruturais simples, tais como vigamentos paralelos apoiados nas paredes de alvenaria, conforme se ilustra na Figura 4.13 (Mateus, 2015).

Esta ligação entre paredes e pavimentos é muitas vezes insuficiente, especialmente quando se instalam forças para fora do plano destes elementos. Assim é sempre importante a melhoria da ligação entre o piso e pavimento, para aquando da ocorrência de forças para fora do plano os pavimentos ajudem à estabilização das paredes, evitando assim a sua deformação (Ilharco, 2008).



Figura 4.13 Melhoria da ligação parede pavimento com cantoneiras quinadas (Ilharco, 2008).

Além desta melhoria de ligação entre os dois elementos com esta técnica existe o objectivo claro do aumento da rigidez do pavimento, tanto no plano como fora do plano, melhorando também o comportamento de diafragma do pavimento. Esta melhoria do comportamento diafragma do pavimento além de aumentar a capacidade de carga do pavimento vai ajudar ao reforço em caso de sismo, ajudando a sustentar a estrutura especialmente no primeiro e mais significativo modo de colapso, sendo, no entanto, pouco efectivo noutros mecanismos de colapso que poderão ocorrer com um sismo de maior intensidade.

Esta solução tem sido posta em causa na comunidade científica pois tem sido verificado em certos casos que a introdução de pavimento com comportamento de diafragma de grande rigidez provocou danos graves nas paredes de alvenaria, sendo sempre de ponderar o uso de diafragmas, pois em certos casos será apenas recomendado a melhoria da ligação do pavimento às paredes de alvenaria permitindo a flexibilidade (Ilharco, 2008).

A primeira parte da solução consiste na aplicação de uma nova linha de apoio fixa à alvenaria por conectores metálicos, e que poderá ser constituída por cantoneiras metálicas (ver Figura 4.14) ou por perfis metálicos de chapa quinada. As ligações existentes são mantidas, sendo necessário à sua avaliação e tratamento de possíveis patologias existentes. Esta parte da técnica é de fácil execução e permite a distribuição da carga por uma maior área. É sempre necessário efectuar a regularização da parede e após montagem do perfil aplicação de uma argamassa não retráctil, para garantir uma eficiente transmissão dos esforços à parede. Apesar da aplicação de materiais diferentes dos originais é

considerada de baixa intrusividade e de alta reversibilidade. Como principal desvantagem apresenta o facto de serem transmitidas cargas excêntricas à parede podendo levar ao aparecimento de esforço de flexão na parede (Ferreira, 2009).

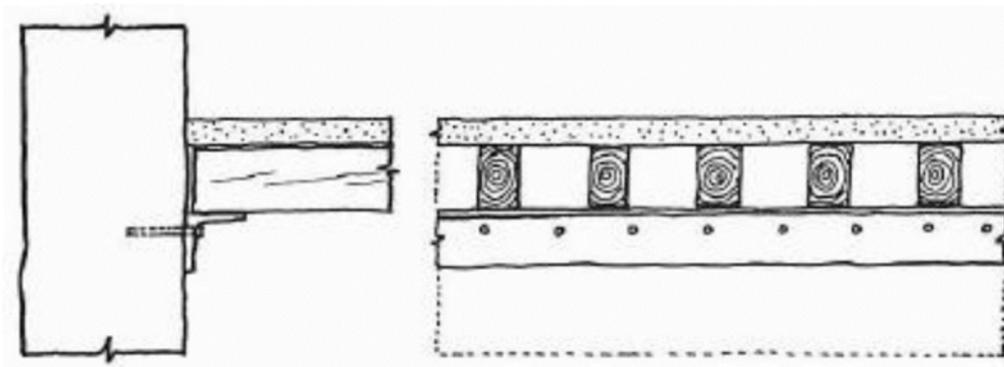


Figura 4.14 Cantoneira metálica fixa à parede (Arriaga, 2002).

A melhoria do comportamento de diafragma envolve a introdução de um reforço no pavimento. Podendo ser executada de várias formas, devendo sempre evitar o aumento excessivo do peso do pavimento. A solução de execução mais fácil é a aplicação de chapas metálicas finas (2mm) fixas ao pavimento existente, conforme ilustrado na Figura 4.15, sendo as mesmas fixas ao soalho através de conectores metálicos, por forma a evitar a encurvadura induzida por esforços no plano do soalho (Ilharco, 2008).

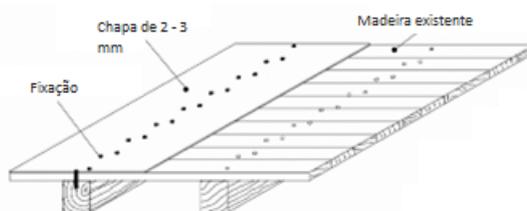


Figura 4.15 Aplicação de chapa fina contínua (Ilharco, 2008).

A outra forma de executar a técnica é a fixação de barras metálicas na face superior de cada viga através de conectores metálicos. As barras a utilizar poderão ser de 90x10mm (ver Figura 4.16), sendo que estas irão sempre ficar separadas das vigas pelo soalho, que apresenta espessuras entre os 20 e 30mm, e que não será considerado parte integrante do sistema. É também importante referir que

quando o soalho original é mantido, é necessário um maior diâmetro do conector para garantir a rigidez da ligação.



Figura 4.16 Reforço do pavimento com chapas metálicas (Ilharco, 2008).

Esta solução pode ainda ser complementada com uma treliça horizontal, constituída também por barras, conforme se ilustra na Figura 4.17, que permite um aumento da rigidez no plano, por forma a transferir as acções horizontais para as paredes resistentes. (Ilharco, 2008)

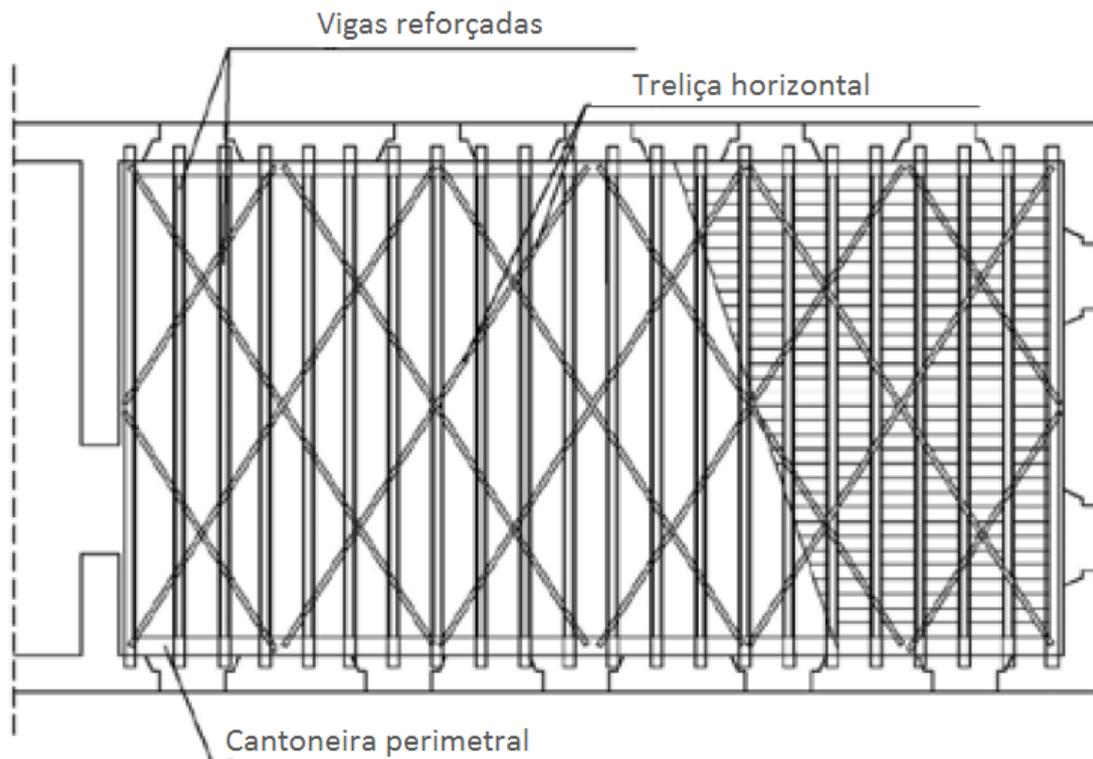


Figura 4.17 Colocação de treliça horizontal em barra (Ilharco, 2008).

Esta solução permite uma grande redução das deformações e promove um grande aumento da capacidade de carga. Apresenta como grande desvantagem a

inutilização do soalho existente, que poderá ser uma situação complicada no caso de o mesmo apresentar alto valor patrimonial. Poderemos considerar estas soluções como muito leves em comparação com o uso de lajetas de betão (Ilharco, 2008).

Para análise de custo considerou-se uma laje de 5 m de vão por 7m de largura, em que a fixação à parede é executada por uma cantoneira de abas iguais de 100x100x10mm fixa à parede através de buchas químicas espaçadas de 0,5m e uma chapa para reforço do pavimento com 2mm de espessura, aplicada em toda a extensão do pavimento.

Apresenta-se na Tabela 31 a composição de custo para colocação de viga periférica com tarugamento do pavimento, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 31 – Custo total da viga periférica com tarugamento do pavimento.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta de perfis laminados a quente, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço, para reforço estrutural.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de perfis laminados a quente em cantoneiras e chapas, galvanizado a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra, aplicado em reforços estruturais.	kg	910,000	2,13 €	1.938,30 €
Custo das buchas químicas e respectivos acessórios.	Ud	52,000	6,32 €	328,64 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	26,390	15,31 €	404,03 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	26,390	14,91 €	393,47 €
Meios auxiliares	%	2,000	3.064,44 €	61,29 €
Custos indirectos	%	3,000	3.125,73 €	93,77 €
Total (vg)				3.219,50 €
Total (m ²)				91,99 €
Total (kg)				3,54 €

4.3. Soluções de reforço –Intervenções globais em coberturas

Nas subsecções seguintes serão apresentadas, detalhadas e identificadas limitações e vantagens das soluções de reforço global de coberturas, identificadas na Tabela 32.

Os esquemas e detalhes podem ser consultados no anexo A.

Tabela 32 – Soluções de reforço globais em pavimentos

Local	Subsecção	Designação
COBERTURAS	4.3.1	Substituição de coberturas por estrutura em LSF
	4.3.2	Substituição de coberturas por estrutura em perfis metálicos

4.3.1 Substituição de coberturas por estrutura em LSF

A construção com recurso a perfis enformados a frio permite a construção de coberturas inclinadas e planas, sendo muito usual a sua utilização para a substituição integral de coberturas em madeira independentemente do grau de complexidade da estrutura inicial, sendo sempre possível recriar a geometria inicial. A facilidade e rapidez de aplicação deste sistema permite que o mesmo seja aplicado mesmo em condições climatéricas menos propícias à substituição de coberturas.

As coberturas planas, são em tudo semelhantes a lajes de pavimento, com as devidas alterações necessárias para a mesma ter capacidade de resposta às solicitações a que se encontra sujeita.

Nas coberturas inclinadas, a estrutura de suporte será composta por asnas, que dependendo da geometria estrutural, poderá ter maior ou menor espaçamento entre estes elementos. Os revestimentos da cobertura podem-se optar pela tradicional telha, ou por outras soluções como chapa simples ou painel sandwich (Moreira, 2012).

A vantagem das vigas treliças é que executam as vigas de cobertura e vigas de tecto de uma só vez, conforme se representa na Figura 4.18. Por norma as vigas mais usais são do tipo C, tendo que ter sempre em consideração a aplicação de contraventamento nas faces inferiores das vigas de cobertura e nas faces superiores de tecto (Silvestre et al., 2013).



Figura 4.18 – Aplicação de treliça de cobertura em LSF (Futureng, 2011).

Para análise da cobertura em LSF, seguiu-se o método prescritivo, tal como na subsecção 4.1.8, tendo em conta as seguintes características:

- Zona B
- Rugosidade II
- $H < 10\text{m}$
- Dimensões da cobertura $7,8\text{ m} \times 15\text{m}$
- Localização: Aveiro

Obtendo assim $w_k = 1.08\text{ kN/m}^2$, o que representa uma velocidade do vento de 150 km/h .

Tabela 33 – Equivalência entre velocidade do vento e sobrecarga da neve (adaptada de Tabela 7.13 - Silvestre et al., 2013).

velocidade do vento e exposição		INCLINAÇÃO DA COBERTURA			
A	B	3:12	4:12	5:12	6:12
113		1,0	1,0	1,0	1,0
129	113	1,0	1,0	1,0	1,0
145	129	1,0	1,0	1,0	1,0
161	145	1,4	1,4	1,4	2,4
177	161	1,4	2,4	2,4	2,4
	177	2,4	2,4	2,4	2,4

Conforme a Tabela 33 e o método prescritivo, devemos considerar o maior valor entre as duas sobrecargas. Assim considerando-se a cobertura localizada Aveiro, temos que a sobrecarga mais representativa é a do vento e apresenta o

valor de 2.4 kN/m². A solução estrutura adoptada para a cobertura é sem apoios a meio vão.

Tabela 34 – Vãos Máximos em planta, em vigas de cobertura. (adaptada de Tabela 7.12 - de Silvestre et al., 2013)

Perfil	Sobrecarga da neve							
	1		1,4		2,4		3,4	
	// 40 cm	// 60 cm	// 40 cm	// 60 cm	// 40 cm	// 60 cm	// 40 cm	// 60 cm
C250x1,4	7,65	6,25	7,09	5,79	6,02	4,29	5,31	4,34

De acordo com a Tabela 34, conclui-se que a viga de cobertura a aplicar será o perfil C250 x 1.4.

Tabela 35 – Vãos Máximos vigas de tecto de vão único com reforço de apoio, sótão inacessível. (adaptada de Tabela 7.4 - Silvestre et al., 2013)

Perfil	Contraventamento lateral aba superior					
	Inexistente		1/2 Vão		3 pontos	
	// 40 cm	// 60 cm	// 40 cm	// 60 cm	// 40 cm	// 60 cm
C250x2,5	5,21	4,62	7,06	6,32	8,51	7,65

Conforme Tabela 35, a viga de tecto será o perfil C250x2.5 mm, mas será necessário aplicar contraventamento lateral superior em 3 pontos. Na Figura 4.19 apresenta-se a solução estrutural adoptada.

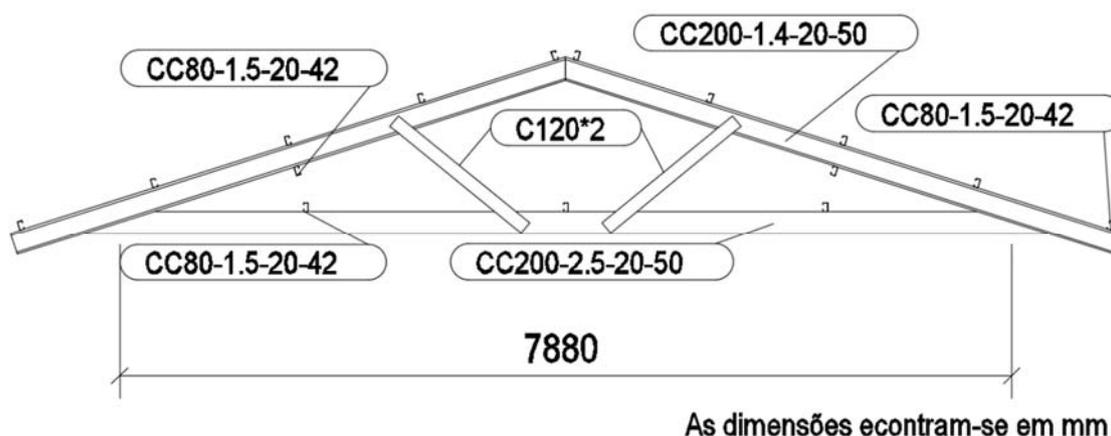


Figura 4.19 – Solução estrutural adoptada.

Tendo em conta a solução adoptada obtém-se um peso total de 4565 kg para a estrutura incluindo madres de suporte, que são em perfil C80x1.5mm.

Apresenta-se na Tabela 36 a composição de custo para colocação de cobertura em LSF, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 36 – Custo total da cobertura em LSF.

Aço S235JRC em madres metálicas, com peças simples de perfis enformados a frio das séries C o Z, galvanizado e colocado em obra por aparafusamento.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço EN 10025 S235JRC, para madre formada por peça simples, em perfis enformados a frio das séries C ou Z, galvanizado, inclusive acessórios, parafusos e elementos de ancoragem.	kg	4565,000	1,43 €	6.527,95 €
Bucha química de fixação.	un.	39,000	6,20 €	241,80 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	164,340	15,31 €	2.516,05 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	164,340	14,91 €	2.450,31 €
Meios auxiliares	%	2,000	11.736,11 €	234,72 €
Custos indirectos	%	3,000	11.736,11 €	352,08 €
Total (vg)				11.970,83 €
Total (m ²)				102,31 €
Total (kg)				2,62 €

4.3.2 Substituição de coberturas por estrutura em Perfis metálicos

Solução em tudo idêntica à abordada na subsecção 4.3.1, com a diferença que os perfis resistentes serão perfis tubulares ocós. Esta solução permite vencer vãos com dimensões bastante grandes, conforme se observa na Figura 4.20, e mantendo-se mesmo assim uma solução económica devido à sua baixa densidade (Campos, 2006).

Esta solução apresenta como principal desvantagem a necessidade de aplicação de protecção anticorrosiva o que encarece a solução relativamente à solução da subsecção 4.3.1.



Figura 4.20 – Aplicação de treliça de cobertura (Quinta do Bomfim).

Para análise de custos assume-se que tal como descrito na subsecção 4.3.1, foram considerados os seguintes parâmetros para dimensionamento:

- Zona B
- Rugosidade II
- $H < 10\text{m}$
- Dimensões da cobertura $7.8\text{m} \times 15\text{m}$
- Localização: Aveiro

Após análise no programa de cálculo estrutural Robot™ Structural Analysis Professional, obteve-se resultados ilustrados na Figura 4.21.

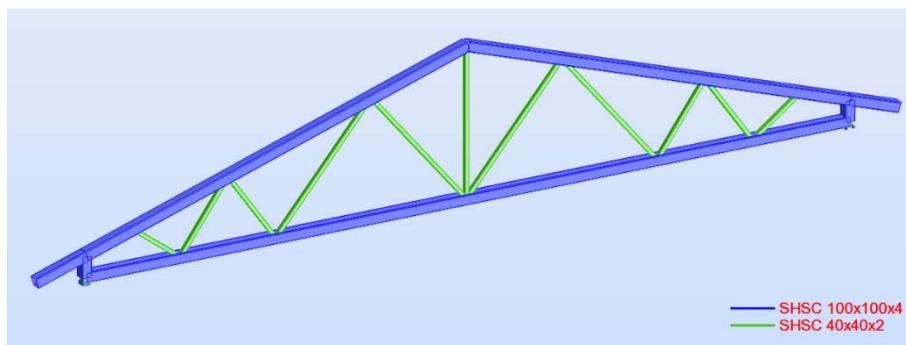


Figura 4.21 – Solução estrutural adoptada para treliça em perfis tubulares

As madres para suporte do revestimento da cobertura aplicadas foram em perfil tubular do tipo RHS 160x80x4.

Tendo em conta a solução adoptada, e sabendo que a cobertura tem uma área de 120m^2 , está associado um peso total de 4023 kg .

Apresenta-se na Tabela 37 a composição de custo para colocação de cobertura em perfis tubulares, sendo a sua pormenorização detalhada apresentada no anexo A.

Tabela 37 – Custo total da cobertura em perfis tubulares.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta de perfis laminados a quente das séries RHS, SHS ou CHS, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de perfis laminados a quente das séries RHS, SHS ou CHS, galvanizado a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra.	kg	4022,900	2,13 €	8.568,78 €
Custo das buchas químicas e respectivos acessórios.	Ud	12,000	6,32 €	75,84 €
Preparação de Superfície	m2	135,230	9,30 €	1.257,64 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	116,664	15,31 €	1.786,13 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	116,664	14,91 €	1.739,46 €
Meios auxiliares	%	20,000	13.427,85 €	2.685,57 €
Custos indirectos	%	3,000	16.113,42 €	483,40 €
Total (vg):				16.596,82 €
Total (m ²):				138,31 €
Total (kg):				4,13 €

4.4. Soluções de reforço – Intervenções globais em chaminés

Com início da revolução Industrial em meados do sec. XVIII em Inglaterra, apareceram uma série de descobertas e avanços tecnológicos que apresentaram um grande impacto económico e social. Todas estas novidades acabaram por aparecer em Portugal promovendo um acentuado desenvolvimento industrial levando ao aparecimento de fábricas e meios de produção.

Toda esta evolução teve um grande impacto a nível social, apresentando também uma grande influência ao nível de arquitectura, pois as novas tecnologias de produção apresentavam novas exigências aos locais onde existiam estas actividades sendo que quer a engenharia, quer a arquitectura, tiveram que dar uma resposta a estes novos desafios.

As chaminés de tijolo maciço apresentam-se como um dos mais valiosos exemplares dessa fase, como o exemplar ilustrado na Figura 4.22. A necessidade de extracção dos fumos produzidos pelas máquinas levou à construção de

chaminés com grande altura que provocam um grande impacto na paisagem envolvente.(Lopes, 2009)



Figura 4.22 – Fábrica de Cerâmica Campos em Aveiro.

A altura destas chaminés é variável, tendo em conta o seu uso, a produção de gases e a necessidade de não incomodar os moradores mais próximos da mesma.

Devido ao abandono destes complexos industriais, muitos destes edifícios encontram-se ao abandono e à degradação natural promovida pela falta de manutenção. Apesar desta situação existem alguns complexos industriais onde é possível encontrar estas proeminentes chaminés. Muitos destes edifícios foram reconvertidos tendo sido transformados em espaços de habitação, cultura, lazer ou de escritório, levando assim a necessidade de reforço das chaminés.

As chaminés apresentam-se como elementos bastante simples do ponto de vista estrutural e geométrico. Por norma têm uma planta circular, podendo em

casos menos comuns apresentar um formato quadrado ou helicoidal em altura, conforme se observa na Figura 4.23 (V. A. M. Lopes, 2009).



Figura 4.23 – Vários formatos de chaminés. (V. A. M. Lopes, 2009)

As chaminés podem ser facilmente divididas em três partes, a base, que está na parte inferior, o fuste de geometria troncocónica que representa a maior parte da estrutura e a coro ou capitel que se encontra na parte superior da estrutura e que apresenta uma função meramente decorativa, conforme se identifica na Figura 4.24 (Lopes, 2009).

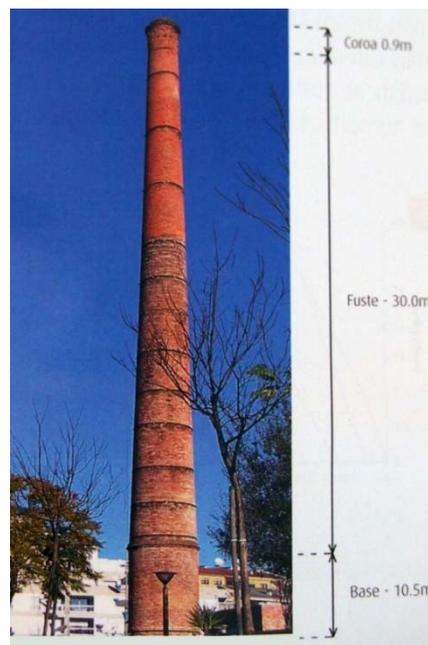


Figura 4.24 – Partes de uma chaminé. (Costa et al., 2014)

Um caso prático de reforço é o de uma chaminé em Ermesinde, que a pedido da Camara Municipal de Valongo, solicitou ao Núcleo de Reabilitação do IC-FEUP um estudo de segurança às acções horizontais de vento e sismo. A solução apresentada para reforço e a avaliação tem como intenção o reforço sísmico da estrutura.

Devido a falta de informação relativa à geometria foi efectuado um levantamento através da tecnologia “Laser Scanning”. Este levantamento foi efectuado quer pelo exterior quer pelo interior da estrutura permitindo a construção de um modelo tridimensional da estrutura e das suas deformações. Esta análise foi complementada por uma análise visual e um conjunto de ensaios que permitiu registar os danos existentes na estrutura, particularmente as fissuras e calibrar o modelo numérico da estrutura.

A altura total da chaminé é de 41.4m, o que demonstra a importância da indústria que servia, pois, o preço de construção destes elementos aumentava exponencialmente com o aumento da altura. As paredes são constituídas por diferentes espessuras, variando conforme a altura, apresentando troços com espessura constante e com alturas diferentes.

A solução de reforço preconizada para esta chaminé, consistiu na introdução de uma escada metálica em formato de helicoidal, colocada no interior da chaminé, apresentando-se esta como uma solução de reforço que permite posteriormente o acesso ao interior da escada para futuras manutenções e inspecções, conforme se ilustra na Figura 4.25 (Costa et al., 2014).

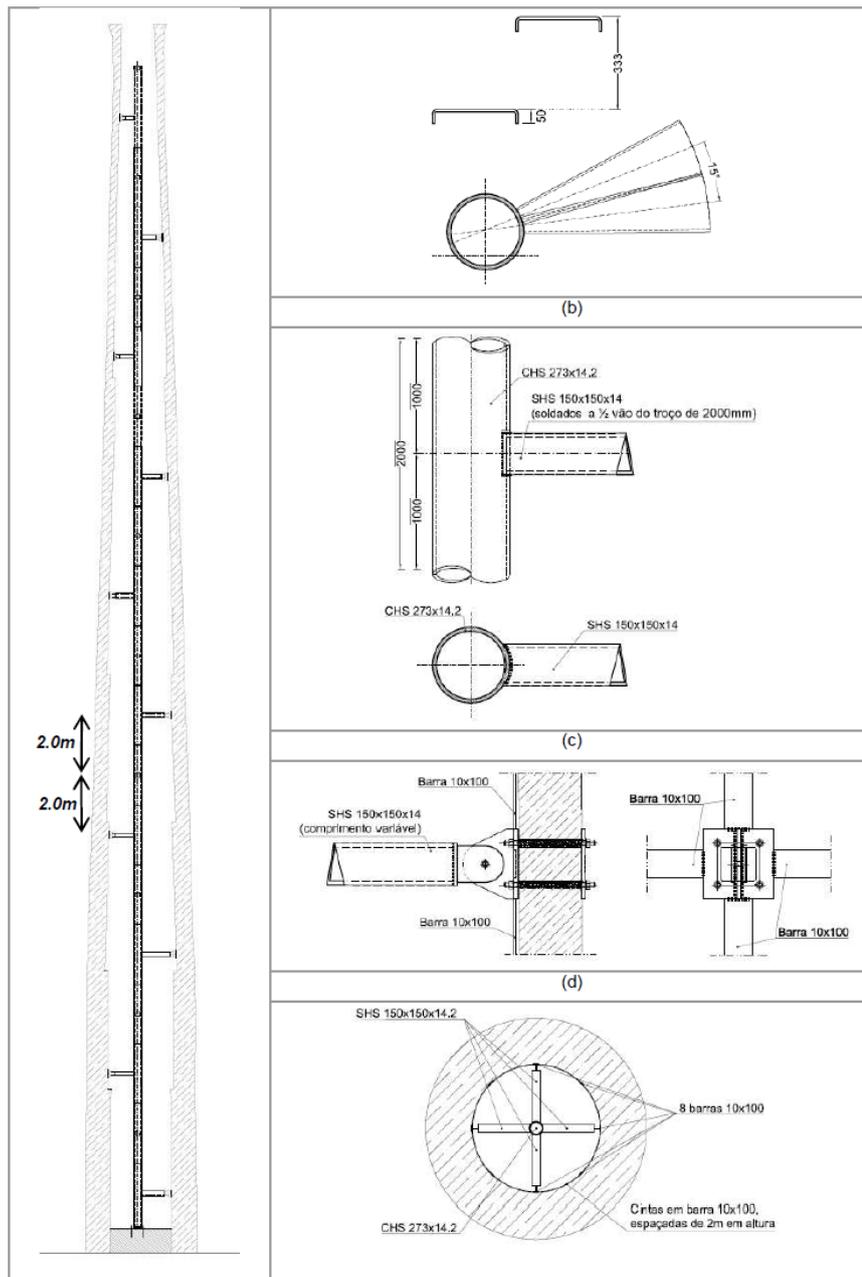


Figura 4.25 – Solução de reforço preconizada. (Costa et al., 2014)

A escada é composta por um pilar central constituído por um perfil tubular, no qual apoiam os degraus em consola e que se encontra ligado à alvenaria por perfis metálicos tubulares quadrados espaçados de dois metros. Foram também aplicadas umas cintas metálicas constituídas por barras metálicas espaçadas de 2m (Costa et al., 2014).

Esta solução permitia uma intervenção reversível e com impacto visual mínimo, podendo ao mesmo tempo ser exequível tendo em conta as dificuldades

que se colocam pelo trabalho ser efectuado pelo interior da chaminé. A estrutura seria executada de forma faseada, em que o tubo central estaria dividido em troços de 2m com os tubos de ligação à chaminé a serem executados por meio de ligações aparafusadas.

Apresenta-se na Tabela 38 a composição de custo reforço global de uma chaminé.

Tabela 38 – Custo total reforço global de uma chaminé.

Aço laminado S275JR (Fe430), em peça composta de perfis laminados a quente das séries RHS, SHS ou CHS, galvanizado a quente, trabalhado em oficina e fixo mecanicamente com parafusos de aço.

Descrição	Ud	Rend.	Preço unitário	Importância
Aço laminado EN 10025 S275JR, em peça composta de perfis laminados a quente das séries RHS, SHS ou CHS, galvanizado a quente, moldando elementos de ancoragem, trabalhado em oficina, fixo em obra.	kg	7050,000	2,13 €	15.016,50 €
Chumbadouros e parafusos	vg.	1,000	375,41 €	375,41 €
Preparação de Superfície	m2	135,230	9,30 €	1.257,64 €
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	204,450	15,31 €	3.130,13 €
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	204,450	14,91 €	3.048,35 €
Meios auxiliares	%	20,000	22.828,03 €	4.565,61 €
Custos indirectos	%	3,000	27.393,64 €	821,81 €
Total (vg):				28.215,45 €
Total (m ²):				235,13 €
Total (kg):				4,00 €

4.5. Análise resumida das soluções

Na sequencia da análise efectuada às soluções apresentadas optou-se por formular uma Tabela, de simples percepção e consulta, que serve de resumo e onde se avaliam elementos importantes na área da reabilitação.

Os paramentos a ser analisados apresentam-se de seguida.

- **Intrusividade** – As soluções de reforço a adoptar devem procurar manter a estrutura e o seu funcionamento o mais inalterado possível, apresentando-se assim como o menos intrusivas possível, sendo sempre mais interessante, segundo este conceito, a reparação à substituição de estruturas de suporte.

- **Reversibilidade** – As soluções devem ser o mais reversíveis possível, para que posteriormente possam ser removidas em caso de assumirem diferentes soluções no futuro.
- **Eficiência** – As soluções apresentam-se tanto mais eficientes quanto menos recursos consumirem e menos custo tiverem. Além dos custos económicos devem ser sempre tidos em consideração os custos ambientais das soluções.
- **Equipamento específico** – A necessidade de equipamento específico para execução da solução é importante pois além de elevar o custo da solução pode aumentar a dificuldade em encontrar executantes para a mesma.
- **Mão-de-obra especializada** – Tal como o equipamento específico a mão-de-obra especializada eleva o custo da solução, mas mais importante é que a falta de profissionais qualificados irá promover a má execução das soluções, podendo acarretar mais problemas.
- **Compatibilidade com o original** – As soluções de reforço e os elementos a reforçar devem ser o mais compatíveis possível quer a nível mecânico quer a nível arquitectónico.
- **Peso** – As soluções a adoptar devem garantir que o peso adicionado à estrutura é o menos possível, para não se gerarem novos problemas estruturais devido ao aumento exagerado sobre as estruturas de suporte.
- **Durabilidade** – As soluções a adoptar para reforço devem sempre garantir um tempo de vida útil sempre superior às soluções originais, sendo aceitável ser menor se a sua substituição for periódica.
- **Manutenção** – As soluções devem ser concedidas de forma a que a manutenção exigida pelas mesmas seja a menor possível, permitindo assim um custo menor durante o tempo de vida útil da estrutura.

Da análise de todas as soluções descritas e em função dos parâmetros descritos anteriormente neste documento originam a Tabela 39.

Tabela 39 – Análise resumida das soluções.

		SOLUÇÃO DE REFORÇO																
LOCAIS	Paredes	A	Tirantes															
		B	Confinamento transversal de paredes															
		C	Aplicação de vigas treliça															
		D	Ligação de paredes ortogonais															
	Pavimentos	E	Chapas ou perfis de reforço															
		F	Coloção de perfil perpendicular à viga															
		G	Coloção de perfil paralelo à viga															
	Coberturas	H	Chapas ou perfis de reforço															
		I	Substituição de perfil de madeira por perfil metálico															
	Chaminés	J	Reforço de chaminés															
GLOBAIS	Paredes	L	Cintagem global dos edifícios															
		M	Reboco armado															
	Pavimentos	N	Substituição de Pavimentos por estrutura LSF															
		O	Substituição de Pavimentos por estrutura em perfis metálicos															
		P	Viga periférica com tarugamento do pavimento															
	Coberturas	Q	Substituição de coberturas por estrutura em LSF															
		R	Substituição de coberturas por estrutura em perfis metálicos															
	Chaminés	R	Reforço de chaminés															
		PARÂMETROS DE ANÁLISE																
1	Intrusividade	2	3	2	3	3	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	
2	Reversibilidade	3	1	1	2	1	1	3	1	2	1	2	2	1	2	2	1	
3	Eficiência	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	2	1	2	1	2	2	
4	Equipamento específico	3	3	3	2	3	3	1	3	1	2	2	2	1	1	2	1	
5	Mão-de-obra especializada	3	3	3	2	3	3	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	
6	Compatibilidade com original	2	3	3	3	3	3	2	1	3	2	3	2	2	1	2	1	
7	Peso	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	
8	Durabilidade	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	
9	Manutenção	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	

BOM	1
MÉDIO	2
FRACO	3
NÃO APLICAVEL	

5. Conclusões, comentários finais e perspectivas de trabalho futuro

5.1. Síntese do trabalho realizado

Este trabalho foi dedicado à análise e sistematização das soluções metálicas aplicadas ao reforço e reabilitação do edificado antigo. Com este objectivo foi executada uma pesquisa exaustiva das soluções de reforço mais comuns aplicadas na reabilitação do edificado antigo em Portugal, identificando as limitações e vantagens, bem como o custo de cada uma das soluções. Foram também detalhadas cada uma das soluções por forma a facilitar a análise de cada uma, permitindo assim uma maior facilidade de compreensão das soluções avaliadas.

Como se descreveu no primeiro capítulo, o trabalho encontra-se organizado em 6 capítulos, abordando duas temáticas principais: i) soluções de reforço local; ii) soluções de reforço global, apresentando-se cada uma destas temáticas subdivididas por quatro elementos principais: i) reforço de paredes; ii) reforço de pavimentos; iii) reforço de coberturas; e por último, iv) reforço de chaminés.

5.2. Conclusões principais

As principais conclusões foram sendo apresentadas em cada capítulo e são resumidas nos subcapítulos seguintes.

5.2.1 Intervenções de reforço local

As soluções de reforço local abordadas no Capítulo 3, apresentam como principais vantagens a baixa a moderada intrusividade, a possibilidade de reversibilidade das soluções, execuções de baixa tecnicidade e de rápida execução, em grande parte devido à pré-fabricação dos reforços, baixa adição de peso nas estruturas de suporte, necessidade de um estaleiro reduzido, fácil integração a nível arquitectónico, bom custo-benefício e não promoverem alterações significativas nas restantes estruturas dos edifícios.

Como principais limitações apresentam a introdução de novos materiais, apesar da manutenção dos originais, a dificuldade da protecção contra a corrosão

e contra o fogo e a dificuldade de compatibilizar a rigidez dos diferentes materiais aplicados.

5.2.2 Intervenções de reforço global

As soluções de reforço globais abordadas no Capítulo 4, apresentam como principais vantagens uma melhoria global do comportamento dos edifícios, moderada intrusividade, possibilidade de reversibilidade das soluções, diminuição das cargas em relação às soluções de reforço mais comuns, reduzido tempo de aplicação em especial devido à pré-fabricação de todos os elementos, necessidade de estaleiro reduzido, facilidade de integração a nível arquitectónico e uma boa relação custo-benefício pois apresentam melhorias claras no comportamento global dos edifícios com um custo moderado.

As principais limitações prendem-se com a dificuldade na protecção contra a corrosão e na protecção ao fogo e com a introdução de novos materiais e remoção das soluções estruturais originais, o que retira autenticidade aos edifícios reabilitados.

5.3. Comentário Final

Com o aumento da actividade da reabilitação, e com a diminuição da actividade da construção nova em Portugal, a reabilitação com recurso a estruturas metálicas apresenta-se como uma oportunidade de mercado que poderá ser explorado pelas empresas de construções metálicas.

A pesquisa efectuada neste trabalho permitiu identificar, detalhar e apresentar custos, limitações e vantagens das principais soluções metálicas de reforço e reabilitação do edificado antigo.

As soluções metálicas, conforme apresentadas, promovem uma melhoria clara do comportamento das estruturas, mas é necessário que quem as idealiza tenha conhecimentos profundos sobre as técnicas de reabilitação e as estruturas metálicas, pois facilmente as soluções de reforço podem causar novos problemas devido a dificuldades de compatibilização de materiais. Assim é de uma grande importância compreender que cada caso deve ser estudado e analisado ao

pormenor para se atingir uma solução óptima e compatibilizada, respeitando a estrutura existente.

Ainda assim as estruturas metálicas apresentam-se como uma solução de reforço, especialmente quando comparadas com as soluções que apresentam um claro aumento de carga sobre as estruturas de suporte existente, nomeadamente as paredes de alvenaria. São, também, muito interessantes em casos em que as soluções de reforço com recurso aos materiais originais não são possíveis, quer pelo seu elevado custo, quer pela inexistência desses materiais.

5.4. Perspectiva de trabalho futuro

Na sequência deste trabalho, identificam-se diversas linhas de desenvolvimento futuro. Indicam-se de seguida, a possibilidade de trabalhos a desenvolver:

- Comparação dos custos de cada solução de reforço com estruturas metálicas com as soluções mais correntes de reabilitação.
- Desenvolvimento de modelos de cálculo para as soluções apresentadas;
- Desenvolvimento de programas de cálculo para soluções de reforço local com estruturas metálicas;
- Aplicação das soluções apresentadas de modo a comprovar os benefícios e durabilidade das soluções com monitorização;
- Análise do comportamento das estruturas de suporte quando aplicados reforços metálicos comparando com os reforços convencionais;
- Criação de regras e linhas orientadoras, para apoio ao projecto de reforços com estruturas metálicas;
- Criação de uma biblioteca de soluções e detalhes e pormenores construtivos.

6. Referências bibliográficas

- Almeida, N., & Faria, P. (2008). TÓPICO 4 – Património Histórico. In Soluções Construtivas para Pavimentos e Coberturas em Edifícios Antigos. Aveiro: CINPAR.
- Appleton, J. (2003). Reabilitação de edifícios antigos - Patologias e tecnologias de intervenção. (1.ª Edição). Amadora: Edições Orion.
- Arriaga, F. (2002). Intervencion en Estructuras de Madera. (AITIM, Ed.). Madrid.
- Azevedo, H. D. de S. (2010). REFORÇO DE ESTRUTURAS DE ALVENARIA DE PEDRA, TAIPA E ADOBE COM ELEMENTOS DE MADEIRA MACIÇA. FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO.
- Baião, M., Lúcio, V., Pinho, F., & Coelho, A. (2012). Aspetos da reabilitação de edifícios antigos de alvenaria. Conferência Internacional Sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria, 47–62.
- Barros, R. (2005). Reforço Sísmico de Estruturas de Alvenaria com Elementos Metálicos. Universidade Fernando Pessoa.
- Barros, R. S., Guerra, J., Varum, H., & Oliveira, D. V. (2008). TEMA III – Procedimentos Reforço sísmico de estruturas de alvenaria com recurso a elementos metálicos. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10773/8243>
- Branco, J. M. (2014). Reforço de elementos existentes de madeira. In Seminário Intervir em construções existentes de madeira (pp. 71–86).
- Campos, L. (2006). Técnicas de recuperação e reforço estrutural com estruturas de aço. UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.
- Carneiro, F. (2012). REFORÇO DE VIGAS DE MADEIRA COM ELEMENTOS DE AÇO EM OBRAS DE REABILITAÇÃO. FACULDADE DE ENGENHARIA DO PORTO.
- CIN. (2013). Protecção Anticorrosiva De Estruturas De Aço. GUIA DE ESQUEMAS DE PINTURA SEGUNDO EN ISO 12944-5:2007, (0), 1–5.
- Codices, M. J. da R. (2015). Viabilidade do reforço sísmico de um edifício de pequeno porte em alvenaria de pedra ordinária. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA. Retrieved from

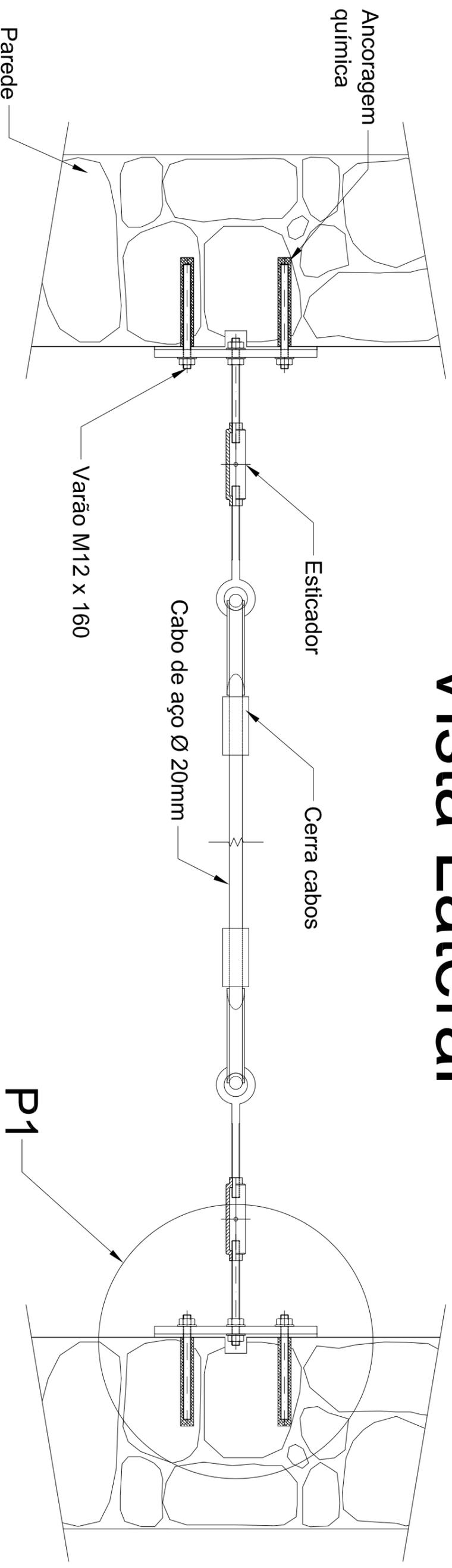
- <http://repositorio.ipl.pt///handle/10400.21/4470>
- Cóias, V. (2007). Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos - Alvenaria, Madeira - Técnicas pouco intrusivas. Ed. Argumentum & Gecorpa, Lisbon, Portugal (in Portuguese).
- Costa, A. (2012). Reforço Sísmico de paredes portantes de alvenaria. Caracterização experimental de soluções variantes de reboco armado.
- Costa, A., Arêde, A., Paupérino, E., & Romão, X. (2014). REABILITAÇÃO ESTRUTURAL – Casos Práticos de Intervenção em Estruturas Patrimoniais. (IC/FEUP, Ed.) (1ª Edição). Porto.
- Costa, F. (1955). Enciclopédia prática da construção civil. (P. Editora, Ed.). Lisboa.
- Cruz, R. (2008). SISTEMAS DE SUPORTE DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS EM DEMOLIÇÃO. IST.
- EN1993-1-1. (2010). Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço Parte 1-1: regras gerais e regras para edifícios.
- F. Arriaga; F. Peraza; M. Esteban; I. Bobadilla; F. García. (2002). Intervención en estructuras de madera. (AITIM, Ed.). Madrid.
- Faria, P., & Chastre, C. (2015). VISÃO INTEGRADA DA REABILITAÇÃO. Seminário Paredes de Alvenaria.
- Ferreira, N. (2009). Técnicas de ligação pavimento/paredes em reabilitação de edifícios antigos. FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO.
- Futureng. (2011). <http://www.futureng.pt/portfolio:reabilitacao-edificio-leca-palmeira>.
- Ilharco, T. (2008). Pavimentos de madeira em edifícios antigos . Diagnóstico e intervenção estrutural. Universidade do Porto.
- Ilharco, T., Paupérino, E., Guedes, J., & Costa, A. (2010). Sustainable interventions: Rehabilitation of old timber structures with traditional materials. Sb10Mad.Com, (1), 1–12. Retrieved from <http://www.sb10mad.com/ponencias/archivos/b/B019.pdf>
- Ivorra, S. (2014). Old Industrial Masonry Chimneys : Repairing and Maintenance. 9th International Conference on Structural Analysis of Historical

- Constructions, 13.
- Lopes, M. (2007). TIPIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EM COBERTURAS DE EDIFÍCIOS. FEUP.
- Lopes, M. (2008). Sismos e Edifícios. (E. ORION, Ed.).
- Lopes, V. A. M. (2009). Identificação Mecânica e Avaliação do Comportamento Sísmico de Chaminés em Alvenaria. FEUP.
- Mateus, L. (2015, June). A reabilitação e reforço de ligações em estruturas antigas - As soluções emergentes. A Abordagem e a qualificação para executar. Seminário Paredes de Alvenaria, 31–40.
- Mesquita, L. M. R., Piloto, P. A. G., Vaz, M. A. P., & Real, P. M. M. V. (2005). Comportamento de vigas em aço protegidas com tinta intumescente. In V congresso de construção metálica e mista.
- Modena, C., Casarin, F., da Porto, F., Garbin, E., Mazzon, N., Munari, M., ... Valluzzi, M. R. (2009). Structural interventions on historical masonry buildings: Review of Eurocode 8 provisions in the light of the Italian experience. Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, 225–236.
- Moraes, C. (2009). INTERVENÇÕES METÁLICAS EM CONSTRUÇÕES PREEXISTENTES: ESTUDOS DE CASO DE INTERFACES. Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas.
- Moreira, H. (2012). Utilização de Perfis Enformados a Frio em Obras de Reabilitação. Técnico Lisboa.
- Pallaré, S. F. J. F. J., Ivorra, S., Pallarés, L., & Adam, J. (2010). Strengthening Layout Using FRP in Industrial Masonry Chimneys under Earthquake Load. Advanced Materials Research, 133-134, 855–859.
<http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.133-134.855>
- Planirest.pt. (n.d.). Tirante passivo. Retrieved from <http://www.planirest.pt/reforc-os-estruturais/>
- Rodrigues, J. M. V. (2010). Principais técnicas de consolidação e reforço de paredes de edifícios antigos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Roque, J. C. A. (2002). REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE PAREDES ANTIGAS DE ALVENARIA. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

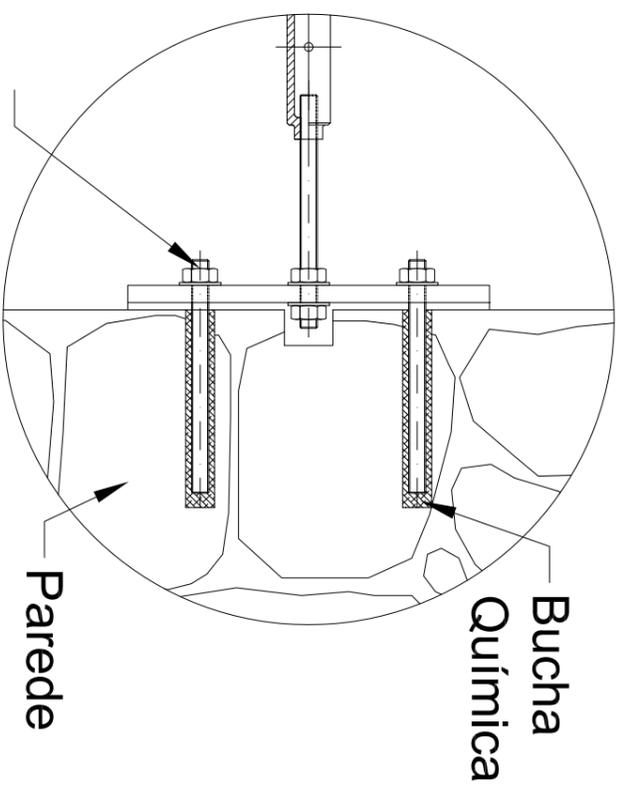
- Santos, F., & Silva, L. S. da. (2011). Manual de Execução de Estruturas Metálicas. (CMM, Ed.). Coimbra.
- Silvestre, N., Pires, J., & Santos, A. (2013). Conceção de estruturas e edifícios em LSF.
- Simões, R. A. D. (2005). Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas. (CMM, Ed.).
- TEKLA. (2016). AL AIN HOSPITAL. Retrieved June 21, 2016, from <http://www.tekla.com/ae/bim-awards/al-ain-hospital>
- Teobaldo, I. (2004). ESTUDO DO AÇO COMO OBJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÕES ANTIGAS. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS.
- wikipedia. (2016). The Iron Bridge. Retrieved June 21, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/The_Iron_Bridge

Anexo A

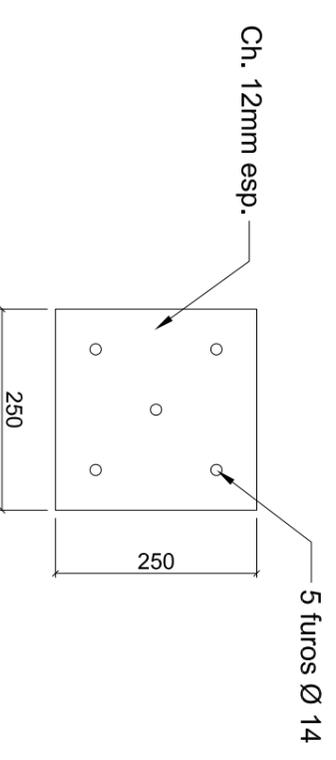
Vista Lateral



Pormenor P1



Chapa de ancoragem



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



SOLUÇÃO:

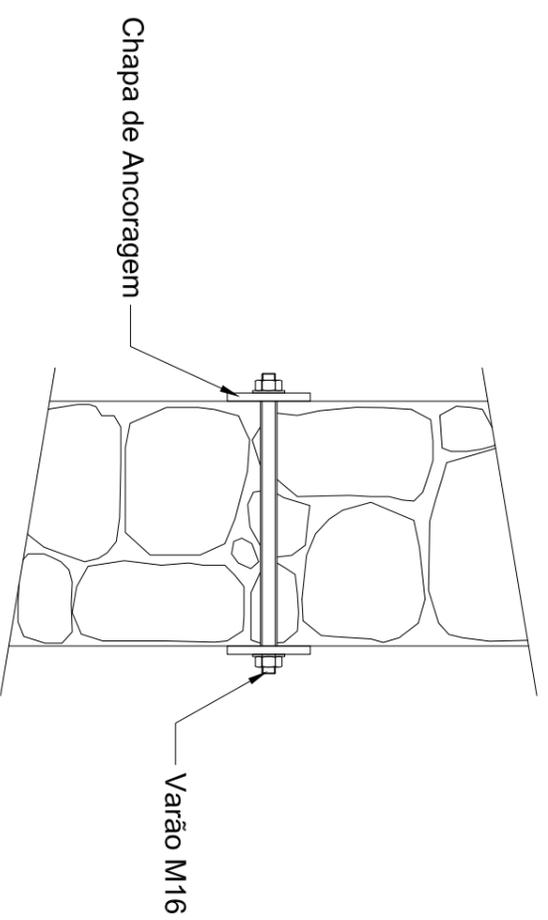
3.1.1 – TIRANTES – SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm

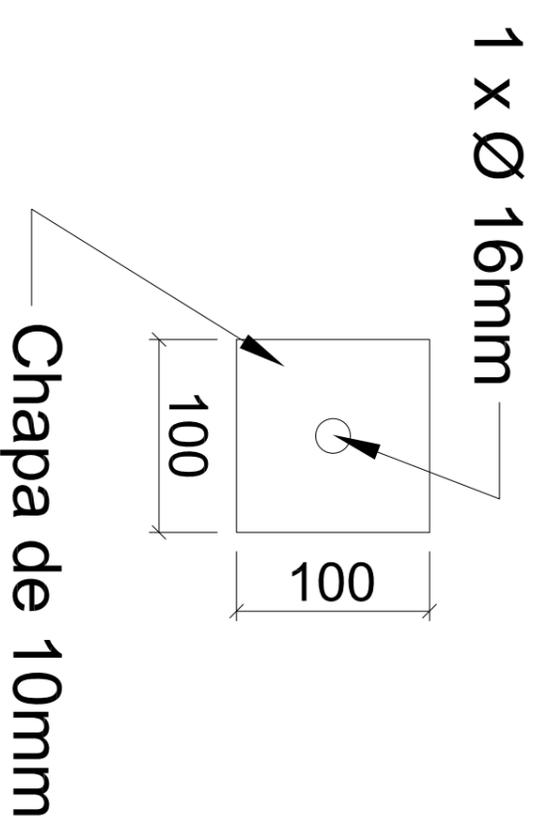
Sem escala

DATA: JUL 2016

Vista em Corte



Chapa de ancoragem



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



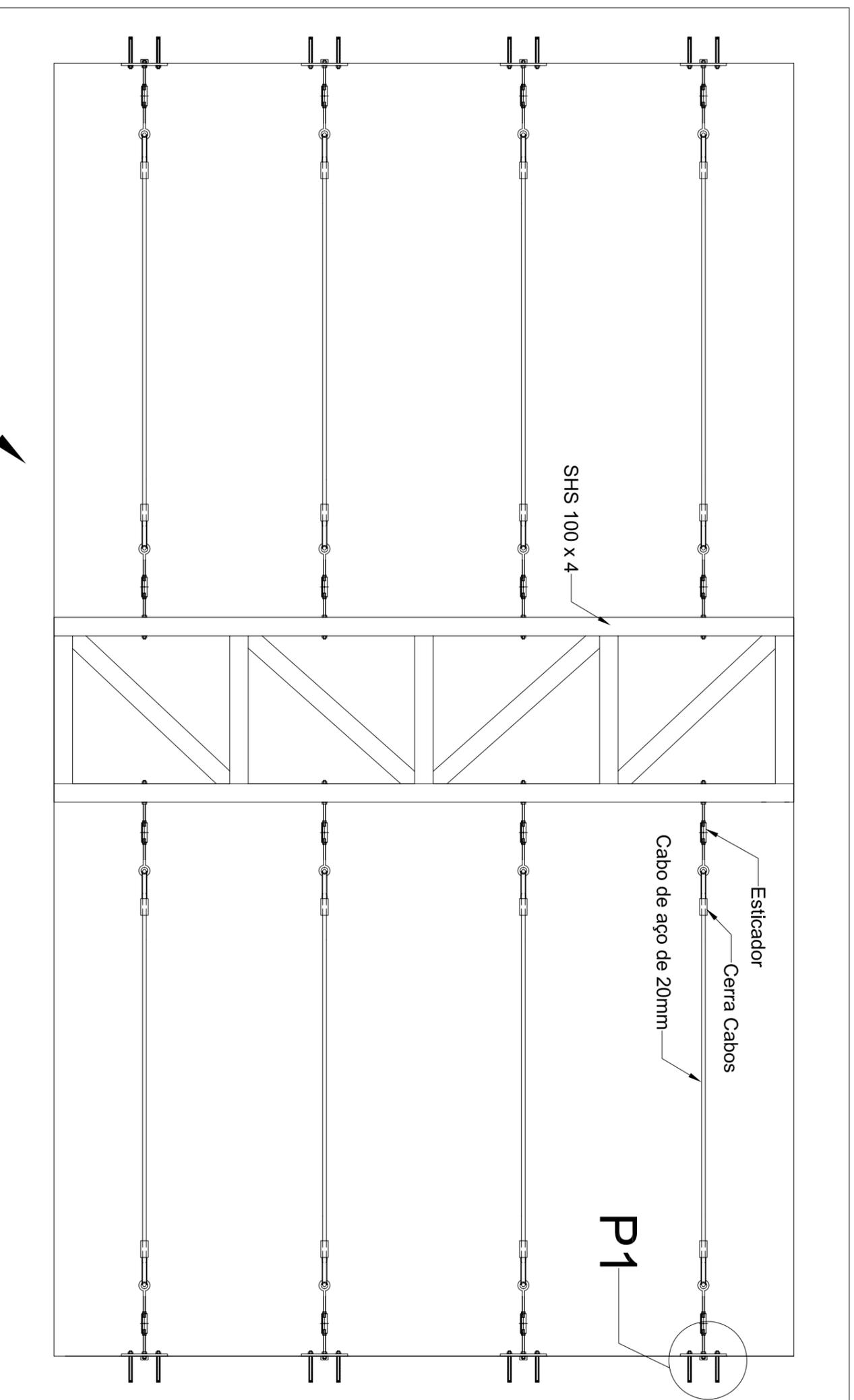
SOLUÇÃO:

3.1.2 – CONFINAMENTO TRANSVERSAL DE PAREDES
– SOLUÇÃO E PORMENORES

*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

VISTA EM PLANTA



PAREDE

O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



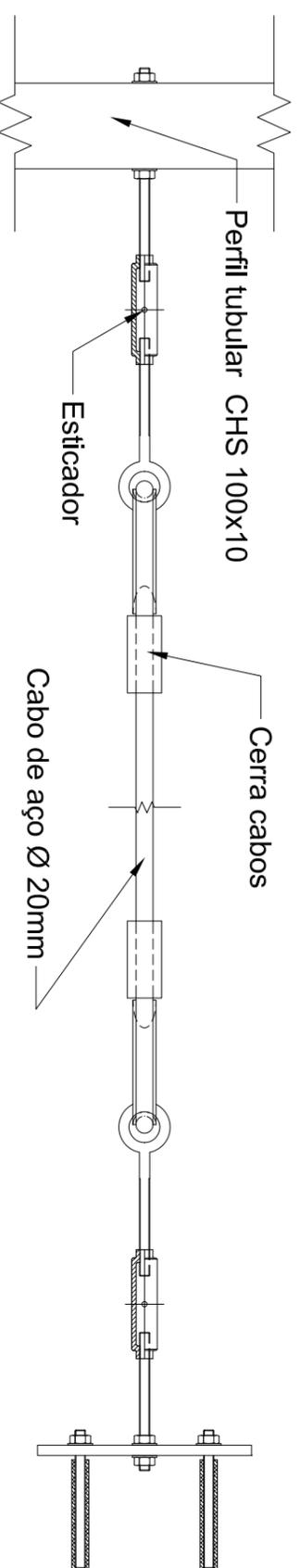
SOLUÇÃO:

3.1.3 – APLICAÇÃO DE VIGAS TRELIÇA –
SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm
Sem escala

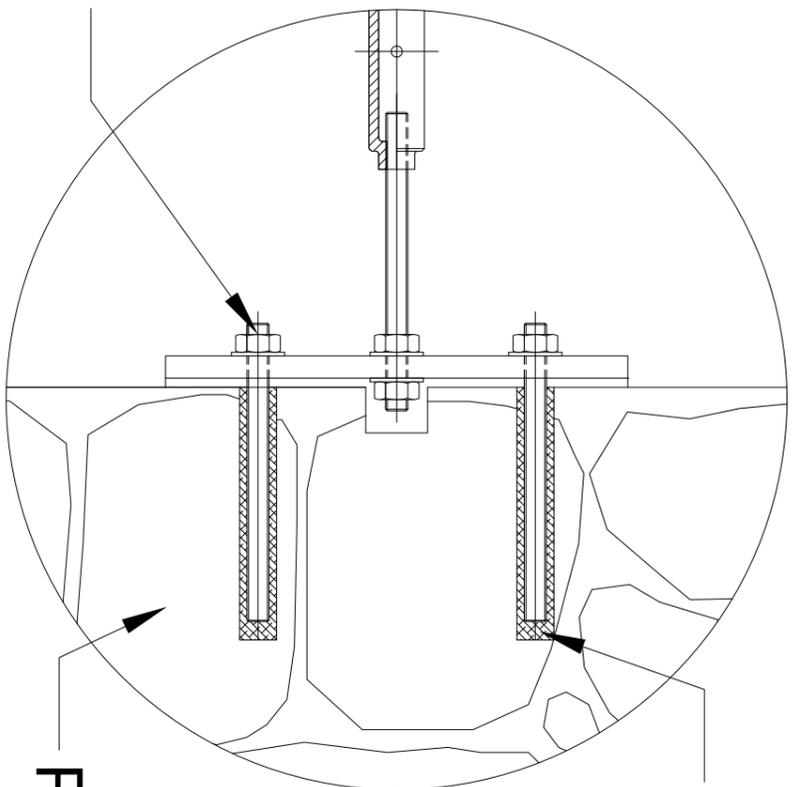
DATA: JUL 2016

Vista Lateral



Pormenor P1

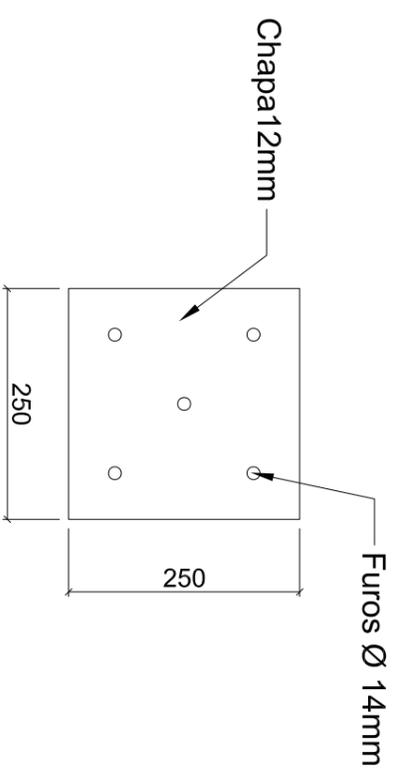
Chapa de ancoragem



Buchha Química

Parede

Varão M12 x 160



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO	André Campos
---	--------------

SOLUÇÃO:

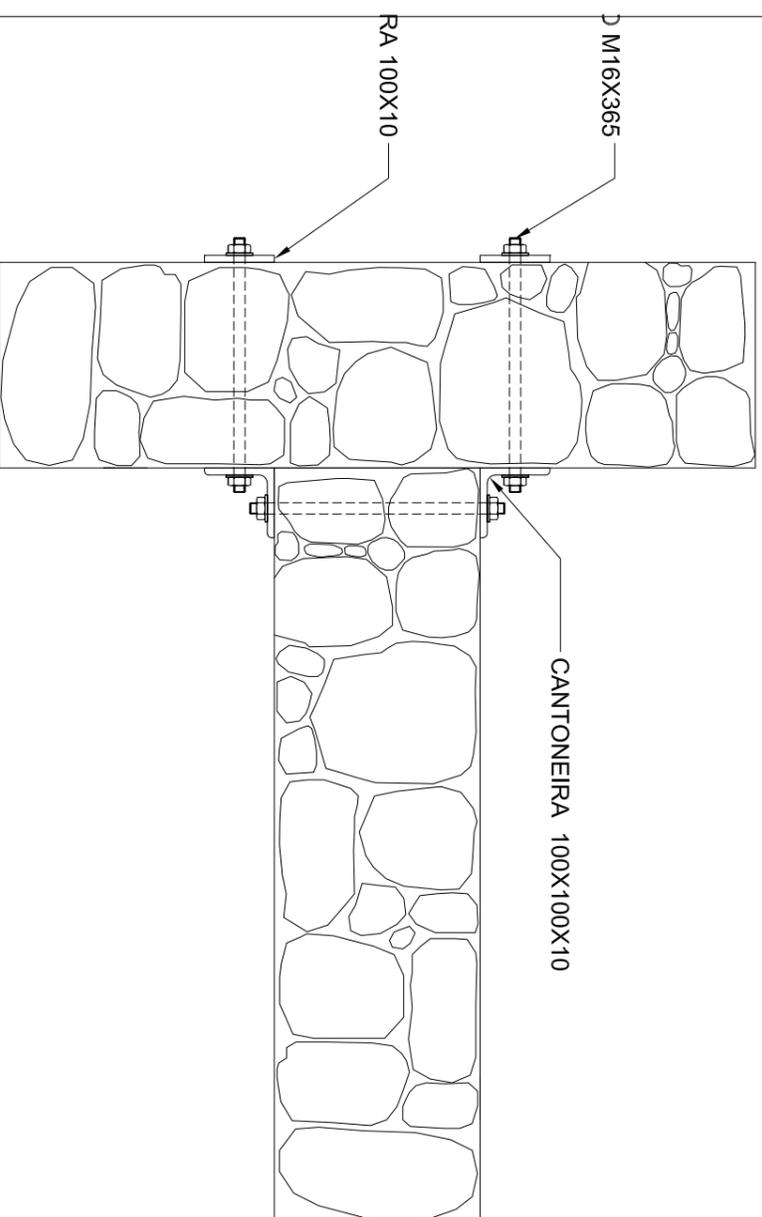
3.1.3 – APLICAÇÃO DE VIGAS TRELIÇA –
SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm
Sem escala

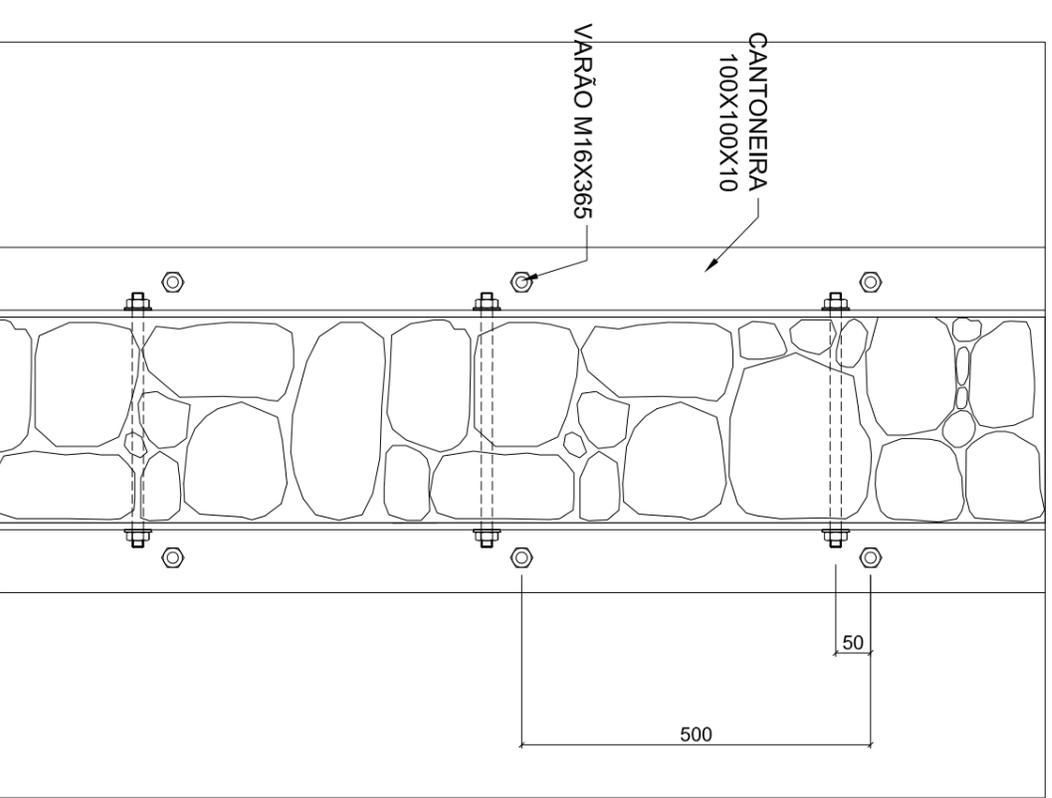


DATA: JUL 2016

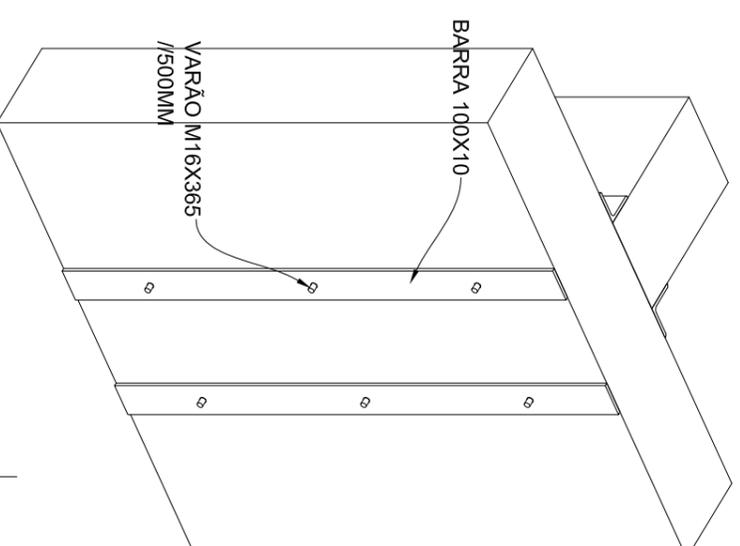
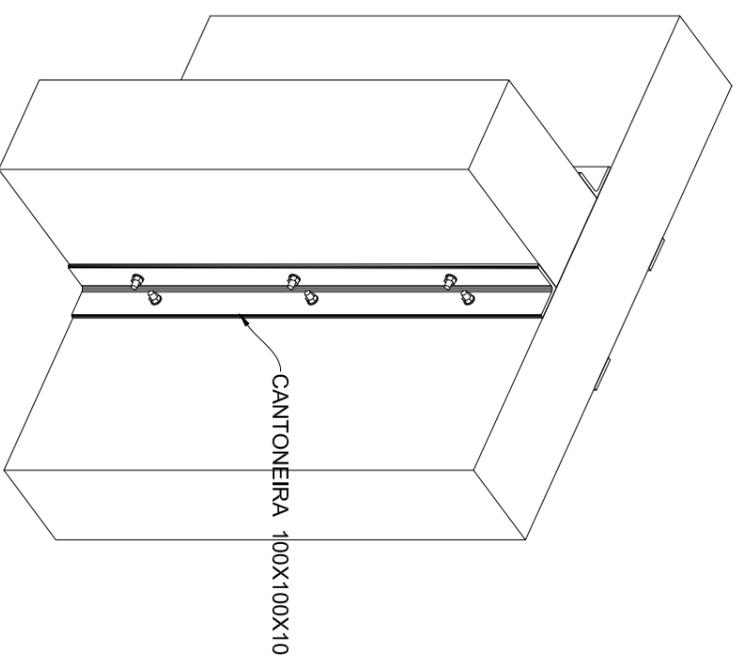
Vista Planta



Alçado



Perspectivas axonométrica



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



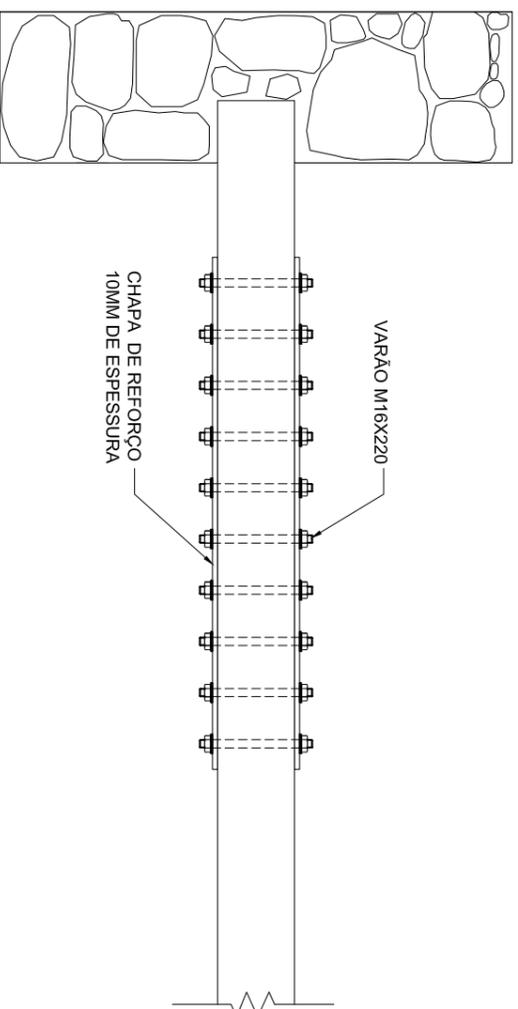
SOLUÇÃO:

3.1.4 – REFORÇO LIGAÇÃO DE PAREDES ORTOGONAIS –
SOLUÇÃO E PORMENORES

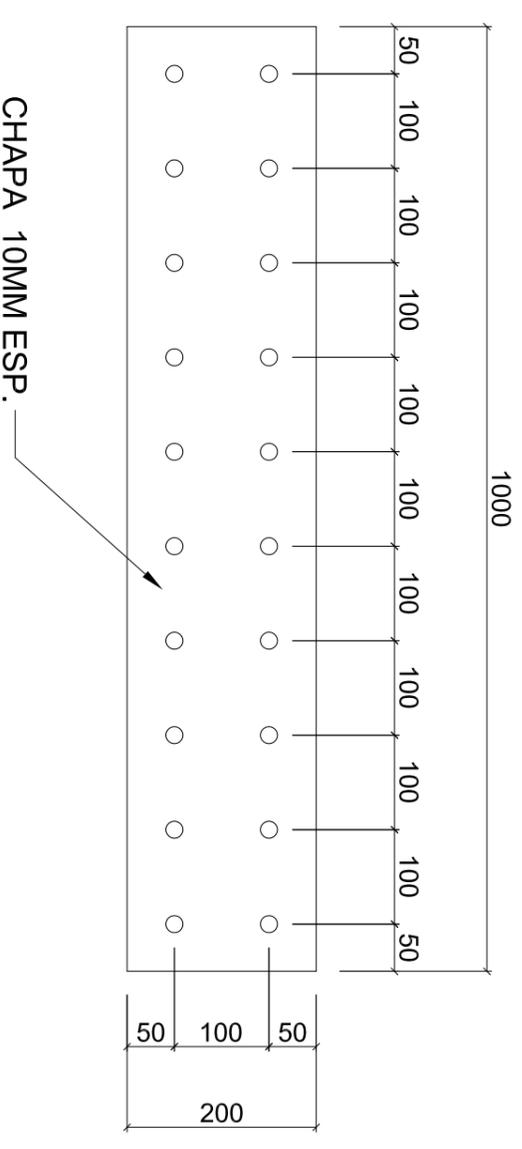
*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

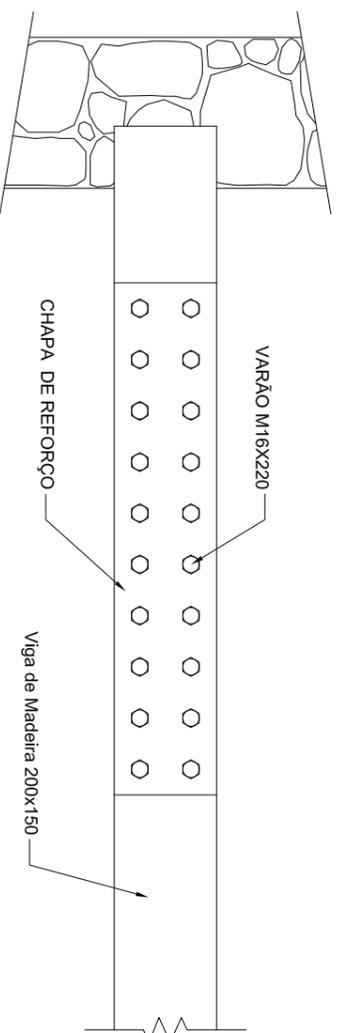
Vista Planta



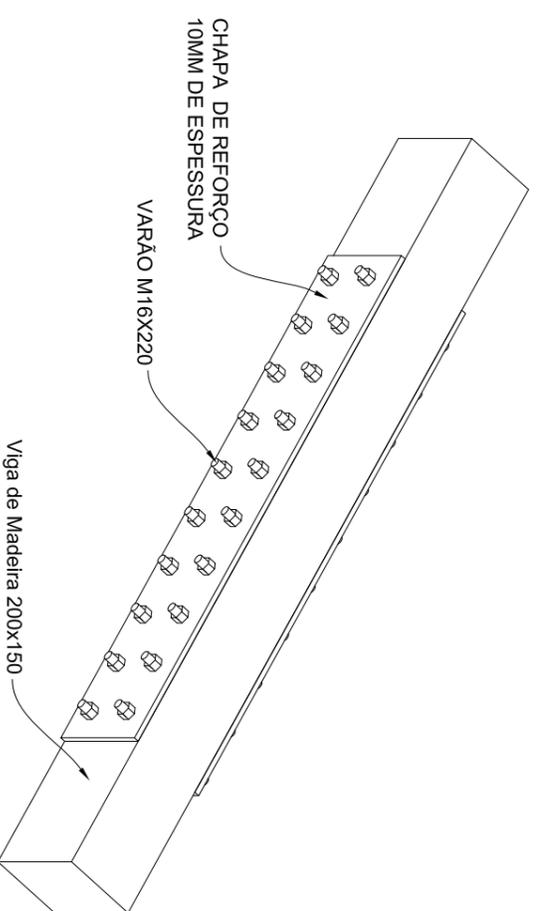
Chapa de Reforço



Vista Lateral



Perspectiva axonométrica



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



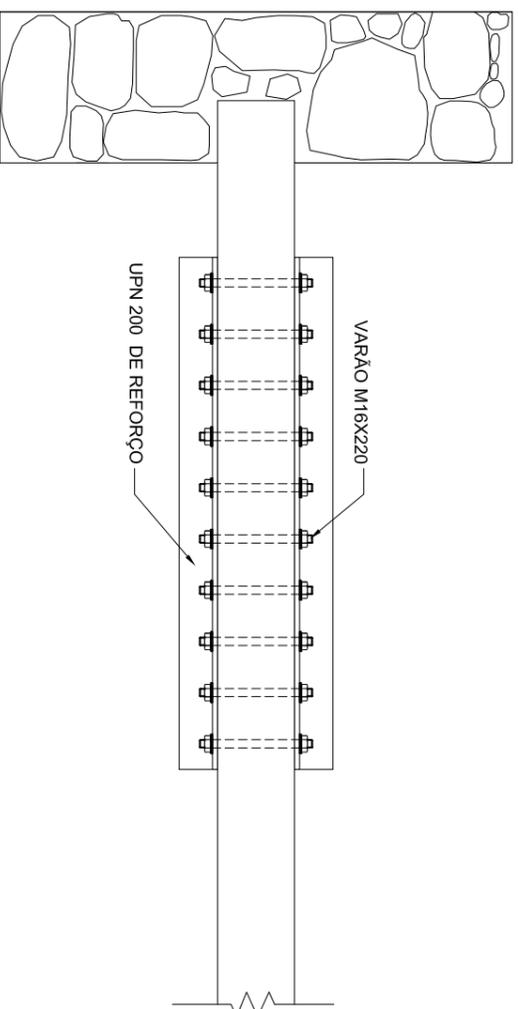
SOLUÇÃO:

3.2.1 – REFORÇO PAVIMENTO COM CHAPAS –
SOLUÇÃO E PORMENORES

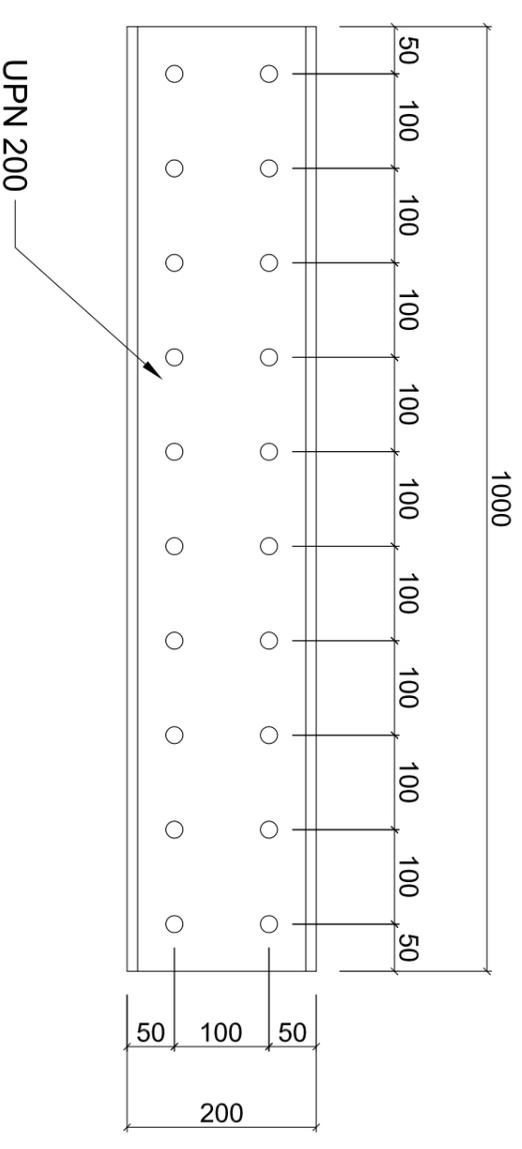
Dimensões em mm
Sem escala

DATA: JUL 2016

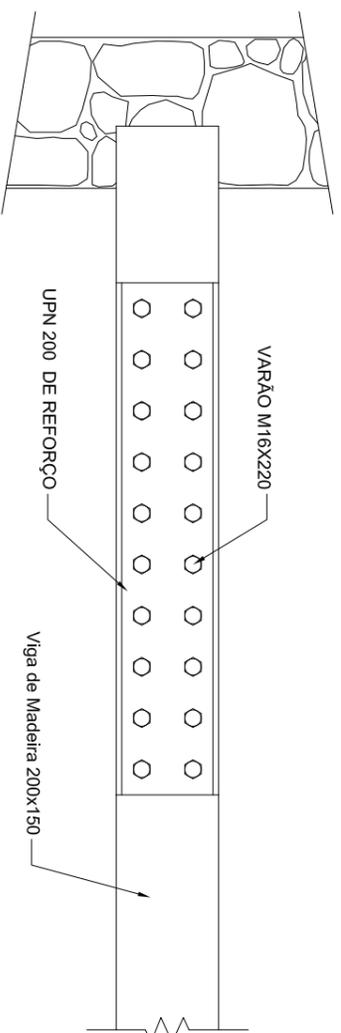
Vista Planta



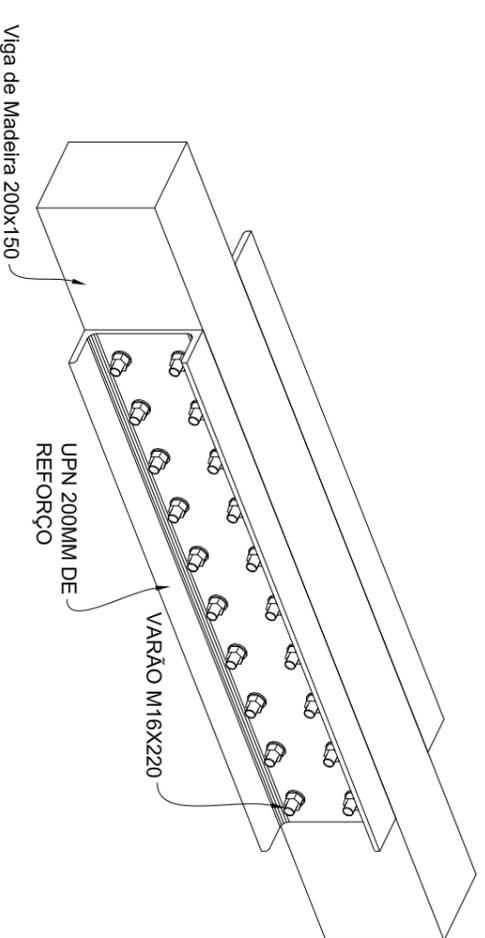
UPN 200 de Reforço



Vista Lateral



Perspectiva axonométrica



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



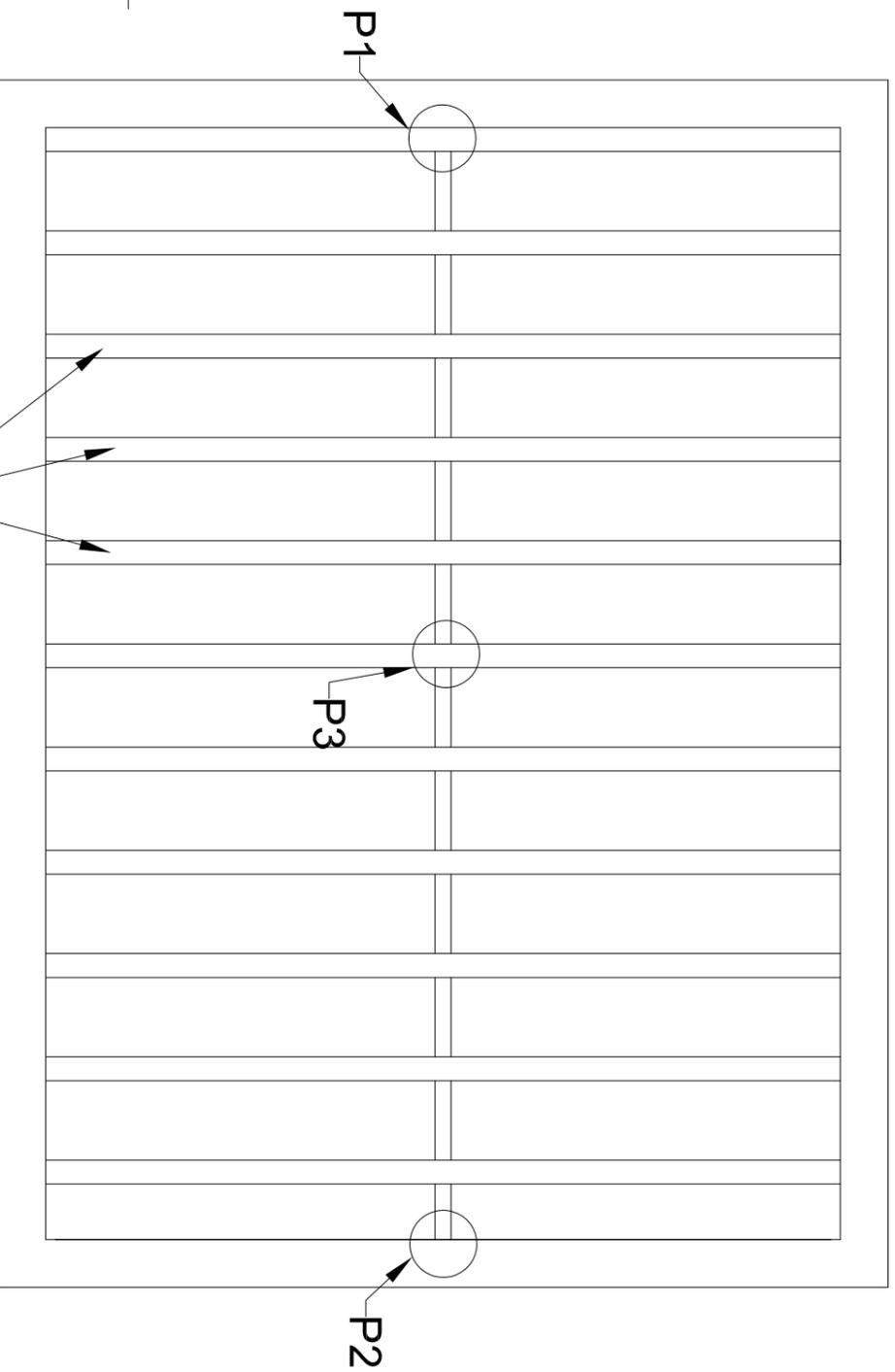
SOLUÇÃO:

3.2.1 – REFORÇO PAVIMENTO COM PERFIS –
SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm
Sem escala

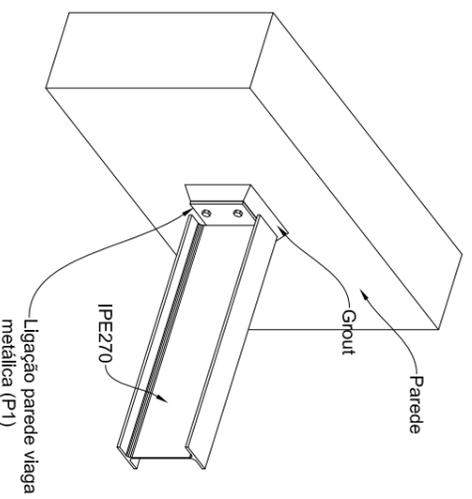
DATA: JUL 2016

PLANTA DA LAJE



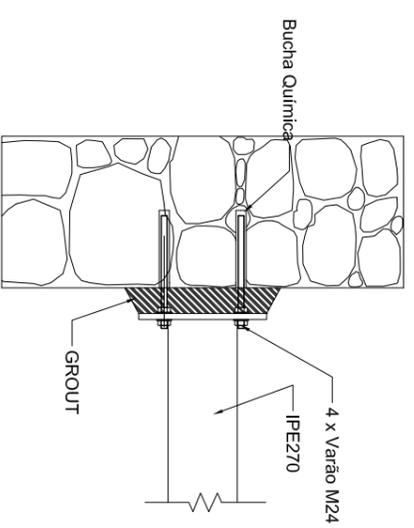
Pormenor P1

Perspectiva axonométrica



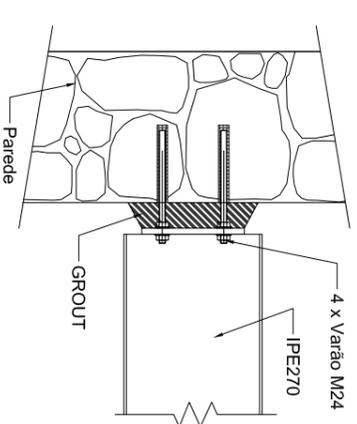
Pormenor P1

LIGAÇÃO COM PAREDE
VISTA EM PLANTA



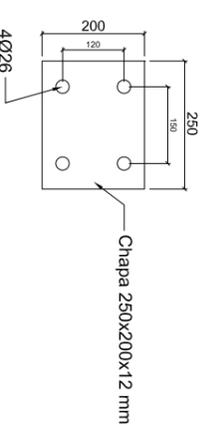
Pormenor P1

LIGAÇÃO COM PAREDE
VISTA LATERAL



Pormenor P1

CHAPA DE ANCORAGEM



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



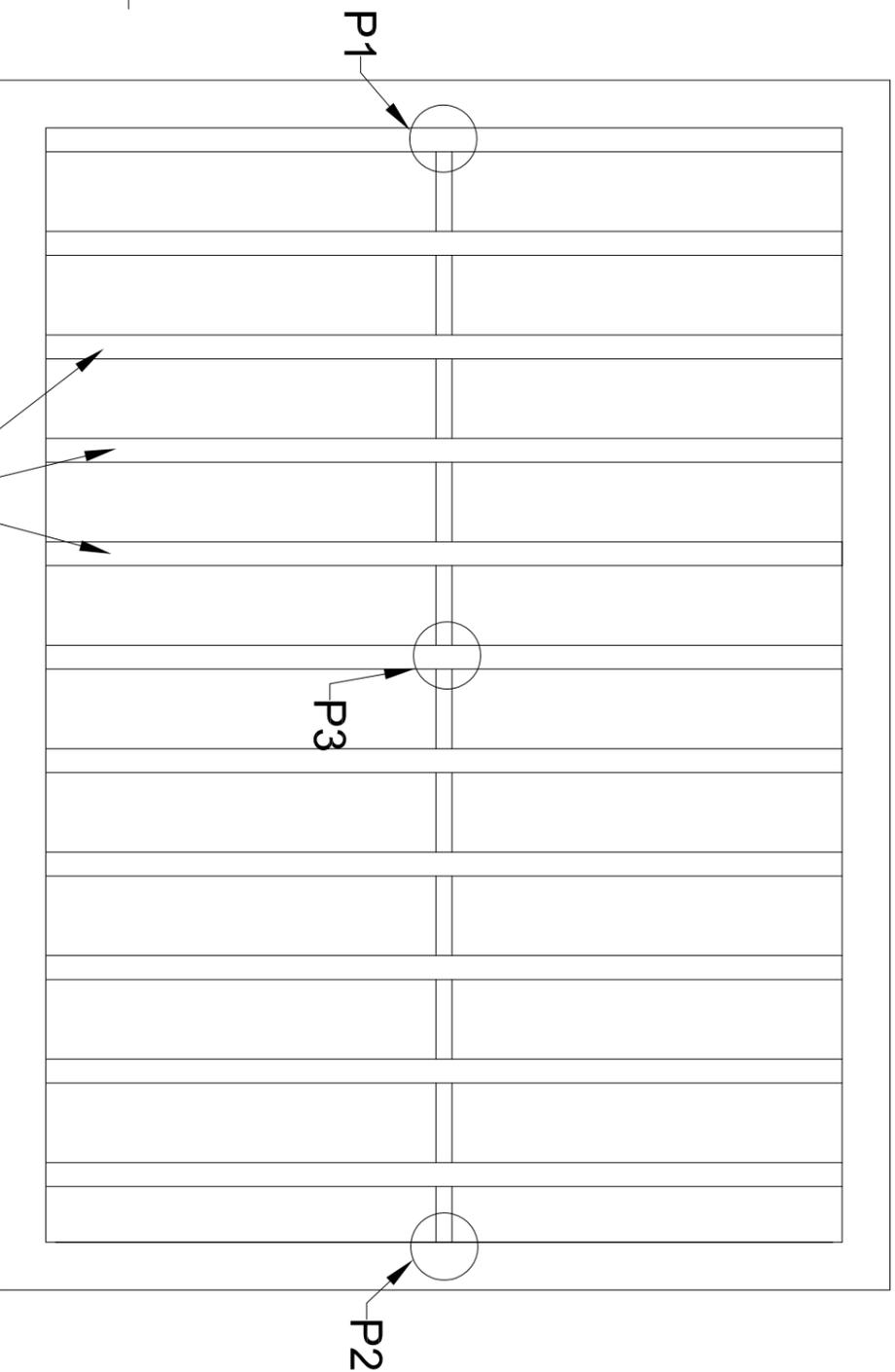
SOLUÇÃO:

3.2.2 – COLOCAÇÃO DE PERFIL PERPENDICULAR À VIGA
– SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm
Sem escala

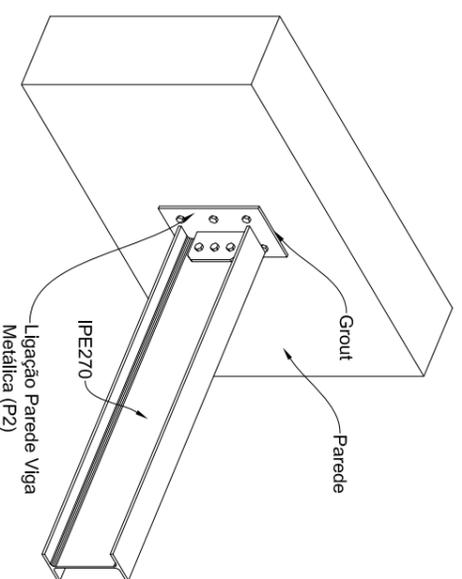
DATA: JUL 2016

PLANTA DA LAJE



Pormenor P2

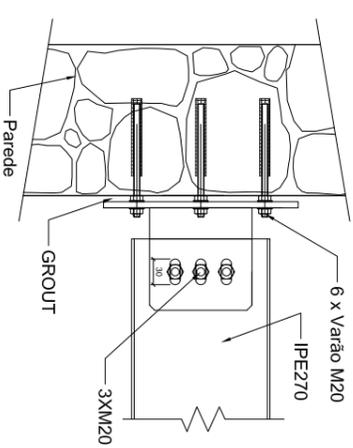
Perspectiva axonométrica



Pormenor P2

LIGAÇÃO COM PAREDE

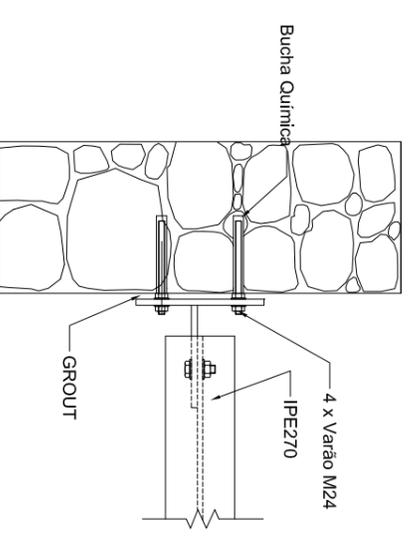
VISTA LATERAL



Pormenor P2

LIGAÇÃO COM PAREDE

VISTA EM PLANTA

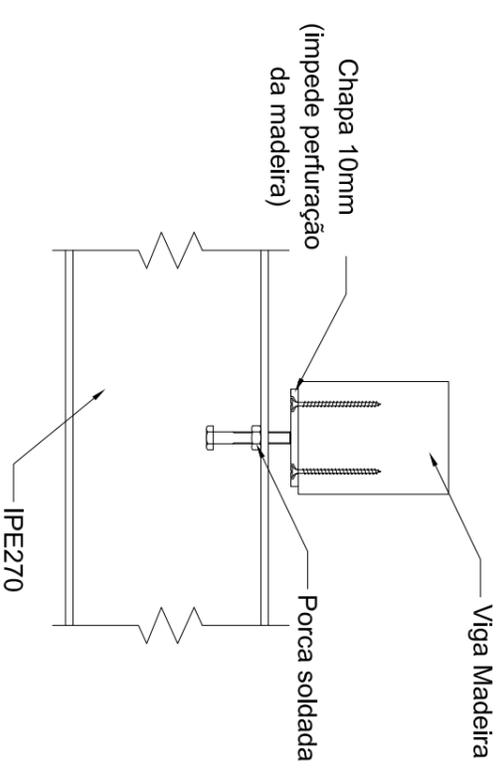


Pormenor P3

LIGAÇÃO VIGA MADEIRA / VIGA METÁLICA

Sistema de ajuste para colocar vigas em carga

VISTA LATERAL



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



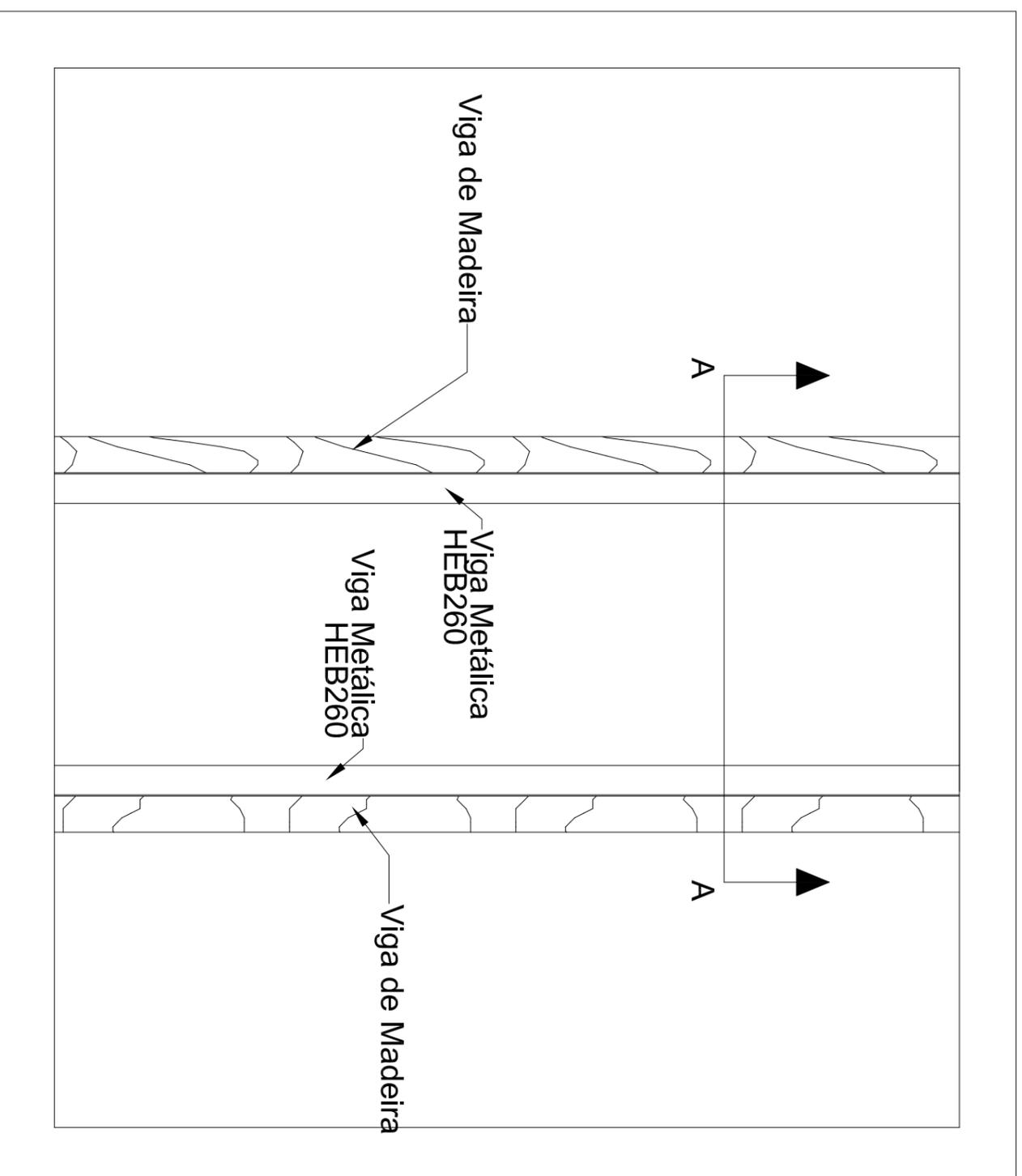
SOLUÇÃO:

3.2.2 – COLOCAÇÃO DE PERFIL PERPENDICULAR À VIGA
– SOLUÇÃO E PORMENORES

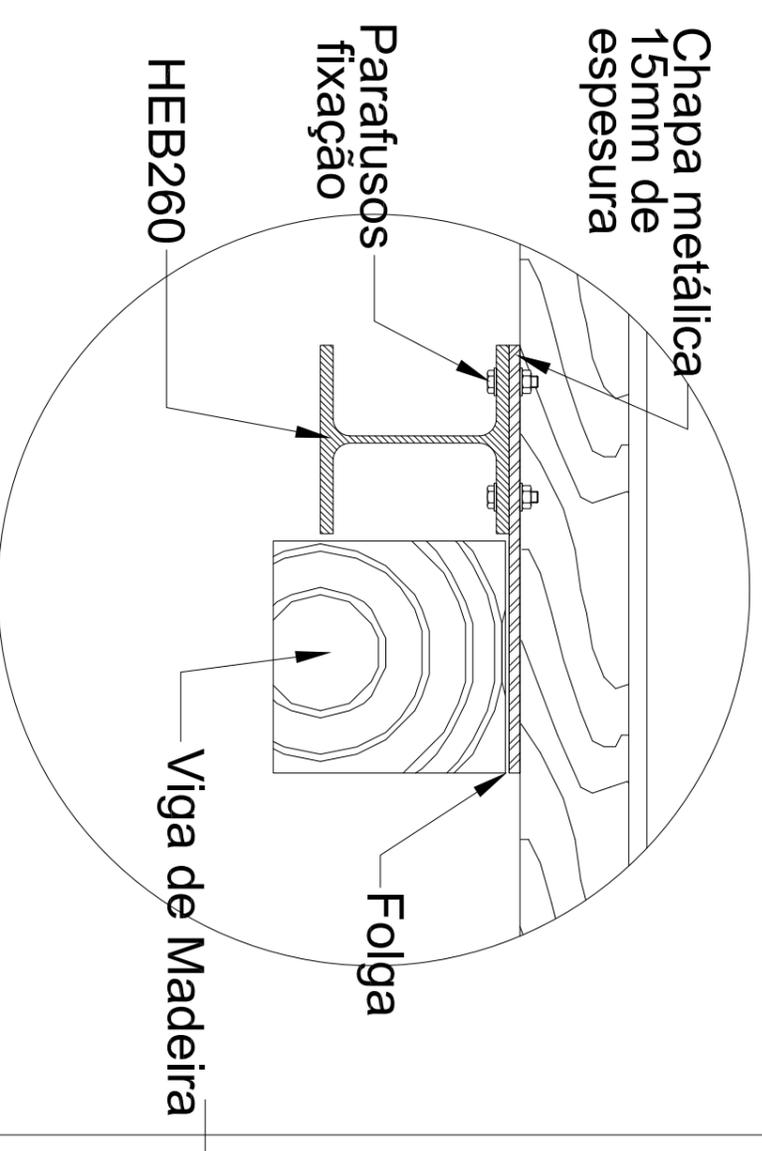
Dimensões em mm
Sem escala

DATA: JUL 2016

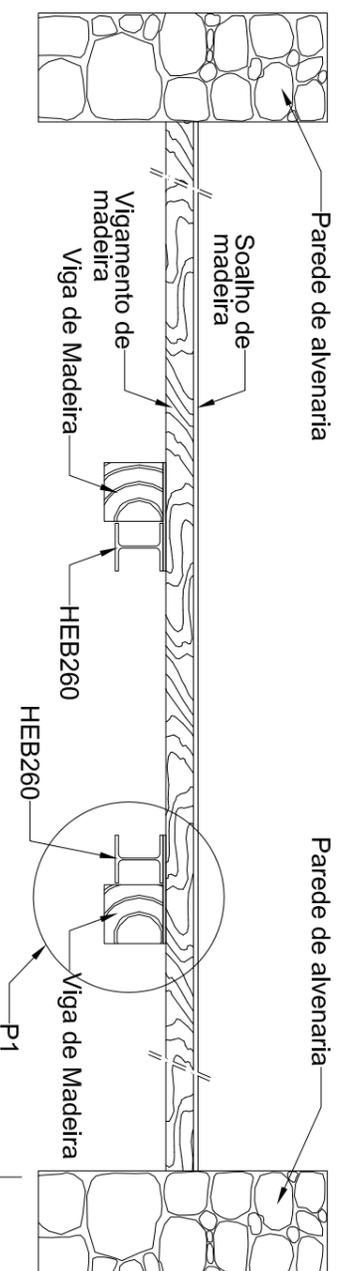
PLANTA



Pormenor P1



CORTE AA



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO ANTIGO

André Campos

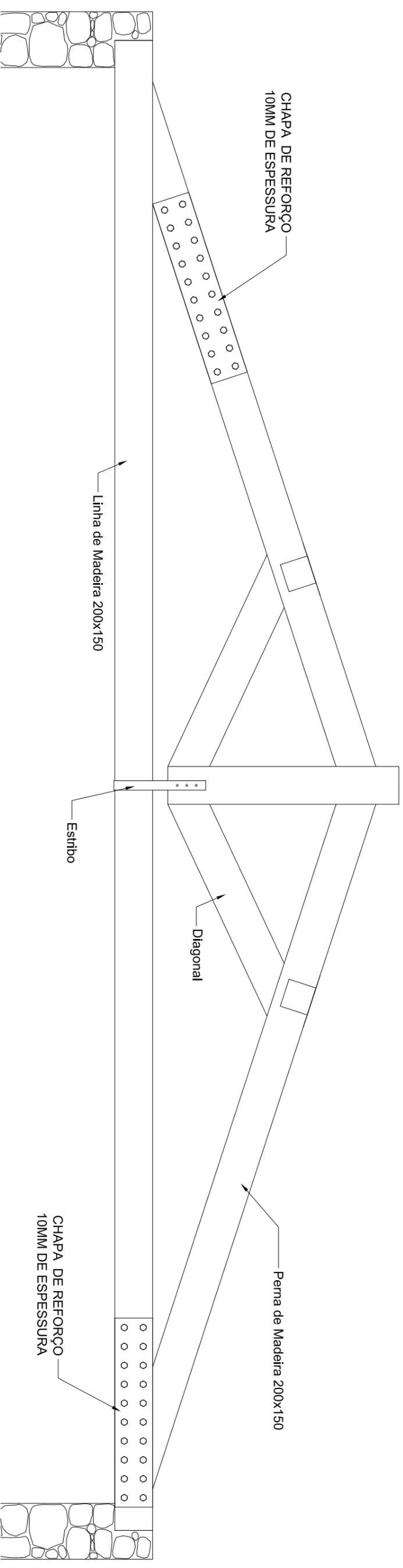


SOLUÇÃO:

3.2.3 – COLOCAÇÃO DE PERFIL PARALELO À VIGA
– SOLUÇÃO E PORMENORES

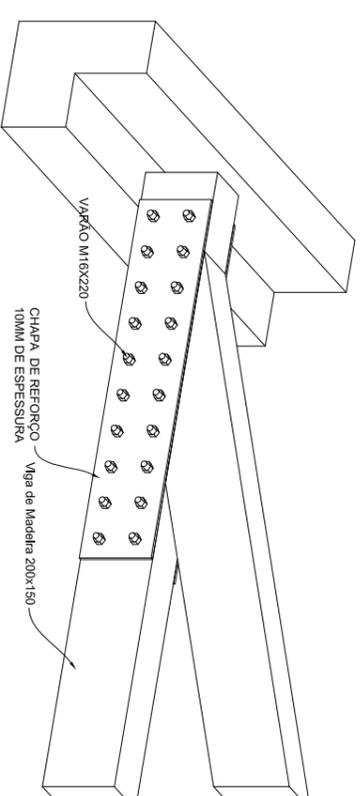
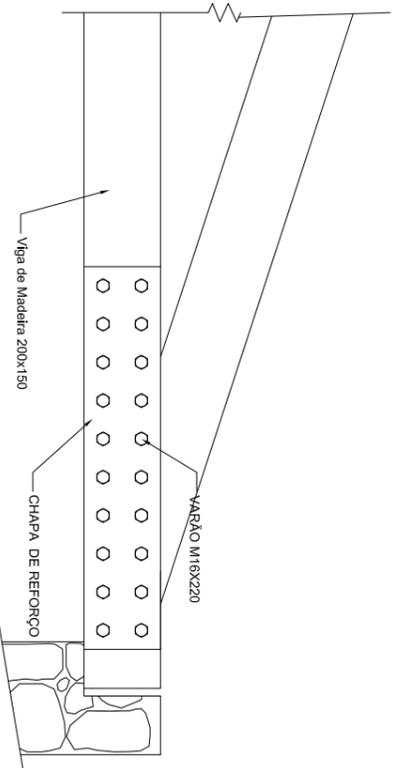
Dimensões em mm
Sem escala

DATA: JUL 2016



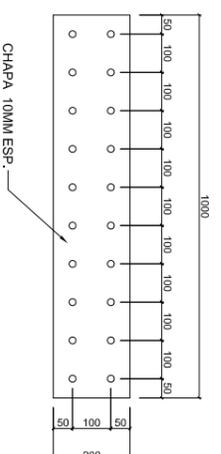
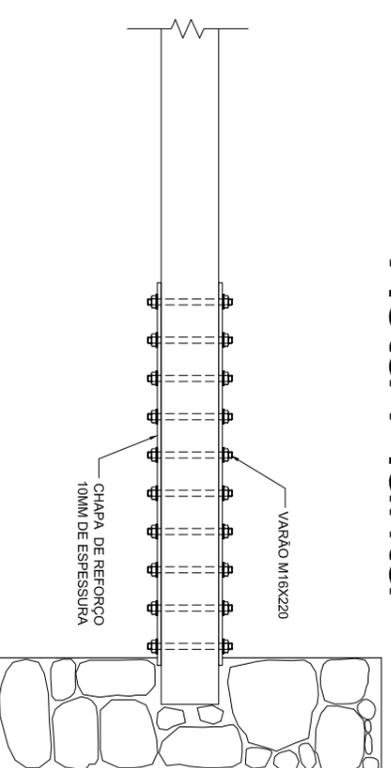
Vista Lateral

Perspectiva axonométrica



Vista Planta

Chapa de Reforço

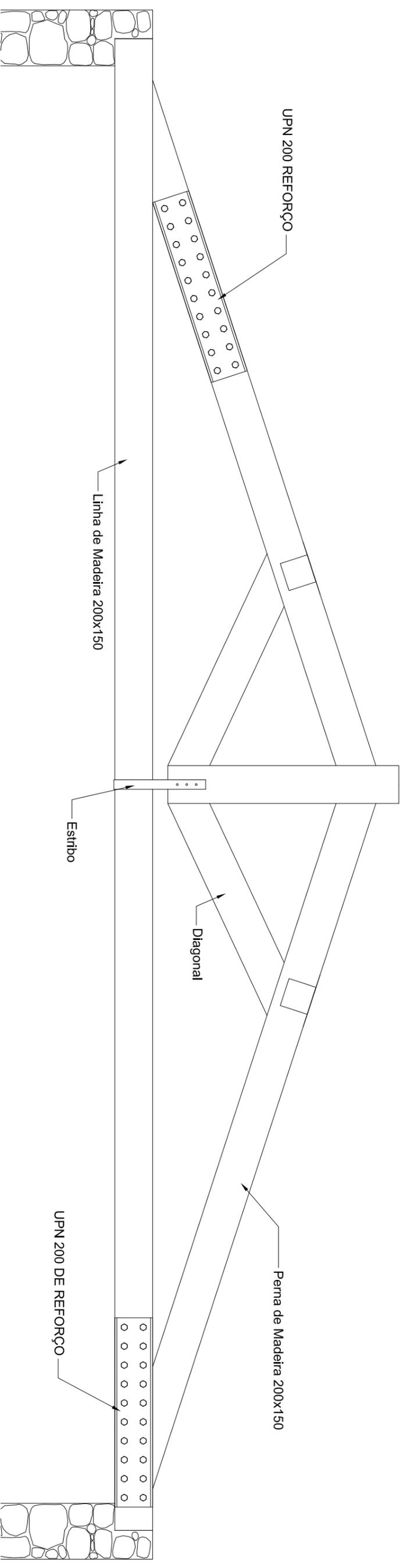


O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO	André Campos
SOLUÇÃO: 3.3.1 –REFORÇO LOCAL DE COBERTURA COM CHAPAS – – SOLUÇÃO E PORMENORES	

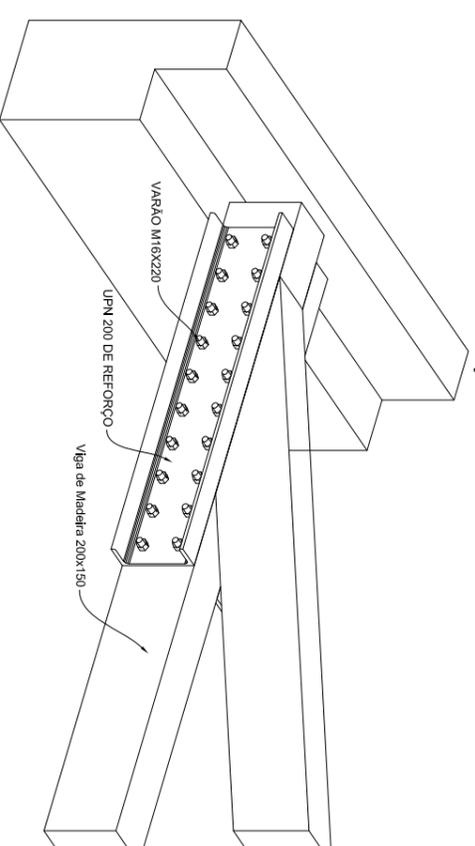
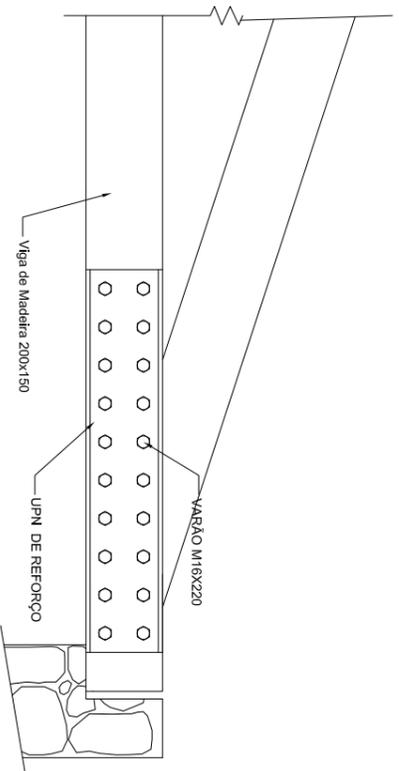


*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

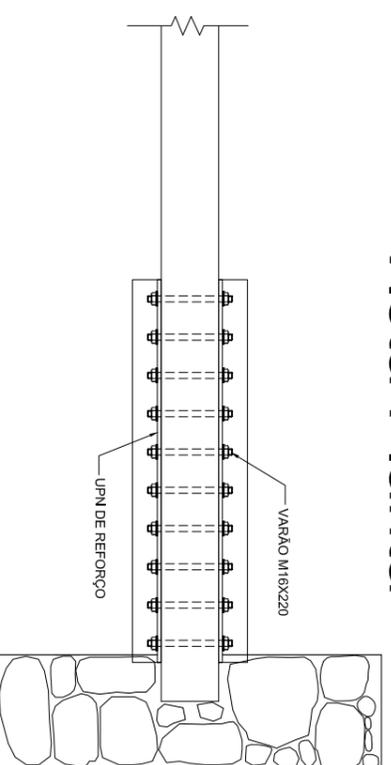


Vista Lateral

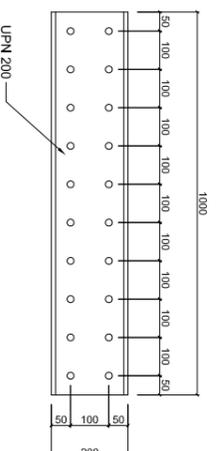


Perspectiva axonométrica

Vista Planta



UPN 200 de Reforço



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



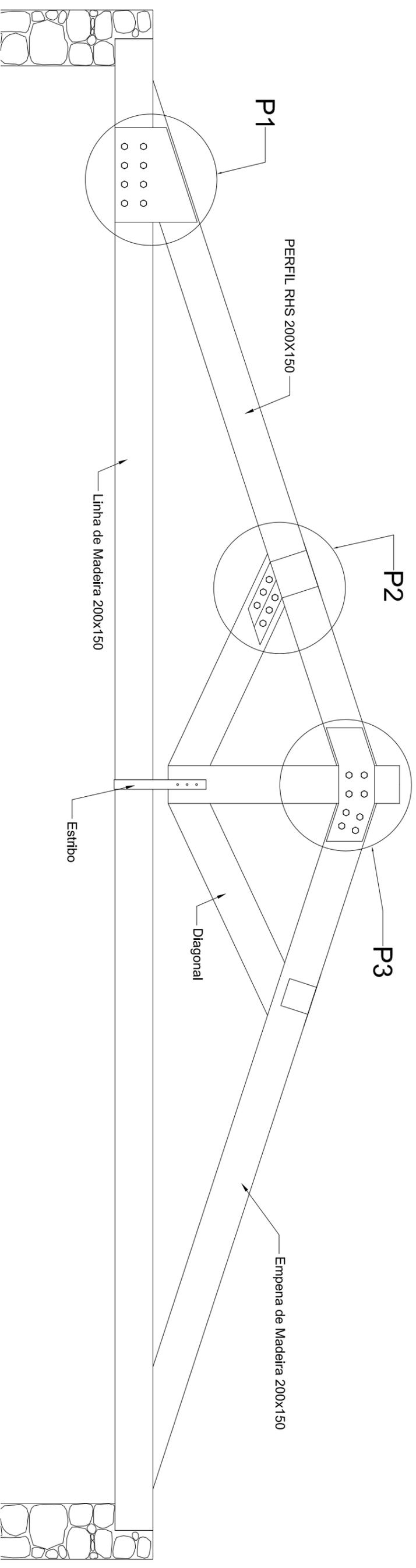
SOLUÇÃO:

3.3.1 – REFORÇO LOCAL DE COBERTURA COM PERFIS –
– SOLUÇÃO E PORMENORES

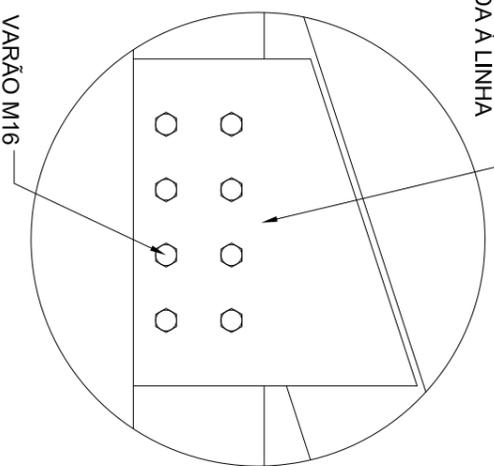
Dimensões em mm

Sem escala

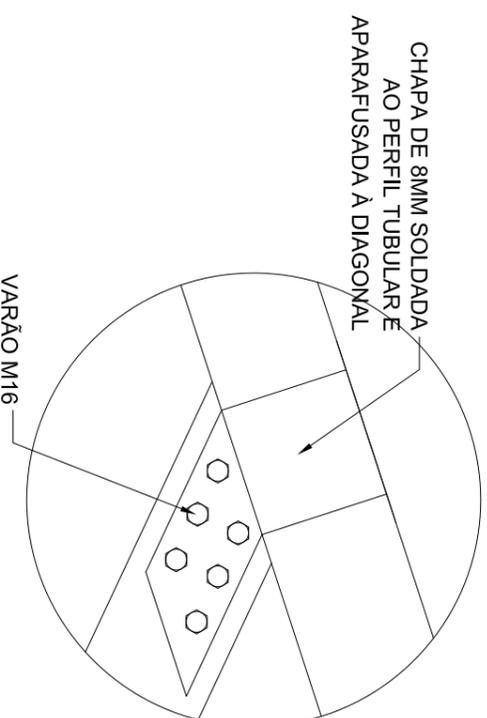
DATA: JUL 2016



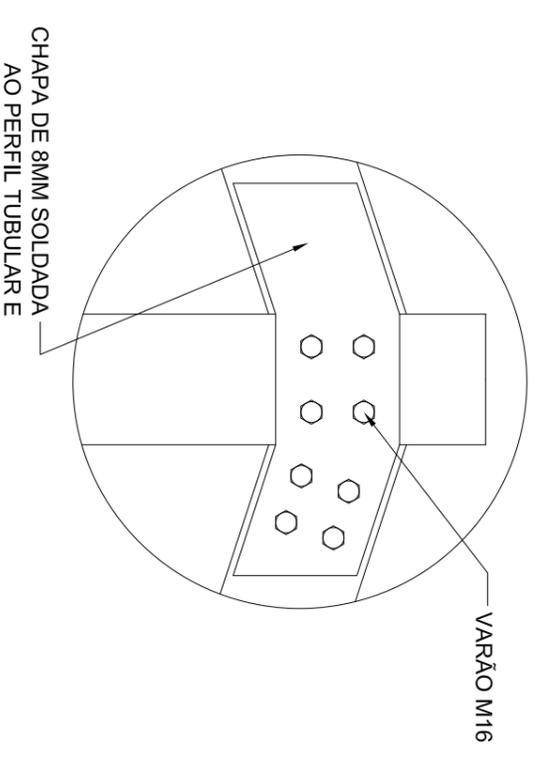
PORMENOR P1



PORMENOR P2



PORMENOR P3



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



SOLUÇÃO:

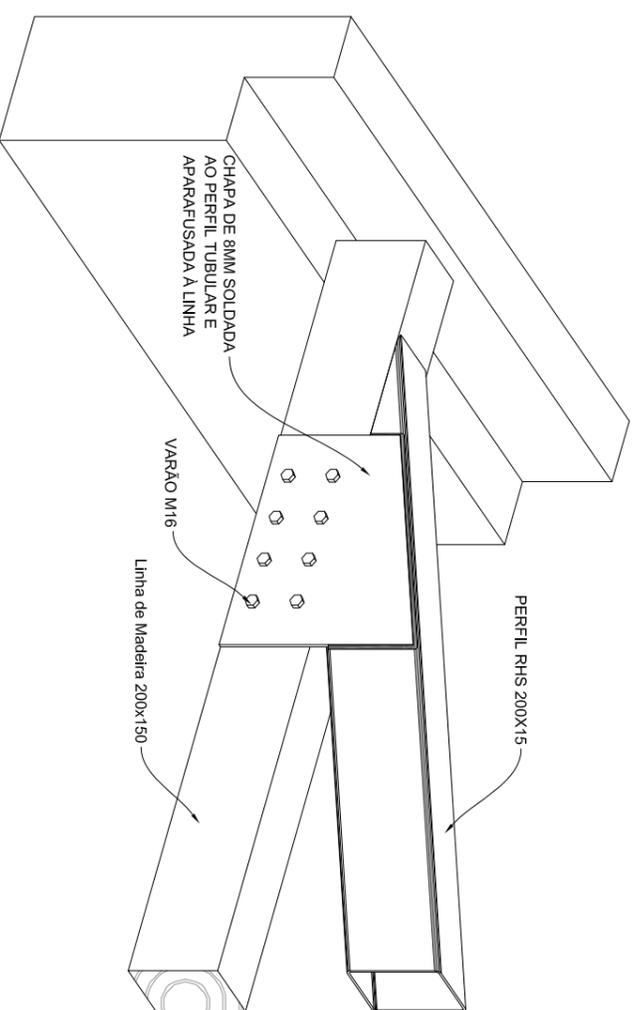
3.3.2 – SUBSTITUIÇÃO DE PERFIL DE MADEIRA POR PERFIL METÁLICO – SOLUÇÃO E PORMENORES

*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

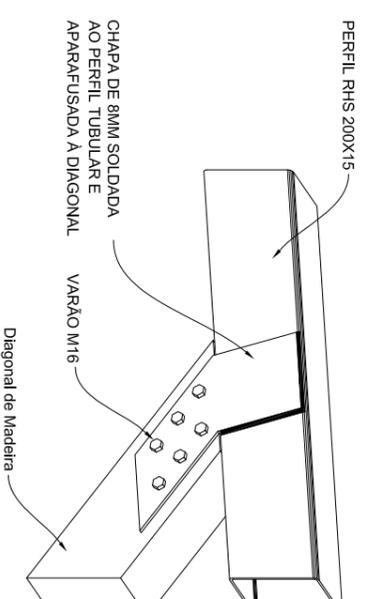
Perspectiva axonométrica

PORMENOR P1



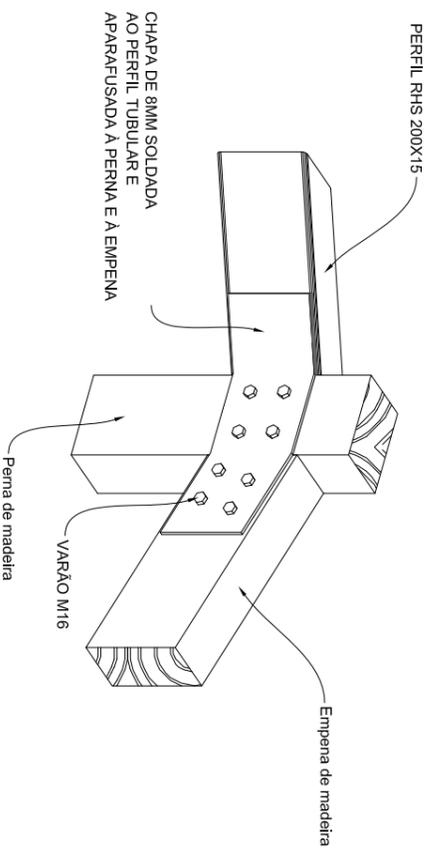
Perspectiva axonométrica

PORMENOR P2



Perspectiva axonométrica

PORMENOR P3



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



SOLUÇÃO:

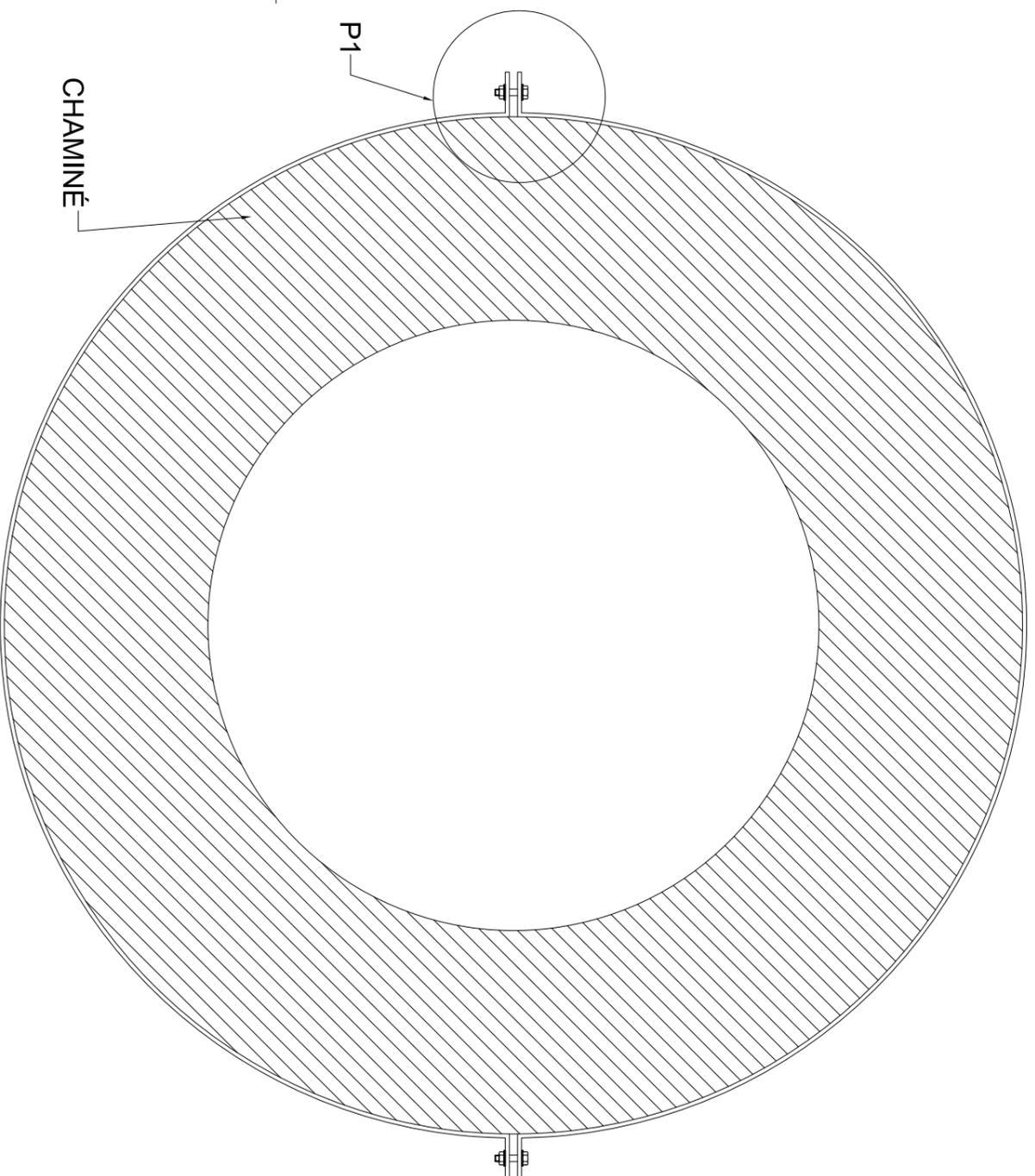
3.3.2 – SUBSTITUIÇÃO DE PERFIL DE MADEIRA
POR PERFIL METÁLICO – SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm

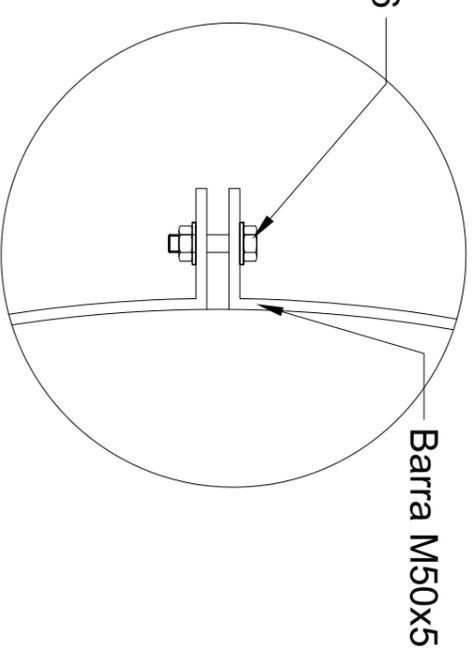
Sem escala

DATA: JUL 2016

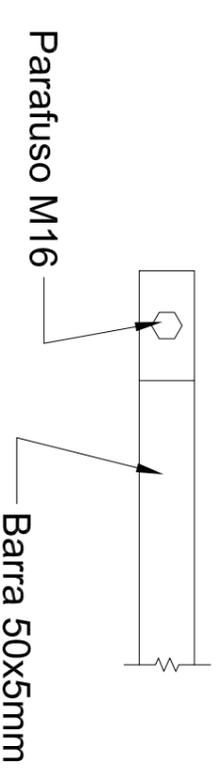
Vista Planta



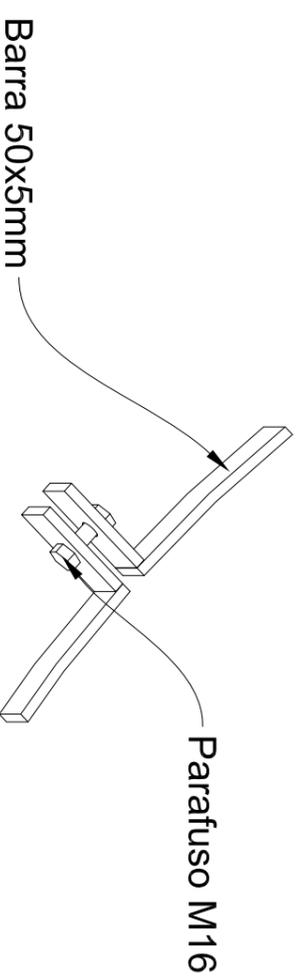
Pormenor P1 Vista Planta



Pormenor P1 Vista lateral



Pormenor P1 Perspectiva axonométrica



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



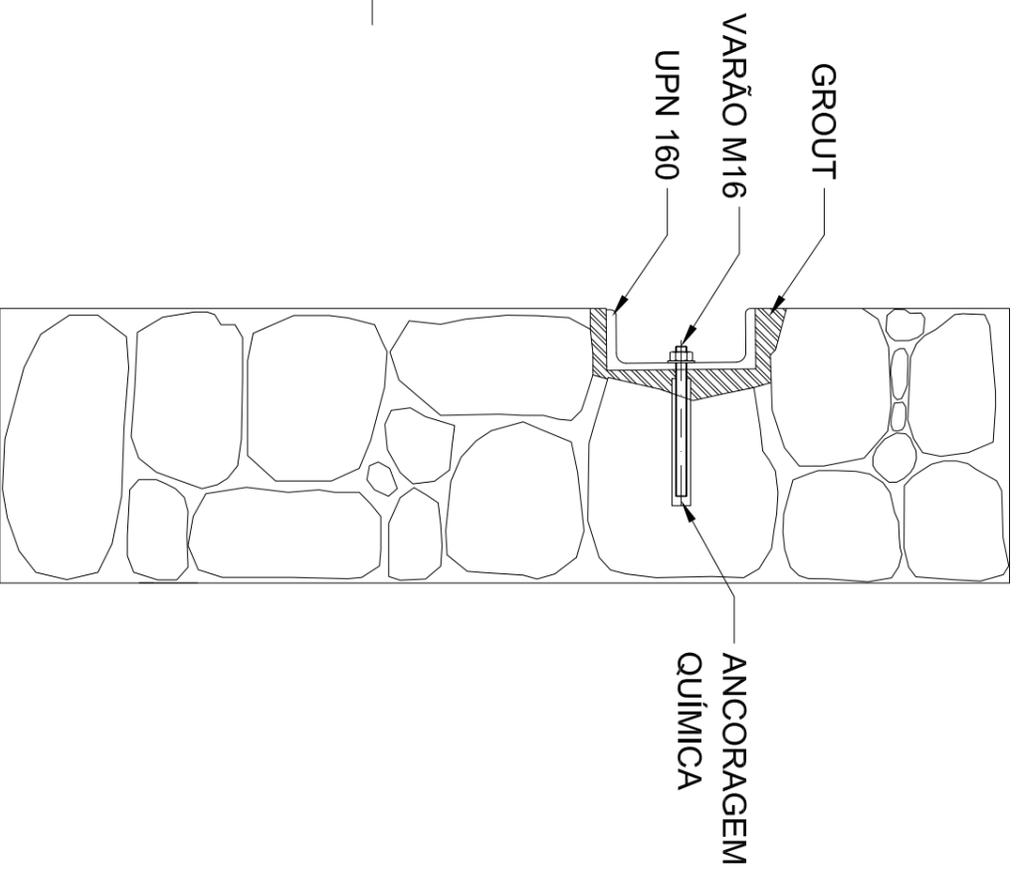
SOLUÇÃO:

3.4 – CINTAS EM CHAMINÉS – SOLUÇÃO E PORMENORES

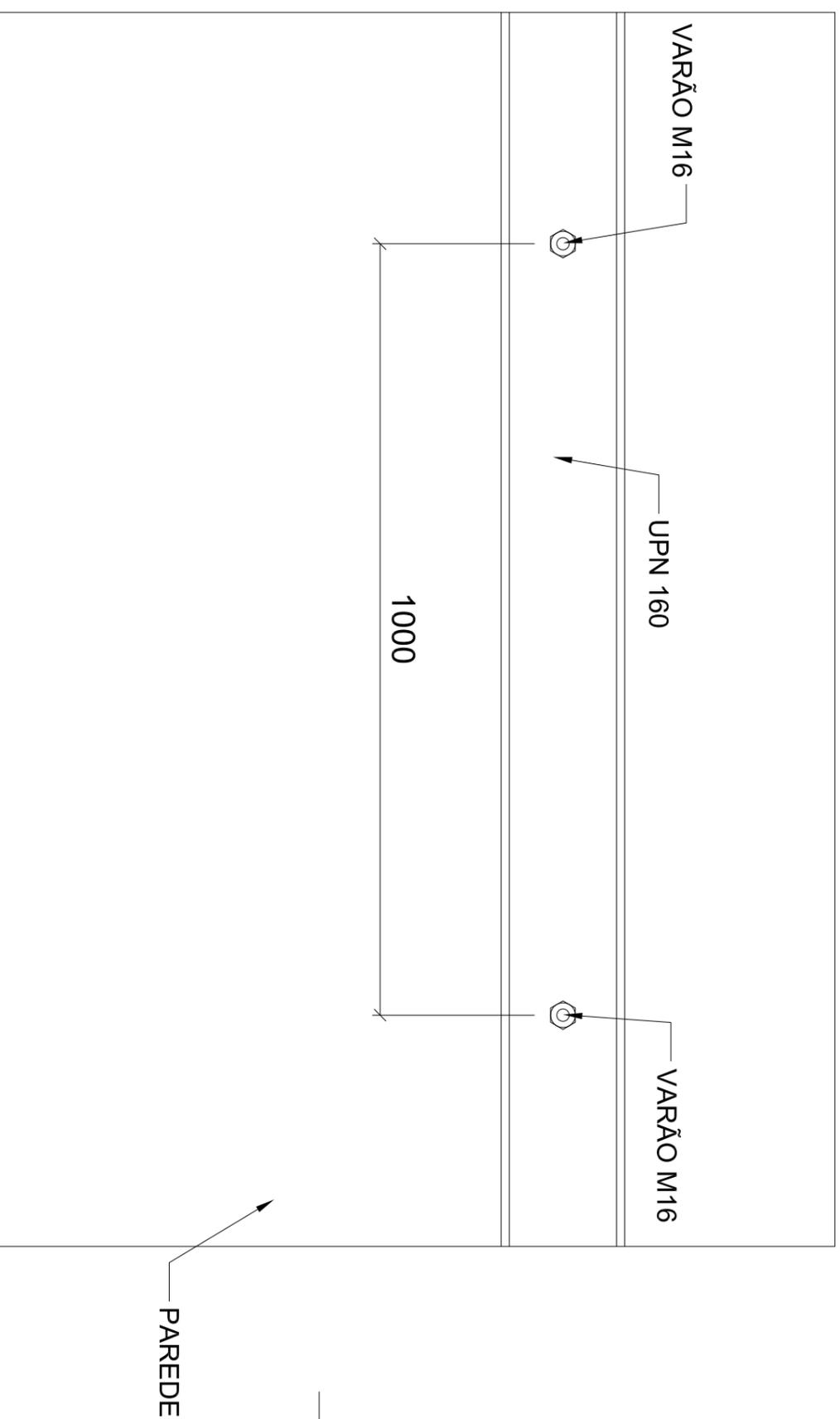
*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

Vista Lateral



Alçado



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



SOLUÇÃO:

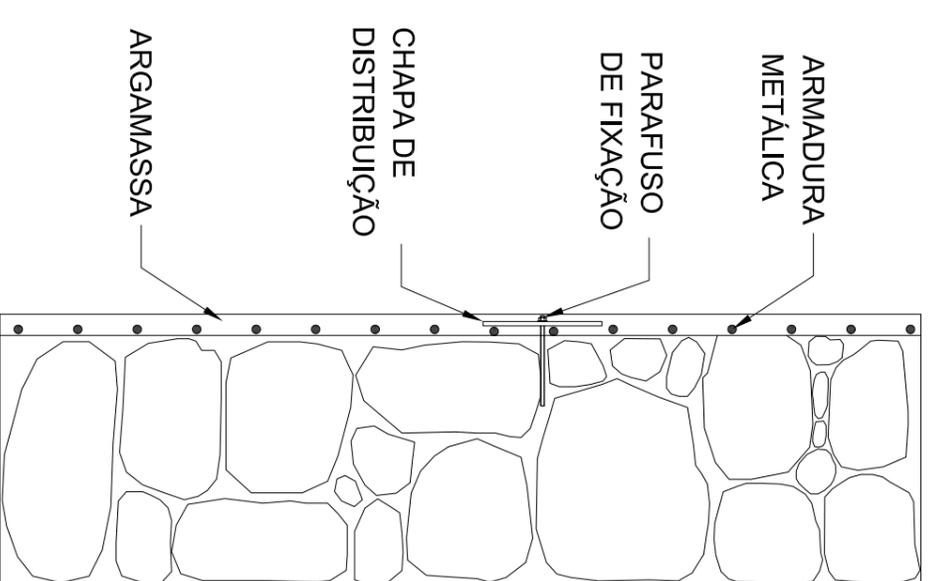
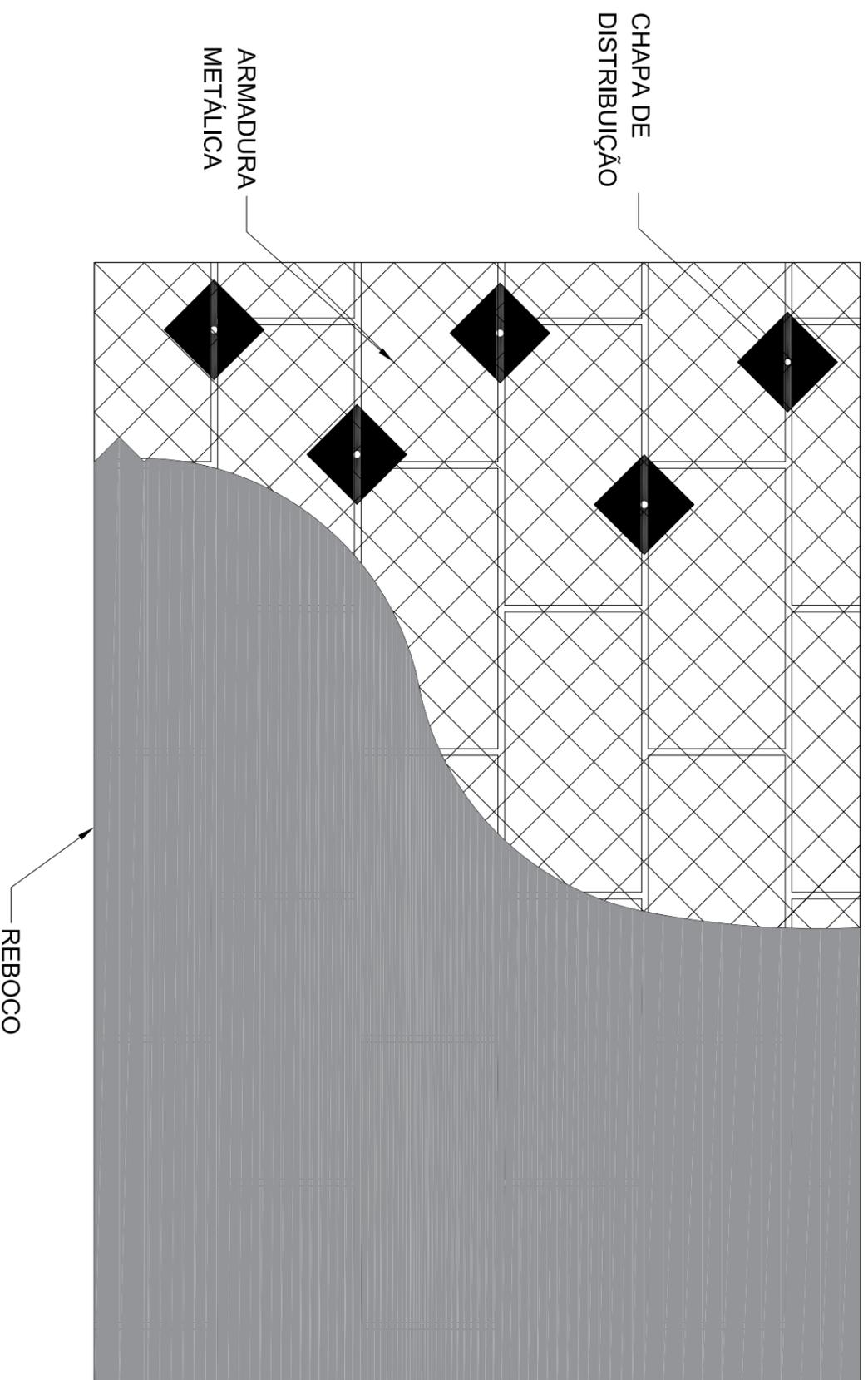
4.1.1 – CINTAGEM GLOBAL DE EDIFÍCIOS –
– SOLUÇÃO E PORMENORES

*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

Alçado

Vista Lateral



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



SOLUÇÃO:

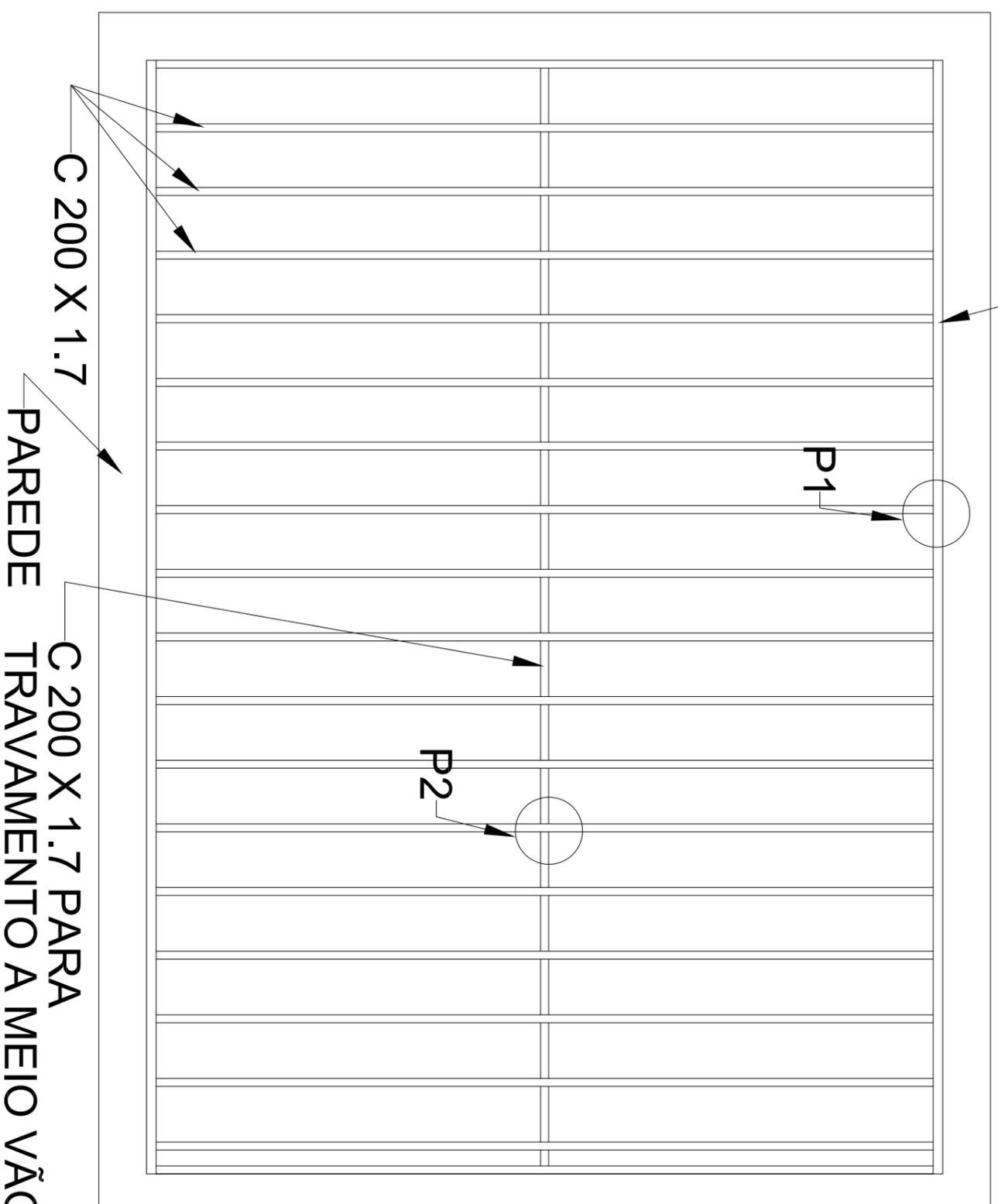
4.1.2 – REBOCO ARMADO –
– SOLUÇÃO E PORMENORES

*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

U250X2.5

PLANTA DA LAJE



C 200 X 1.7

PAREDE

C 200 X 1.7 PARA TRAVAMENTO A MEIO VÃO

P1

P2

O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



SOLUÇÃO:

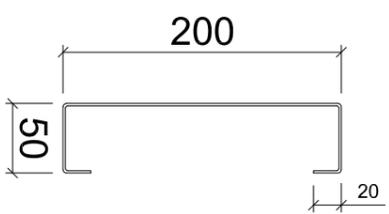
4.2.1 – SUBSTITUIÇÃO DE PAVIMENTOS POR LSF –
– SOLUÇÃO E PORMENORES

*Dimensões em mm
Sem escala*

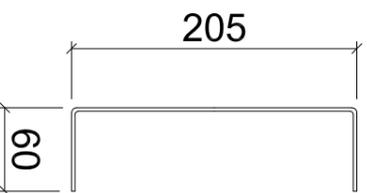
DATA: JUL 2016

Perfis

C 200X1.7

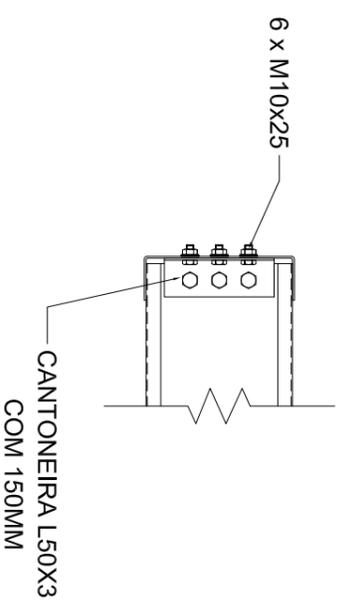


U 200X2.5



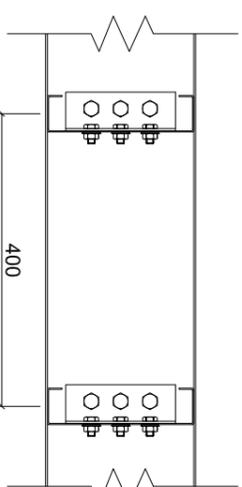
Pormenor P1

LIGAÇÃO U 200X2.5 COM C 200X2.5
VISTA LATERAL



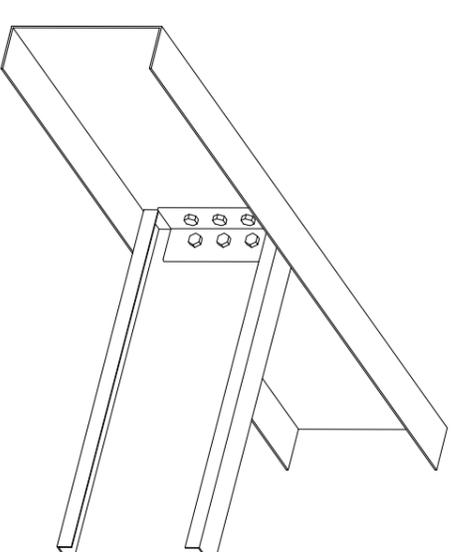
Pormenor P1

LIGAÇÃO U 200X2.5 COM C 200X2.5
VISTA FRONTAL



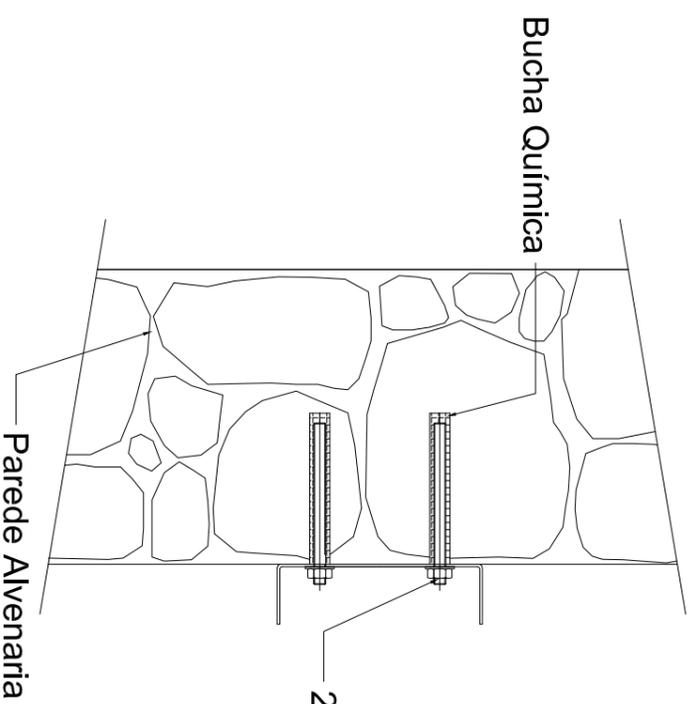
Pormenor P1

LIGAÇÃO U 200X2.5 COM C 200X2.5
Perspectiva axonométrica



Pormenor P1

LIGAÇÃO U 200X2.5 COM PAREDE

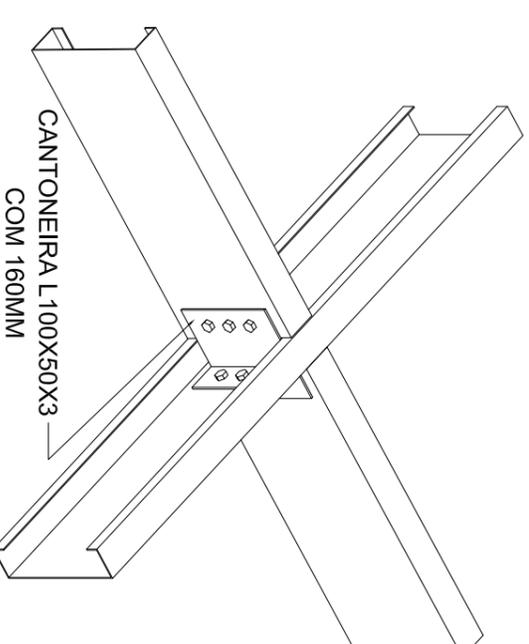
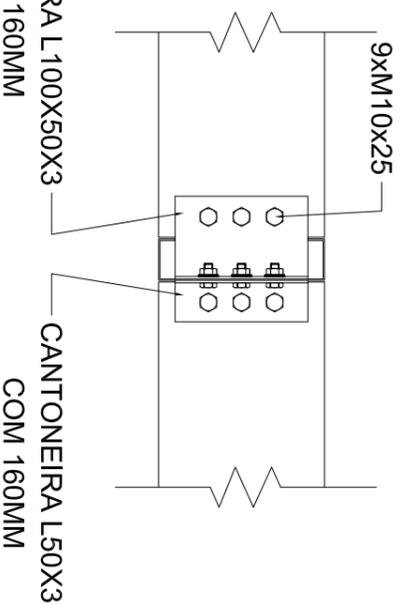


2 x Varão M12 x 160
// 1000mm

CANTONEIRA L100X50X3
COM 160MM

Pormenor P2

LIGAÇÃO VIGA COM TRAVAMENTO
VISTA LATERAL



Pormenor P2

LIGAÇÃO VIGA COM TRAVAMENTO
Perspectiva axonométrica

O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



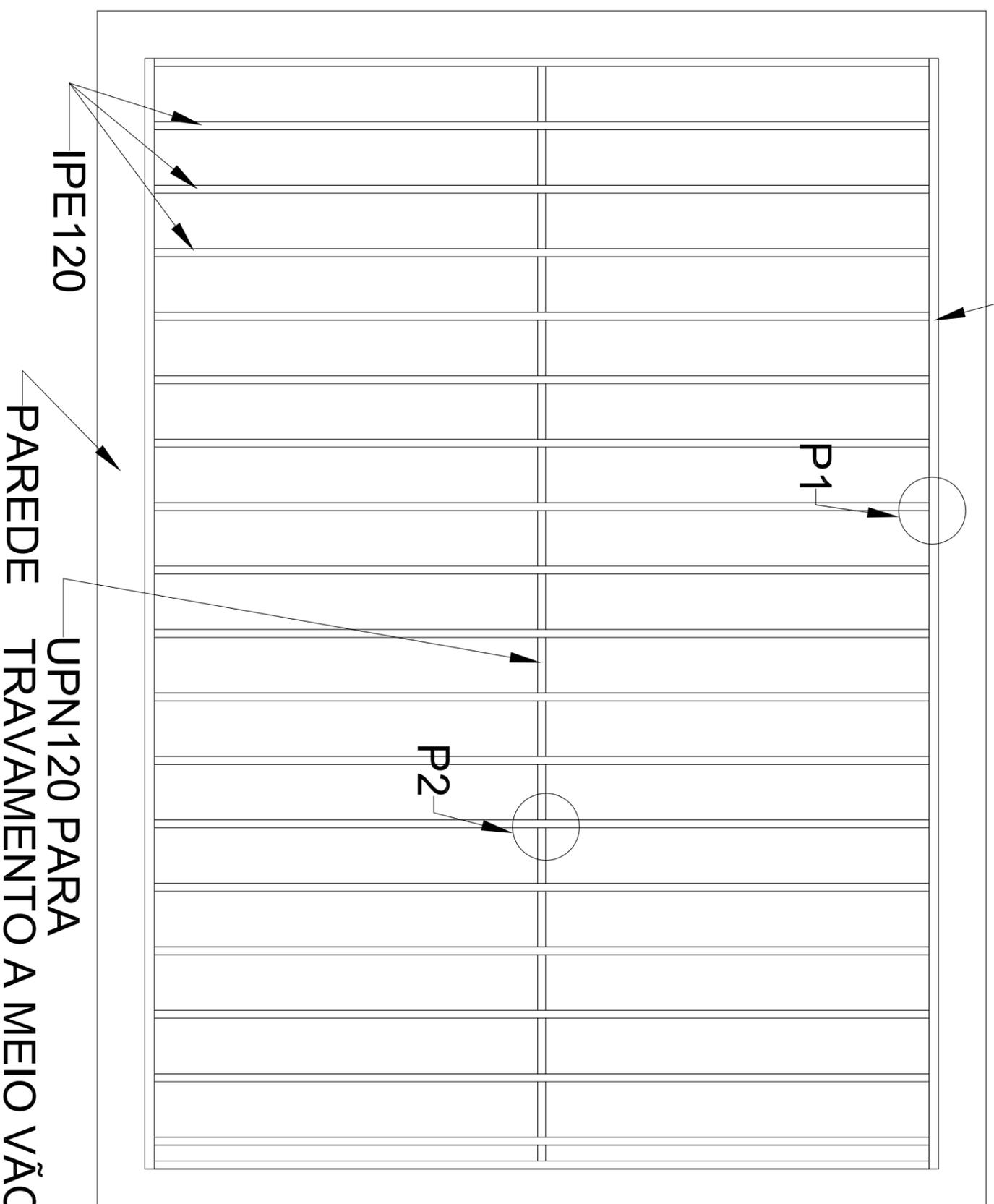
SOLUÇÃO:

4.2.1 – SUBSTITUIÇÃO DE PAVIMENTOS POR LSF –
– SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm
Sem escala

DATA: JUL 2016

PLANTA DA LAJE



UPN120 PARA TRAVAMENTO A MEIO VÃO

IPE120

PAREDE

P1

P2

O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



SOLUÇÃO:

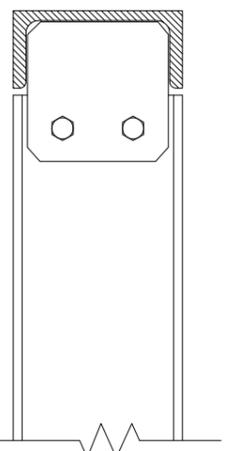
4.2.2 – SUBSTITUIÇÃO DE PAVIMENTOS POR ESTRUTURA
EM PERFIS METÁLICOS – SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm
Sem escala

DATA: JUL 2016

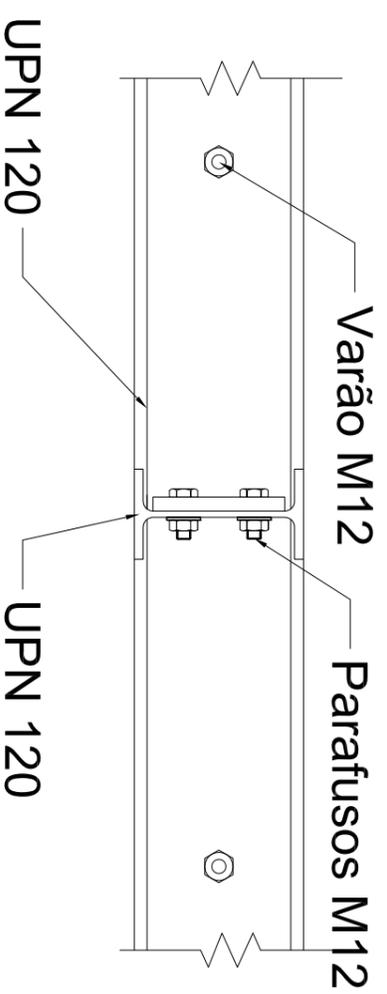
Pormenor P1

LIGAÇÃO UPN120 COM IPE120
VISTA LATERAL



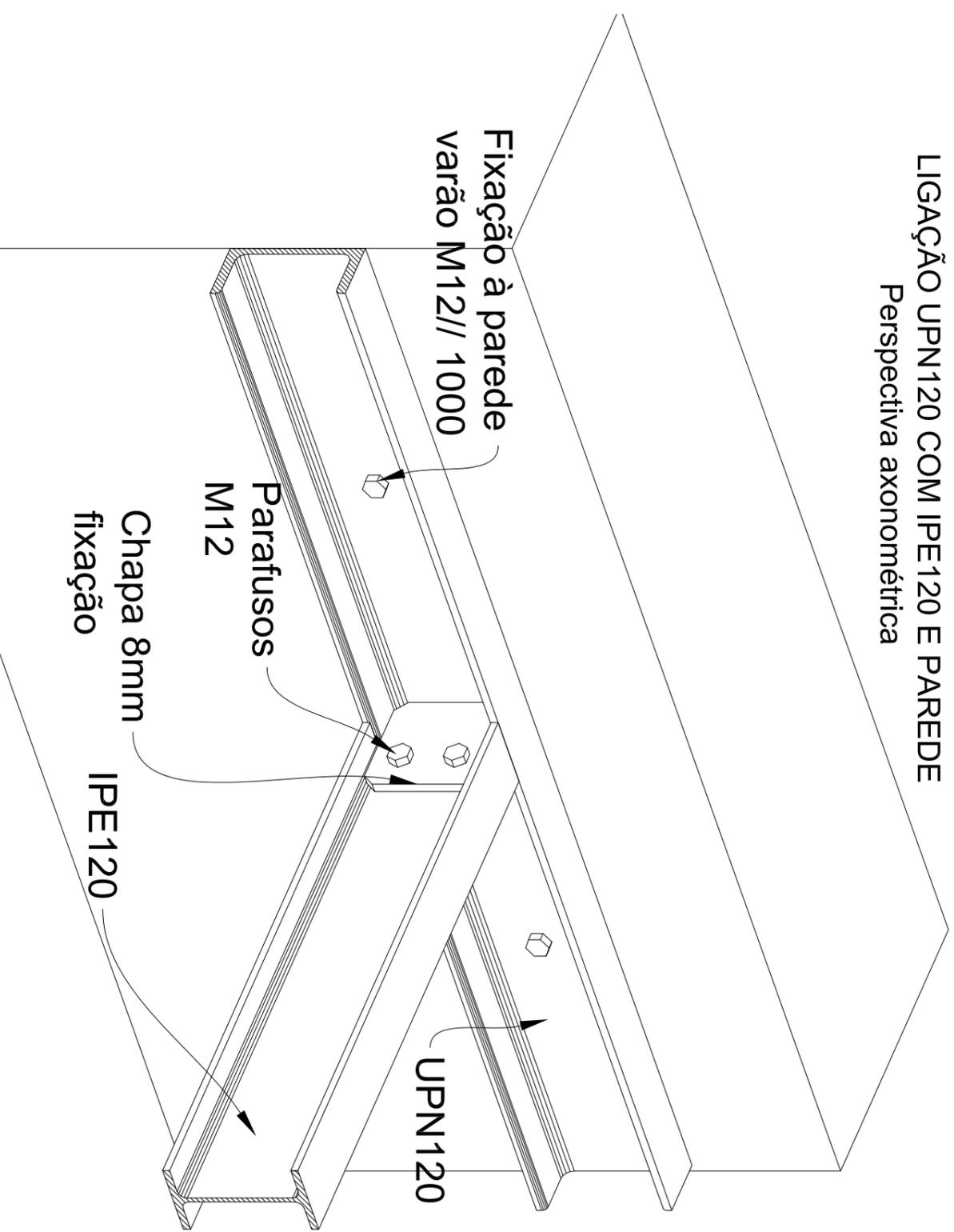
Pormenor P1

LIGAÇÃO UPN120 COM IPE120
VISTA FRONTAL



Pormenor P1

LIGAÇÃO UPN120 COM IPE120 E PAREDE
Perspectiva axonométrica



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO	André Campos
---	--------------

SOLUÇÃO:

4.2.2 – SUBSTITUIÇÃO DE PAVIMENTOS POR ESTRUTURA
EM PERFIS METÁLICOS – SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm
Sem escala

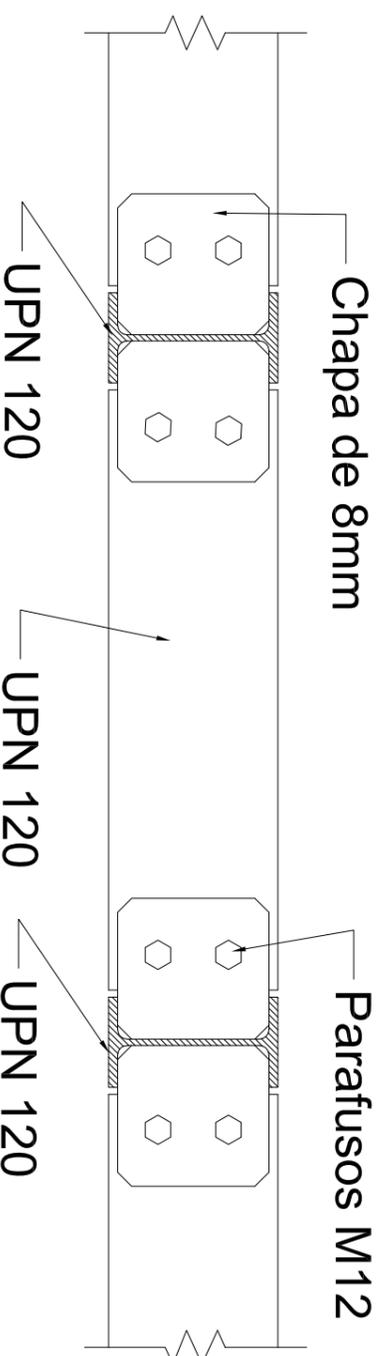
DATA: JUL 2016



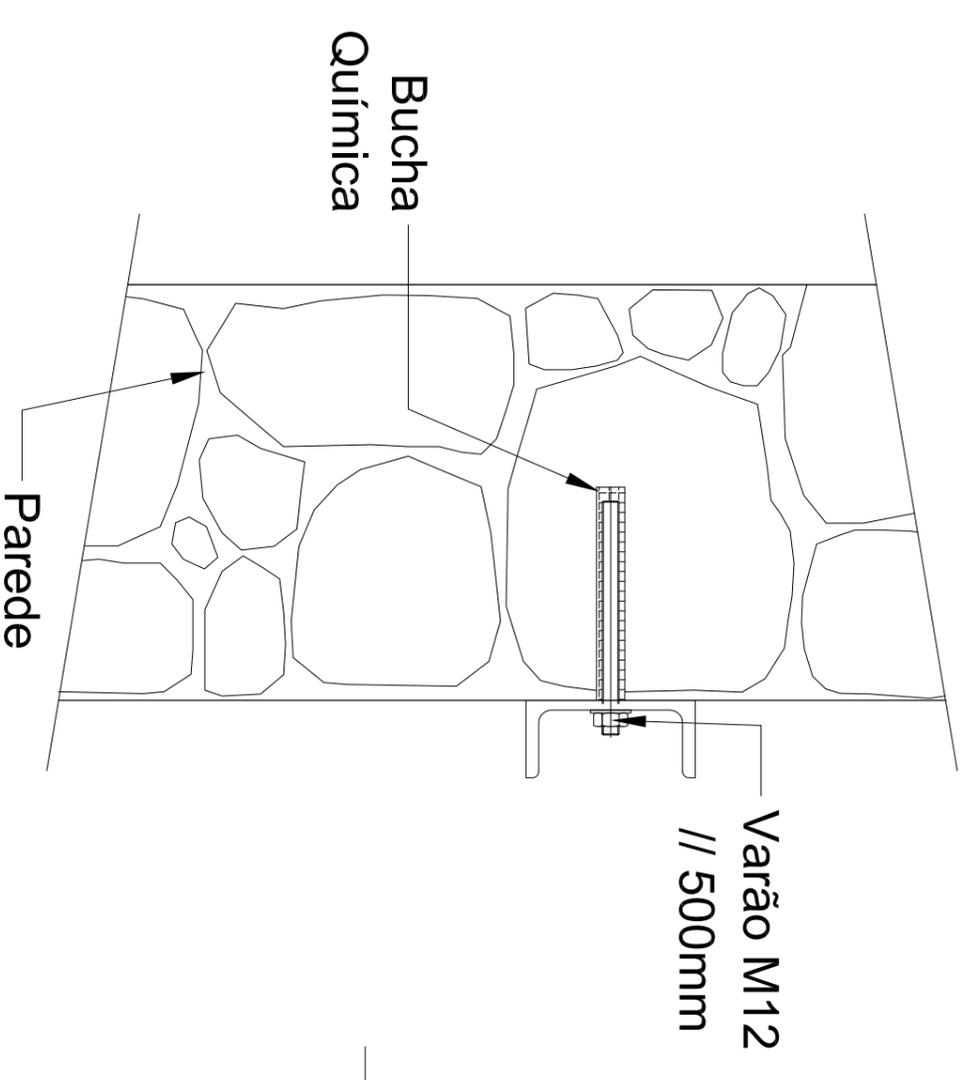
Pormenor P2

LIGAÇÃO VIGA COM TRAVAMENTO

VISTA LATERAL



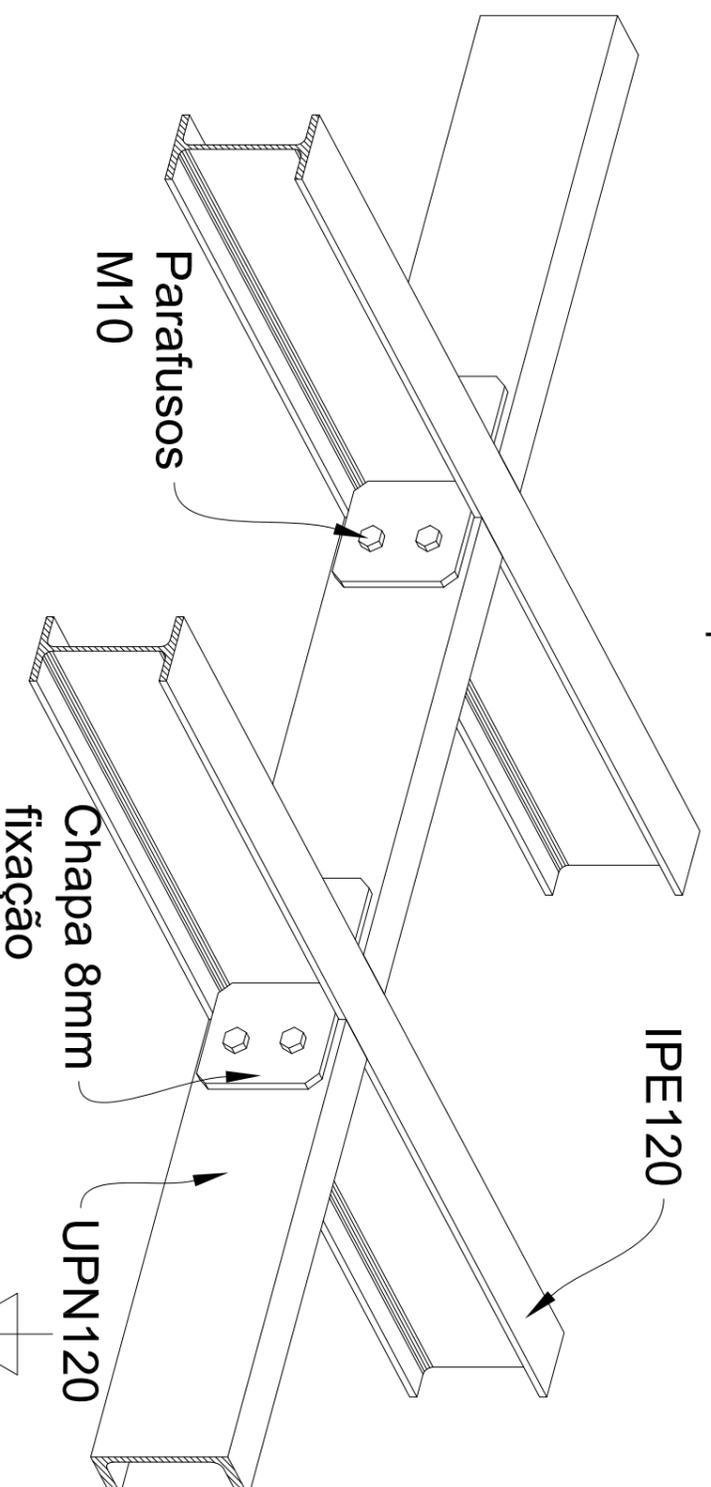
LIGAÇÃO UPN120 COM PAREDE



Pormenor P2

LIGAÇÃO VIGA COM TRAVAMENTO

Perspectiva axonométrica



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



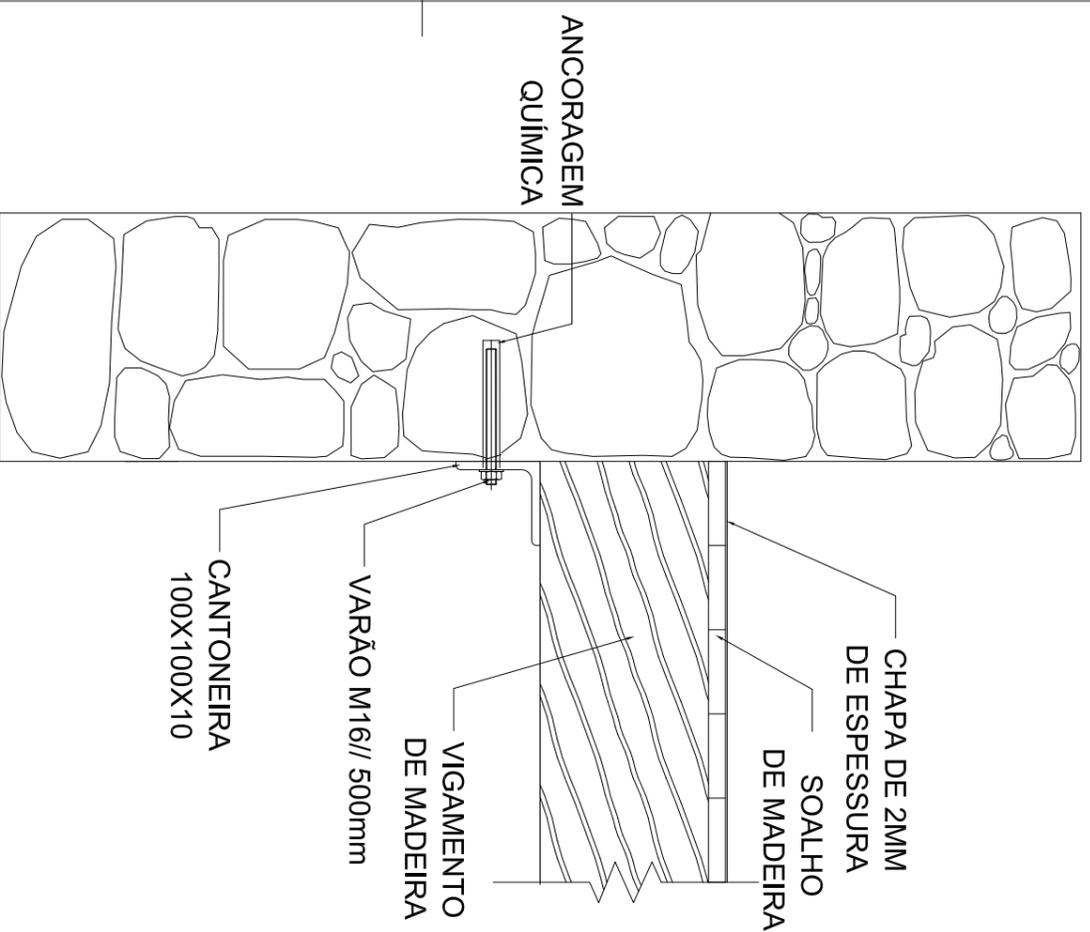
SOLUÇÃO:

4.2.2 – SUBSTITUIÇÃO DE PAVIMENTOS POR ESTRUTURA
EM PERFIS METÁLICOS – SOLUÇÃO E PORMENORES

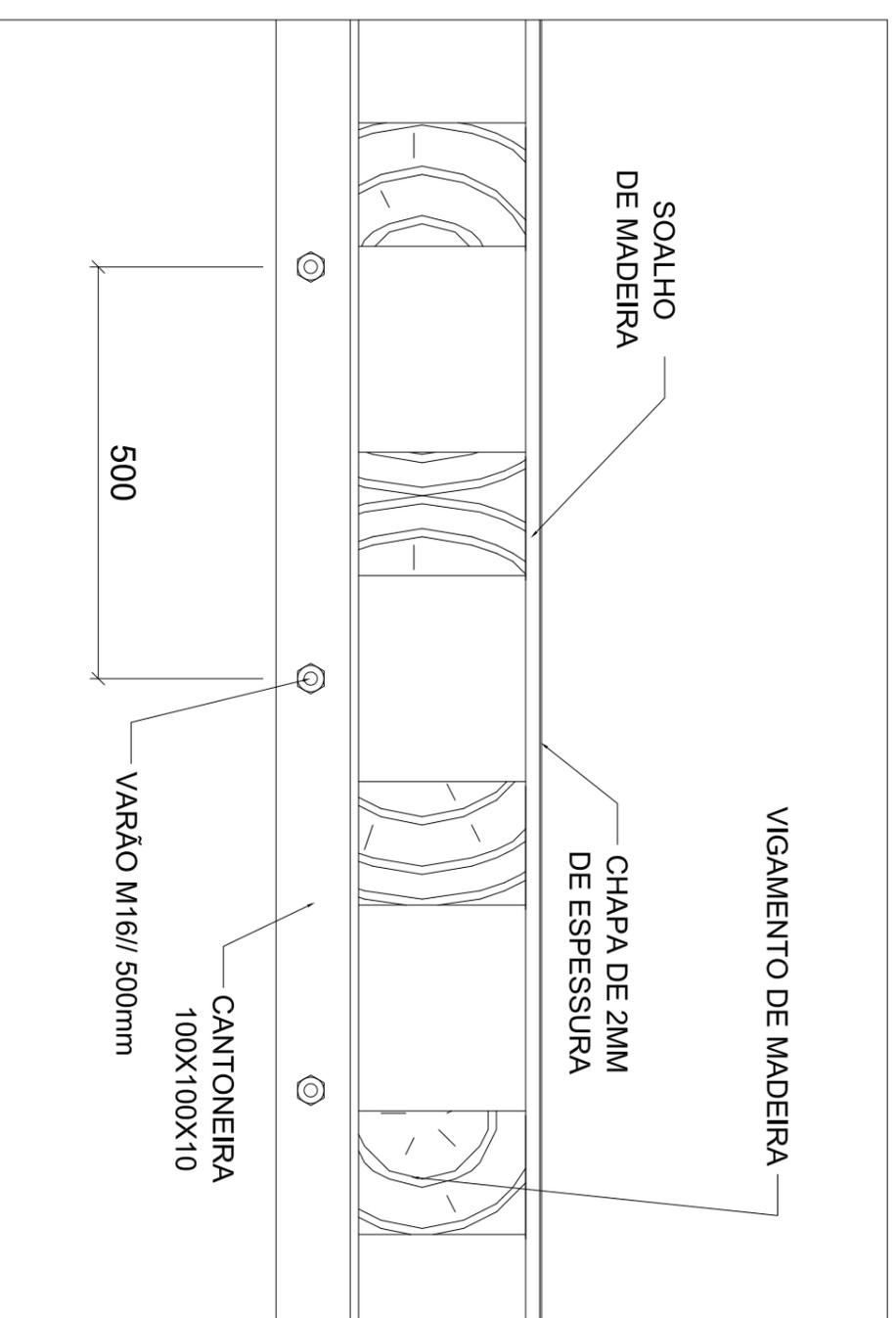
Dimensões em mm
Sem escala

DATA: JUL 2016

Vista Lateral



Alçado



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



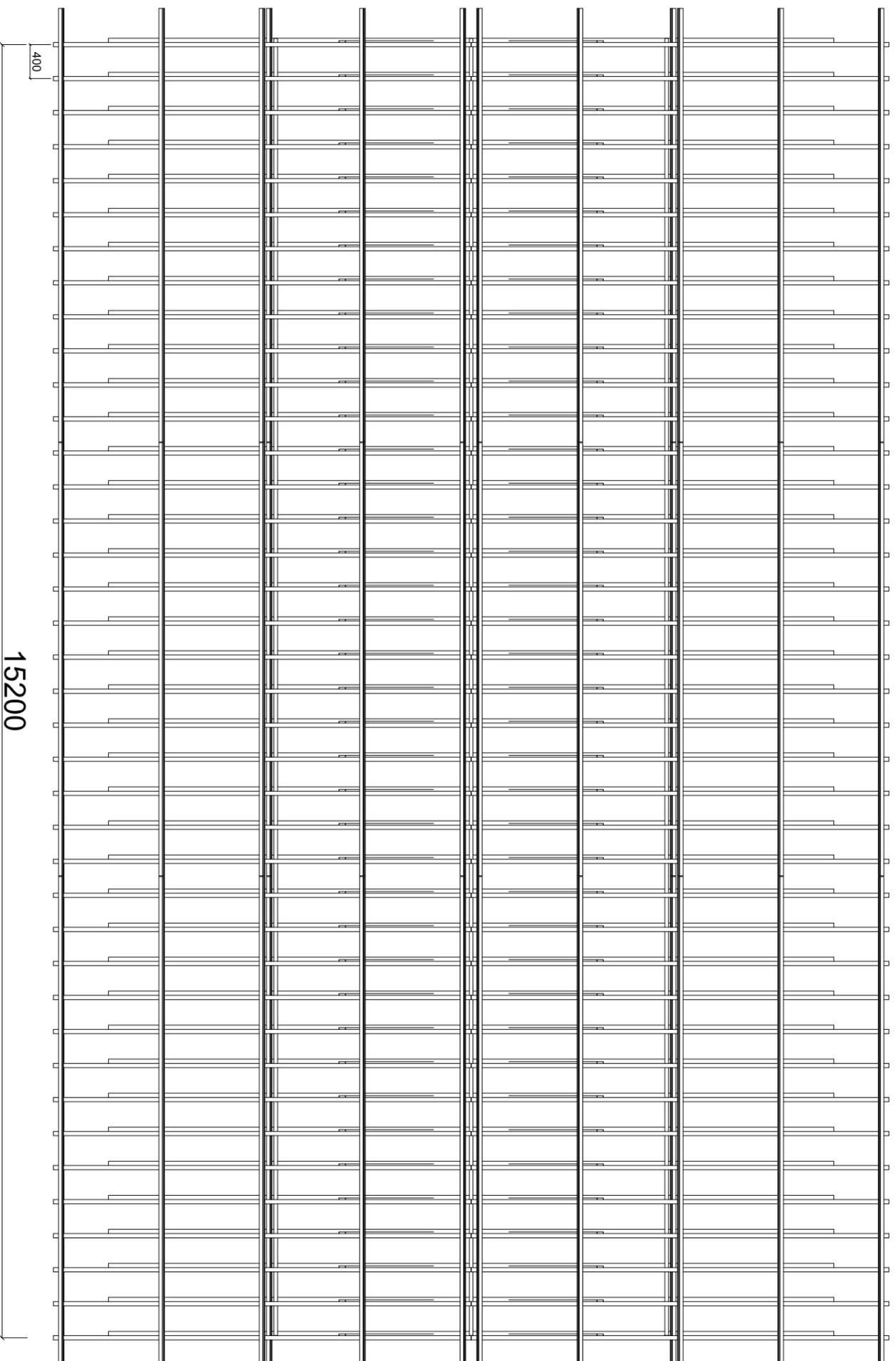
SOLUÇÃO:

4.2.3 – COLOCAÇÃO DE VIGA PERIFÉRICA COM
TARUGAMENTO DO PAVIMENTO – SOLUÇÃO E PORMENORES

*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

PLANTA DA COBERTURA



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos

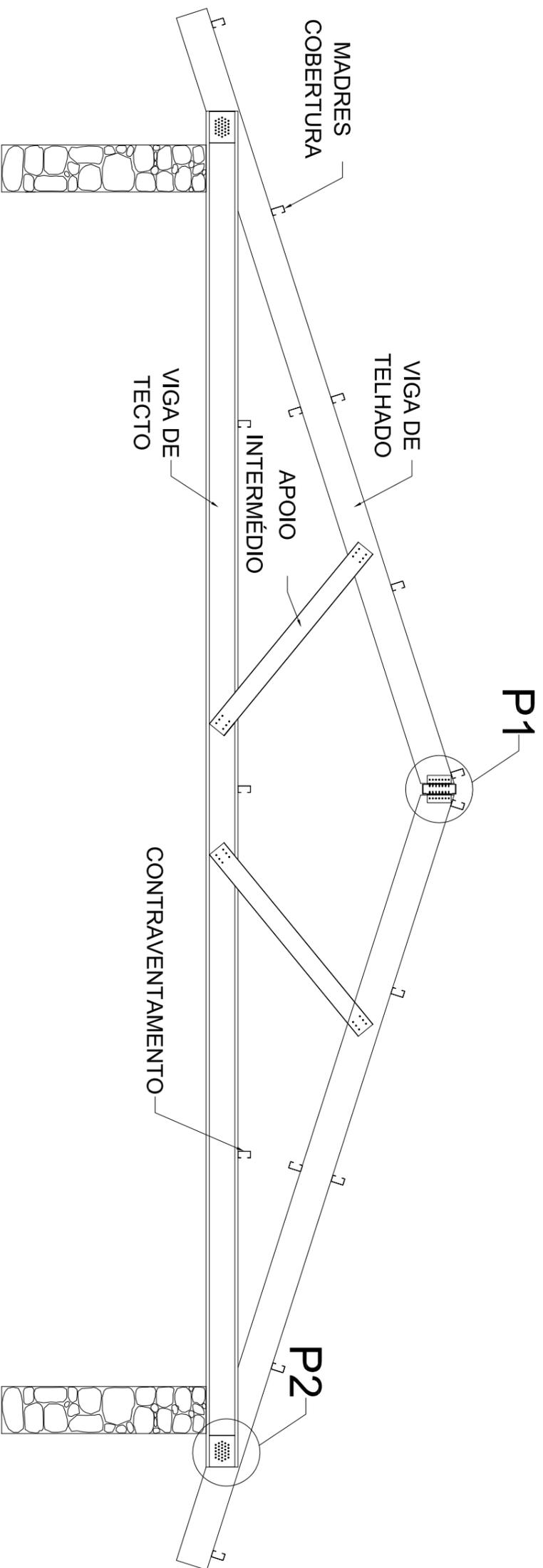


SOLUÇÃO:

4.3.1 – SUBSTITUIÇÃO DE COBERTURAS POR LSF –
– SOLUÇÃO E PORMENORES

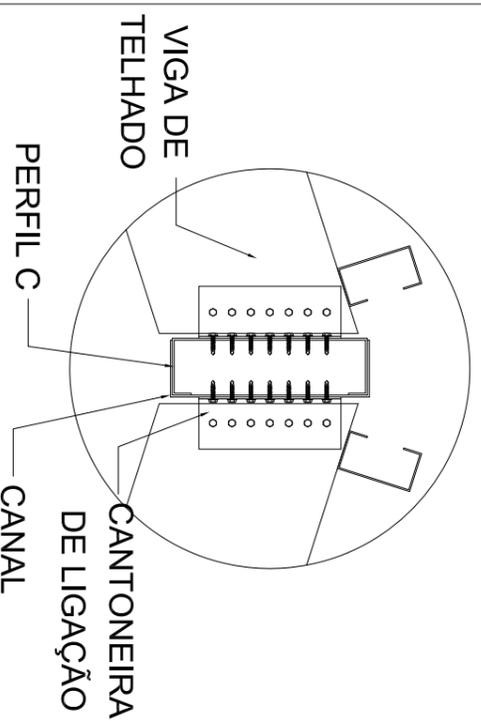
*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016



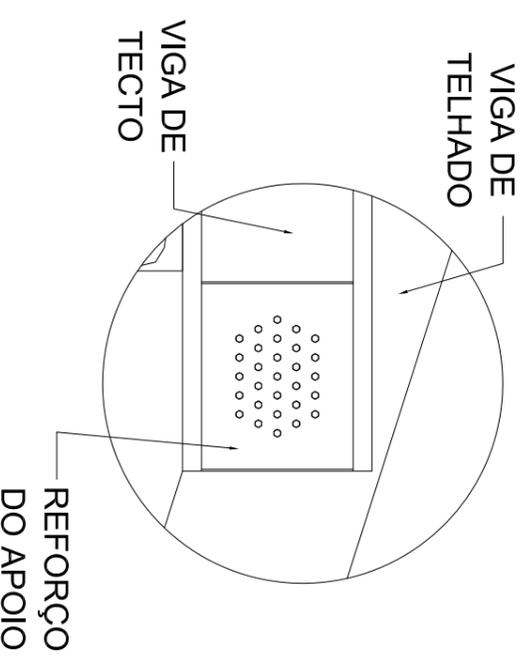
Pormenor P1

LIGAÇÃO DA CUMEEIRA
VISTA FRONTAL



Pormenor P2

LIGAÇÃO ENTRE VIGAS DE BEIRADO
VISTA FRONTAL



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



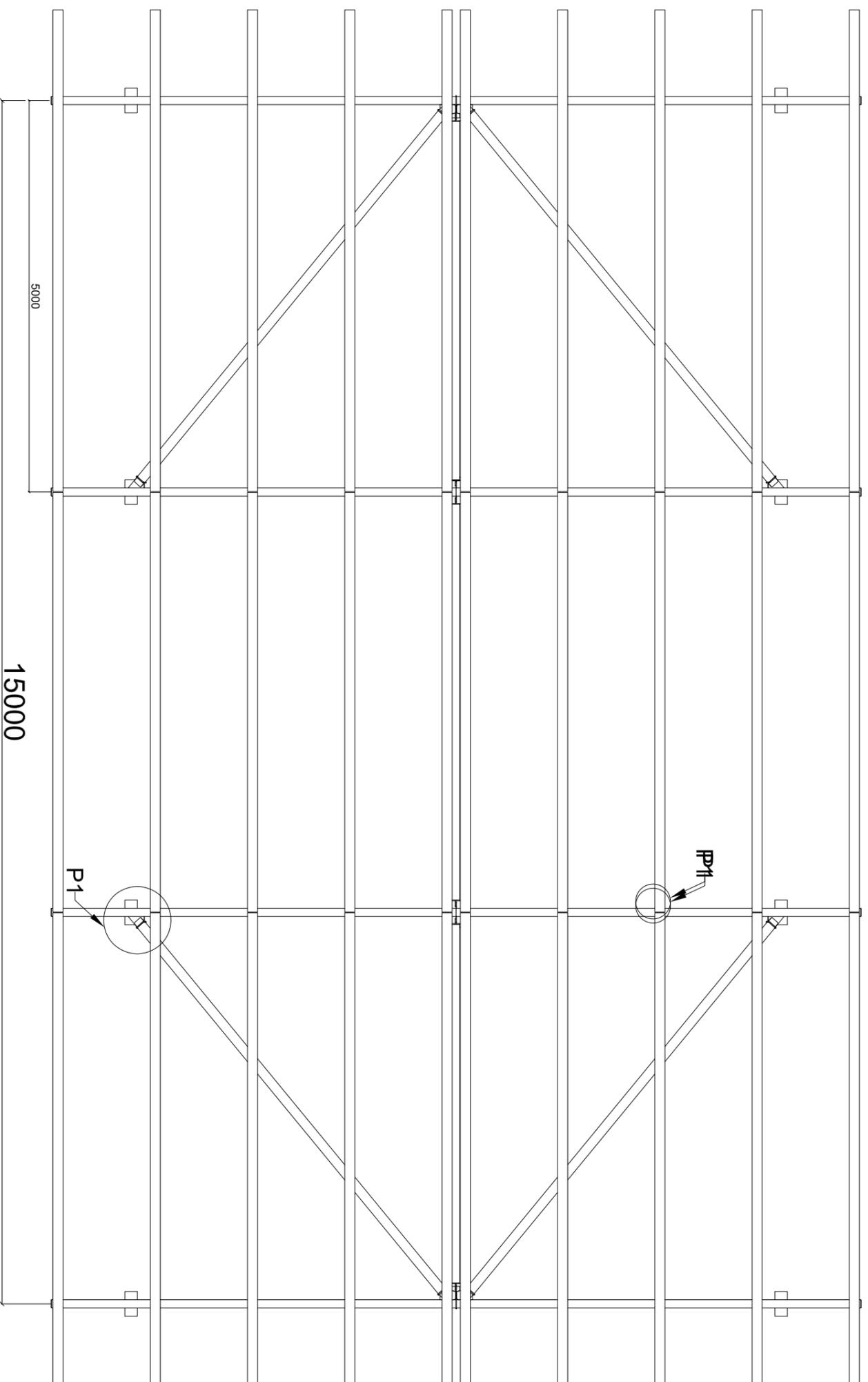
SOLUÇÃO:

4.3.1 – SUBSTITUIÇÃO DE COBERTURAS POR LSF –
– SOLUÇÃO E PORMENORES

*Dimensões em mm
Sem escala*

DATA: JUL 2016

PLANTA DA COBERTURA



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



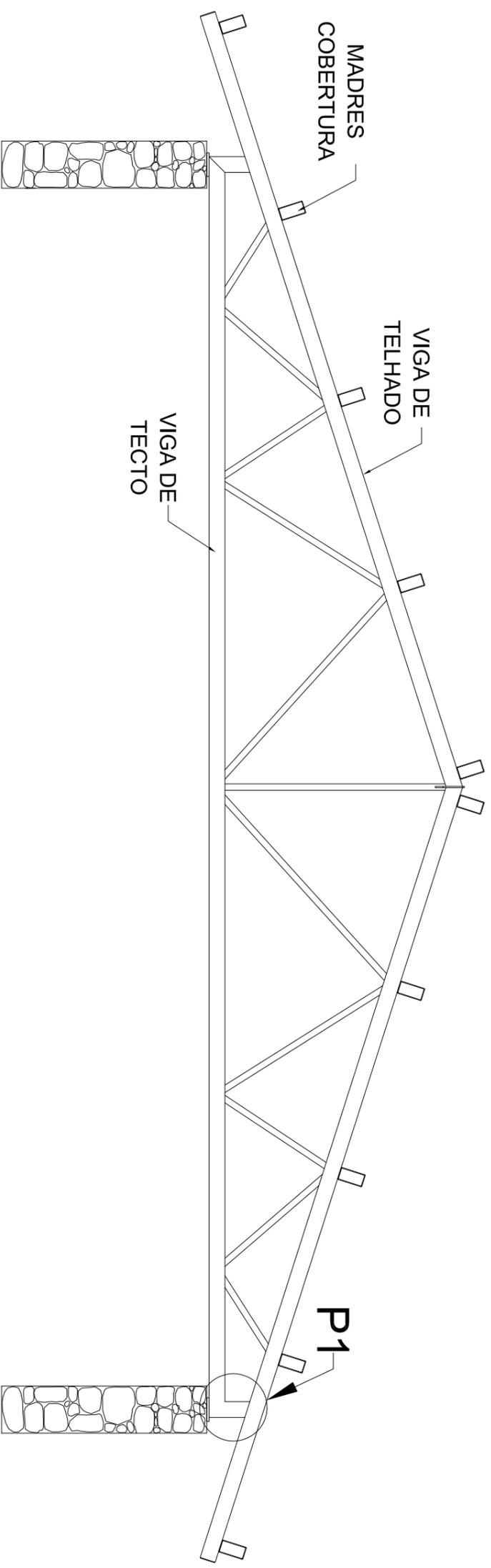
SOLUÇÃO:

4.3.2 – SUBSTITUIÇÃO DE COBERTURAS POR ESTRUTURA
EM PERFIS METÁLICOS – SOLUÇÃO E PORMENORES

*Dimensões em mm
Sem escala*

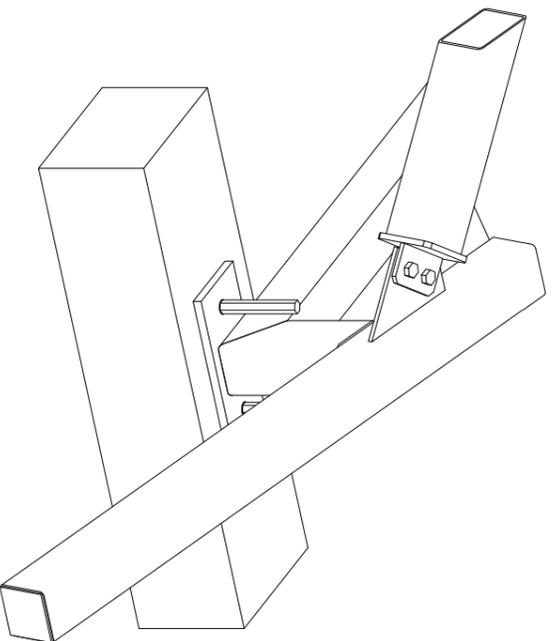
DATA: JUL 2016

VISTA LATERAL



Pormenor P1

Perspectiva axonométrica



O PAPEL DA ESTRUTURA METÁLICAS
NA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

André Campos



SOLUÇÃO:

4.3.2 – SUBSTITUIÇÃO DE COBERTURAS POR ESTRUTURA
EM PERFIS METÁLICOS – SOLUÇÃO E PORMENORES

Dimensões em mm
Sem escala

DATA: JUL 2016