

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização: Produção e Gestão do**  
**Ambiente Construído**

**Romário de Souza Lima**

**ESTUDO DE ALVENARIAS DE VEDAÇÃO**  
**REFORÇADAS COM TRELIÇAS PLANAS**  
**ARAMADAS COM USO DE FERRAMENTA**  
**COMPUTACIONAL:**

**O EXEMPLO DA MURFOR®**

**Belo Horizonte,**  
**2018**

**ROMÁRIO DE SOUZA LIMA**

**ESTUDO DE ALVENARIAS DE VEDAÇÃO  
REFORÇADAS COM TRELIÇAS PLANAS  
ARAMADAS COM USO DE FERRAMENTA  
COMPUTACIONAL:**

**O EXEMPLO DA MURFOR®**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador (a): Maria Teresa Paulino Aguiar**

**Belo Horizonte,  
2018**

L732e

Lima, Romário de Souza.

Estudo de alvenarias de vedação reforçadas com treliças planas aramadas com uso de ferramenta computacional [recurso eletrônico] : o exemplo da Murfor <sup>®</sup> / Romário de Souza Lima. – 2018.

1 recurso online (38 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Maria Teresa Paulino Aguilár.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f. 37-38.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Alvenaria. I. Aguilár, Maria Teresa Paulino.  
II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.  
III. Título.

CDU: 69



## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: ROMÁRIO DE SOUZA LIMA

MATRÍCULA: 2017666577

### RESULTADO

Aos 28 dias do mês de dezembro de 2018 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“ESTUDO DE ALVENARIAS DE VEDAÇÃO REFORÇADAS COM TRELIÇAS PLANAS ARAMADAS COM USO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL: O EXEMPLO DA MURFOR®”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 90

CONCEITO: -----

### BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof. Dr.ª Maria Teresa Paulino Aguilar (UFMG)

Nome

Assinatura

Prof. Dr.ª Rosemary Bom Conselho Sales (UEMG)

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO"

Belo Horizonte, 28 de dezembro de 2018

Coordenador do Curso  
Prof. Antonio Neves  
de Carvalho Júnior  
Coordenador do Curso

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta monografia aos meus familiares, todos, e em especial aos meus pais e irmãos, sempre próximos a mim, seja no incentivo aos estudos ou no amor verdadeiro.

## **AGRADECIMENTOS**

À UFMG, na pessoa da querida Maria Teresa, que independente de sua área de atuação sempre se mostrou solícita, seja nas orientações ou em suas aulas que tanto me instigaram e motivaram a continuar na academia. Às empresas Belgo Bekaert Arames e ArcelorMittal por apoiarem o desenvolvimento técnico, pessoal e humano de seus profissionais e clientes. Ao Eng.º de Estruturas Roberto de Araújo Coelho pelas demonstrações práticas em dimensionamentos, auxílio no desenvolvimento e à empresa UrbBox pelo trabalho de programação e desenvolvimento do programa de verificação.

Agradeço aos funcionários do DEMC – Departamento de Materiais de Construção, na pessoa dos seguintes amigos: Ivonete, Ariela e Gilmar, pelos inestimáveis apoios administrativos. E aos demais professores desta especialização, todos sem exceção, contribuíram a minha formação, portanto aqui fica a minha consideração.

## RESUMO

As alvenarias de vedações, agravadas pelas tipologias construtivas contemporâneas, são elementos frequentemente acometidos por patologias. A utilização de reforços de juntas horizontais de assentamento por intermédio de treliças planas aramadas, amplamente empregadas em construções europeias, têm se mostrado uma alternativa técnica interessante na prevenção de fissuras e já fazem parte de projetos de racionalização de alvenarias no Brasil. Sua adoção aumenta a resistência das alvenarias quanto aos esforços de tração e cisalhamento, melhorando o desempenho dessas estruturas frente aos modelos construtivos vigentes. Entretanto, seu uso requer cuidados construtivos para que se possa usufruir, ao máximo, de seus benefícios. Esse trabalho compila as informações técnicas acerca das alvenarias de vedação reforçadas com esses elementos em todas as tipologias de blocos existentes no Brasil, descrevendo os pontos críticos de sua utilização por intermédio de um programa de cálculo online e gratuito.

**Palavras-chave:** Alvenaria reforçada, junta de assentamento reforçada, Murfor®.

## **ABSTRACT**

The fencing walls, aggravated by contemporary building typologies, are elements often affected by pathologies. The use of reinforcements in horizontal laying joints by means of flat wire trusses, widely used in European constructions, has proved to be an interesting technical alternative in the prevention of cracks and is already part of masonry rationalization projects in Brazil. Its adoption increases the masonry's resistance to tension and shear stresses, improving the performance of these structures in the face of current construction models. However, its use requires constructive care in order to make the most of its benefits. This work compiles technical information about masonry reinforced with these elements in all types of blocks existing in Brazil, describing out the critical points of their use through a free online calculation program.

**Key-words:** Reinforced masonry, reinforced bed joint, Murfor®.



## SUMÁRIO

<b>Introdução</b>	<b>09</b>
<b>Capítulo 1: Fundamentação teórica</b>	<b>11</b>
<b>Capítulo 2: Classificação das alvenarias</b>	<b>14</b>
2.1 Aplicações das alvenarias reforçadas	17
<b>Capítulo 3: Tópicos de dimensionamento</b>	<b>19</b>
<b>Capítulo 4: Metodologia de obtenção dos dados</b>	<b>22</b>
4.1 Determinação das propriedades das alvenarias	22
4.2 Cálculo de alvenarias submetidas a cargas perpendiculares ao seu plano – flexão transversal	24
4.3 Cálculo de alvenarias (viga parede) submetidas a cargas no seu plano – flexão vertical	28
4.4 Cálculo de vergas – flexão vertical	30
<b>Capítulo 5: Resultados e discussão</b>	<b>33</b>
<b>Considerações finais</b>	<b>36</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>38</b>

## INTRODUÇÃO

As alvenarias de vedação agravadas pelas tipologias construtivas contemporâneas, são elementos frequentemente acometidos por patologias. A utilização de reforços de juntas horizontais de assentamento por intermédio de treliças planas aramadas, amplamente empregadas nas construções europeias, tem se mostrado uma alternativa técnica interessante na prevenção de fissuras e já fazem parte de projetos de racionalização de alvenarias no Brasil.

Sua adoção aumenta a resistência das alvenarias quanto aos esforços de tração e cisalhamento, melhorando o desempenho dessas estruturas frente aos modelos construtivos vigentes. Entretanto, seu uso requer cuidados construtivos para que se possa usufruir, ao máximo, de seus benefícios. Esse trabalho compila as informações técnicas acerca das alvenarias de vedação reforçadas com esses elementos, apontando os pontos críticos de sua utilização.

As alvenarias, sejam de vedação ou estrutural, são estruturas de placa, muito rígidas no seu plano, com elevada resistência à compressão e muito suscetíveis aos esforços de tração. A inserção de uma pequena taxa de armadura nas juntas de assentamento confere às alvenarias um aumento significativo no seu desempenho final. Para solucionar a baixa aderência entre a argamassa de assentamento e a armadura tradicional, reta e lisa, foi desenvolvida uma treliça plana galvanizada, denominada Murfor<sup>®</sup>. Suas barras, duas longitudinais e uma senoidal, são soldadas no mesmo plano, possibilitando a inserção nas juntas tradicionais, sem necessidade de acréscimo de espessura. A barra senoidal interna confere a aderência necessária entre a treliça e a argamassa, para que o conjunto, parede-treliça, tenha um comportamento elástico, possibilitando o dimensionamento com base nas formulações disponíveis para este fim. A seguir, serão apresentados procedimentos para dimensionamento de situações mais usuais de paredes, com base em critérios do Eurocode, por intermédio de um software de verificação online.

Este software terá como objetivos verificar diferentes tipologias de alvenarias com distintos tipos de blocos e cargas, especificando, quando necessário o uso da treliça plana aramada. Difundir a solução aos segmentos da engenharia civil, especialmente aos escritórios de cálculo, construtoras, engenheiros, pesquisadores e estudantes também é um dos objetivos, haja vista que o domínio técnico de

qualquer processo construtivo é de fundamental importância para o correto uso. Possibilitando o acesso a uma solução de qualidade, com potencial para redução de custo total, altamente produtiva, com racionalização aliada a otimização de elementos construtivos, tais como, cintas, pilaretes, vergas e contra-vergas.

## Capítulo 1: Fundamentação teórica

Um tijolo isolado não tem muita significância, mas a partir do assentamento do segundo já se tem uma intenção, um propósito de comunicar algo. Nesse sentido, Rocha (2007) descreve o surgimento filosófico da arquitetura e do muro, representando um desafio ao engenho do homem uma vez que o processo de agregação de pedras soltas já demandava desempenhos relacionados à coesão e estabilidade dessas estruturas. No passado essas estruturas se iniciaram com baixas alturas, largas e pesadas, muros essencialmente baseados nos conceitos de geometria e gravidade. Atualmente, contamos com elementos de vedação e sistemas estruturais cada vez mais leves e discretos, tornando-se importante um equilíbrio entre o grau de resistência e ductilidade das peças constituintes.

Conforme Lourenço (2005), os problemas de concepção e execução nos projetos envolvendo as alvenarias respondem por aproximadamente 25% do total de anomalias nos edifícios. De acordo com Oliveira (2009) e Nascimento (2005), atualmente, a velocidade de execução das obras, presença de grandes vãos e a redução da rigidez das estruturas são fatores que favorecem as ocorrências de patologias tais como fissurações, rupturas e infiltrações. O autor comenta ainda que, a demanda por edifícios com maior número de vagas de garagem, por processos construtivos de elevada produtividade e pela busca de custos cada vez mais baixos tendem a gerar edifícios cada vez mais altos e com balanços mais proeminentes, isso dificulta significativamente o desempenho das alvenarias e suas ligações com as estruturas reticuladas, fazendo com que as alvenarias necessitem de melhorias na absorção de tensões de tração e cisalhamento.

Frente a esse cenário, Nascimento (2005) descreve os desafios do sistema alvenaria e as respectivas tendências na engenharia de projetos e linhas de pesquisas relacionadas com o desempenho em dimensões reais, modelamento matemático do comportamento, equalização das tensões e deformações, monitoramento e controle tecnológico durante a execução e investimentos em laboratórios. O setor siderúrgico nacional, por sua vez, vem desenvolvendo e introduzindo produtos que compõem soluções interessantes para as alvenarias, muitos desses, consagrados pelo uso na Europa. Exemplo disso vem sendo a oferta

de uma treliça plana aramada galvanizada, fabricado por um grande grupo siderúrgico no Brasil, com ampla utilização na Europa a mais de 40 anos.

Figura 1 – Esquema ilustrativo sobre a treliça Murfor®



Fonte: Acervo técnico Belgo Bekaert, 2018.

Segundo Timperman (2002) e Rezende (2012), essa treliça pré-fabricada funciona como um elemento de reforço embutido na argamassa de assentamento horizontal dos blocos, que envolvida pela argamassa, aumenta a resistência à tração da alvenaria. Esta treliça é constituída por dois fios longitudinais, com bitolas de 4 mm, endentados e unidos entre si por um fio senoidal contínuo ligeiramente mais fino (3,75 mm). Ambos arames possuem resistência à tração e limite de escoamento de pelo ao menos 500 N/mm<sup>2</sup>, com resistência ao cisalhamento no ponto de solda de pelo ao menos 2500 N.

Figura 2 – Aplicação da treliça Murfor® em obra



Fonte: Pol Timperman, 2002.

Afnor (2003) e Penna et al. (2015) descrevem quatro tipos de produtos aplicáveis ao reforço de juntas de argamassa para assentamento de unidades de alvenaria, sendo estes: malha de aço soldada na forma retangular, na forma treliçada com seções circulares ou prismáticas, malha de arames trançados e tiras de chapa de metal expandida.

Na norma Eurocode 6 – Design of masonry structures, há especificidades correlatas aos reforços de alvenarias nas seguintes partes: Part 1 –General rules for reinforced and unreinforced masonry structures e Part 2 – Design considerations, selection of materials and execution of masonry (AFNOR, 2006).

Segundo Bolognini, Calvi e Pena (2007) a introdução de reforços de juntas de assentamento horizontais é uma prática fácil que não altera significativamente a rotina construtiva. Esses autores descrevem que o uso de juntas reforçadas, por melhorarem a resistência à flexão, possibilita a construção facilitada de vergas e contravergas.

Como no Brasil a adoção dessas treliças de reforço é relativamente recente, pode-se admitir que muitos aprimoramentos quanto aos processos construtivos e da normalização técnica, devidamente ajustada à realidade nacional, deverão ocorrer nos anos vindouros. Mais recentemente, ocorreu a implementação da ABNT NBR

15575: 2013, que está sendo popularmente conhecida como a “Norma de Desempenho”, seguindo uma tendência mundial (ANDERY e BARBOSA, 2016).

## Capítulo 2: Classificação das alvenarias

As alvenarias podem ser classificadas sob diversos parâmetros e terminologias, em parte, distintamente peculiarizadas por autores sob influência de aspectos regionais. Dentre estes parâmetros, sugere-se a seguinte compilação:

### a. Finalidade ou função:

- Não resistentes: alvenarias de vedação, sem função estrutural;
- Resistentes: alvenarias autoportantes ou estruturais;
- Especiais: acústica, térmicas, impactos, isolamentos de radiações, por exemplo, dentre outros.

Nascimento (2004) inclui ainda nesse parâmetro a classe das alvenarias divisórias de bordo livre se referindo aos muros e aquelas de platibandas.

### b. Posicionamento:

- Exterior ou envolvente;
- De interior ou de compartimentação.

Nascimento (2004) apresenta outro viés classificatório envolvendo esse aspecto, apresentando o mesmo como uma classificação em função do tipo de exposição, acrescentando as classes: interna revestida, interna aparente, externa revestida, externa aparente e as especiais.

### c. Presença de reforços:

- Não armada: alvenarias sem elementos de reforços, erguidas pela sobreposição ordenada e predefinida de suas unidades com junções de argamassa. Segundo Vasconcelos *et al.* (2007), o Brasil é um exemplo de utilização industrial da alvenaria não armada por que a ação de sismos não é levada em conta nos dimensionamentos estruturais.

- Armada: alvenaria com armadura, especialmente nas juntas.

Os termos derivados dos verbos armar e reforçar geram confundimentos no das alvenarias. Embora ambos possam traduzir a introdução de elementos de reforço, normalmente de aço, esses termos são, pela força e costume do uso, aplicáveis com elementos de reforço nas juntas horizontais e ou nas células verticais dos blocos seguidos de concretagem ou grauteamento. Os elementos de reforço vertical podem ser discretamente protendidos da base ao topo do pano de alvenaria. Modelos construtivos estes, típicos do conjunto de soluções que compõem as alvenarias estruturais. Já o termo alvenaria reforçada subentende-se aquela munida, predominantemente, de armaduras ou reforços de juntas horizontais de assentamento.

d. Bordos:

- De bordos livres: muros e platibandas;
- Confinadas.

Os elementos de reforço que constituem os bordos de confinamento de módulos ou panos de alvenaria podem ser considerados uma estrutura a parte, embora possam, inclusive, ter seus pilaretes, vigas ou cintas moldadas por dentro da alvenaria. Ou seja, são alvenarias confinadas, podendo ter ou não reforços extras em suas juntas horizontais de assentamento.

e. Número e sistema de ligação alvenaria/estrutura:

- 04 ligações rígidas: sistema rígido;
- 03 ligações rígidas e 01 deformável: sistema semirrígido;
- 01 ligação rígida e 03 deformáveis: sistema deformável.

f. Número de planos verticais:

- Simples;
- Dupla.

g. Espessura:

- 0,10 m / 0,15 m / 0,20 m / 0,25 m e outras medidas.



h. Exposição ou tipo de revestimento:

- Aparente: sem revestimento;
- Revestida.

i. Tipo de bloco:

- Bloco cerâmico vazado;
- Bloco de concreto;
- Bloco de concreto celular autoclavado;
- Tijolo cerâmico maciço;
- Blocos de pedra natural;
- Blocos de pedra artificial.

j. Características geométricas:

- Grupo 1: constituídas por unidades maciças ou com reduzida furação ( $\leq 25\%$  do volume ocupado pelos furos verticais em relação ao volume total). Ex.: blocos de concreto celular autoclavado, blocos de pedra natural etc.;
- Grupo 2: constituídas por unidades de furos verticais ocupando de 20 a 55% do volume total. Ex.: tijolos cerâmicos furados;
- Grupo 3: constituídas por unidades de furos verticais ocupando de 55 a 70% do volume total. Ex.: blocos de concreto vazados;
- Grupo 4: constituídas por unidades com furação horizontal. Ex.: blocos cerâmicos.

k. Controle de qualidade da produção:

- Categoria I: maior controle de qualidade normalmente associada com o uso de argamassas calculadas ou prescritas;
- Categoria II: menor controle de qualidade.

Assim, as descrições de alvenarias passam por combinações provenientes de sua classificação como, por exemplo, alvenaria simples de vedação 0,15 armada confinada semirrígida. Dentro dessa premissa, quanto mais completo for o detalhamento taxonômico maior será o entendimento técnico acerca da alvenaria em questão.

Nascimento (2004) destaca ainda a importância dessa taxonomia no uso de recursos disponíveis para dimensionamentos e nas definições do modelo estrutural a ser adotado nos cálculos e projetos de alvenaria. Ou seja, as definições existentes sob as denominações classificatórias são entradas normalmente solicitadas por programas de cálculo.

## **2.1 Aplicações das alvenarias reforçadas**

Vasconcelos *et al.* (2007), descrevem que, analogamente ao concreto armado, as armaduras transformam a alvenaria em uma estrutura mais capaz de resistir aos esforços de tração. Timperman (2002) descreve que tanto o concreto quanto a alvenaria são caracterizados por elevada resistência à compressão e limitada resistência à tração e ao cisalhamento, e que esse comportamento tende a sujeitar as alvenarias à ruptura.

Para Lourenço (2005) a introdução de reforços de junta nas alvenarias dá origem a um compósito que cumpre três papéis, aumentar a ductilidade na direção horizontal da alvenaria, evitando a rigidez de sua execução, permitir a manutenção da concepção da alvenaria tradicional e permitir controle do fendilhamento.

Segundo Timperman (2002) os reforços de juntas horizontais de assentamento são empregados para melhorar o desempenho de alvenarias, absorvendo as tensões de tração e cisalhamento e prevenindo fissuras, principalmente em situações nas quais a ocorrência de trincas é mais frequente.

Dentre essas aplicações pode se citar as seguintes situações:

- Muros sujeitos a recalques de base (recalques diferenciais);
- Aumento do intervalo entre juntas de movimentação;
- Vedações de vão de maiores dimensões;
- Alvenarias que recebem carregamentos concentrados (cargas pontuais);
- Paredes subterrâneas sujeitas ao carregamento lateral devido a pressão do solo;
- Paredes contidas entre lajes e vigas com deformações estruturais;
- Vergas e contravergas atuando sobre a concentração de tensões ao redor dos cantos de vão livres de portas e janelas;

- Paredes com mudanças de níveis com concentração de tensões;
- Conexões entre paredes;
- Fechamentos de arestas como, por exemplo, empenas de telhados.

### Capítulo 3: Tópicos de dimensionamento

Na última década, têm-se observado uma crescente adoção de projetos de alvenaria de vedação tendo em vista a busca por um maior grau de racionalização dos processos construtivos, envolvendo ganhos de produtividade e redução de desperdícios de trabalho e materiais. Nascimento (2005) descreve pré-requisitos importantes para se fundamentar um bom projeto de alvenaria de vedação. Esses aspectos são: conhecimento das condições de contorno do projeto, avaliação de outros projetos (arquitetônico, instalações, estrutural, fundações), condições climáticas, características arquitetônicas e estruturais, avaliação estrutural, características dos materiais de vedação incluindo as esquadrias e cobertura e o detalhamento do procedimento executivo.

Informações climáticas sobre temperatura, umidade relativa, pluviometria e suas respectivas variações podem ser obtidos por relatórios denominados de normais climatológicas que congregam séries históricas desses dados. Ventos predominantes e aspectos de insolação devem ser analisados a luz da planta de situação do imóvel em questão e sua circunvizinhança. Cumpre ressaltar ainda que, para obras situadas a beira mar, é fundamental analisar o fluxo de brisas marítimas (maresia) o que interferirá sobremaneira na escolha dos materiais e dimensionamento dos revestimentos, especialmente por que as treliças de reforço, embora constituídas por aço galvanizado, enquanto metálicas estão sujeitas ao processo corrosivo.

Segundo Nascimento (2005) uma alvenaria de vedação deve ser dimensionada sob os seguintes aspectos funcionais: estabilidade, processos de fissuramentos, impactos, resistência ao fogo, estanqueidade, conforto higrotérmico, habitabilidade, conforto acústico, conforto visual, conforto tátil, higiene e durabilidade.

Durante a fase de dimensionamento do projeto de alvenaria, algumas variáveis críticas passam a governar os cálculos e análises. Dentre essas, pode-se destacar:

- Respeito ao critério ou índice de esbeltez ( $\lambda$ ) que é a razão entre a altura efetiva da parede e a espessura do bloco constituinte. Este é um parâmetro fundamental para os dimensionamentos e análise estrutural de paredes;
- Dispor de valores de resistência à compressão dos blocos e argamassas;
- Ter em mãos a magnitude de todos os carregamentos envolvidos no sistema, partindo do pressuposto que as paredes não estruturais, no plano, encontram-se somente submetidas a ações devido ao peso próprio;
- Avaliação da parede quanto à flexão vertical;
- Avaliação da parede quanto aos carregamentos laterais;
- Dimensionamento de vergas e contra-vergas;
- A área mínima da seção de aço que, em conformidade com normas europeias, deve ser de 0,03% da área da seção da parede e o espaçamento vertical entre as juntas reforçadas não deve exceder aos 600 mm. Para efeito de cálculo apenas os fios longitudinais da treliça plana aramada são considerados no somatório da seção de aço;
- Detalhamento da distribuição das fiadas reforçadas;
- Definição do tipo de revestimento da armadura em função da situação de uso.

AFNOR (2006) através na norma EN 1996-1 que por sua vez chama a norma EN 1996-2 detalha as recomendações acerca dos tipos de revestimentos ou materiais aplicáveis aos reforços metálicos de acordo com as micro condições de exposição das estruturas. Essas micro condições são classificadas em MX1 a MX4 de acordo com seu grau de agressividade ou potencial de corrosão.

Timperman (2002) apresenta três tipos de materiais para as treliças Murfor®, arame galvanizado a fogo com camada tipo leve (gramatura mínima de 70 gr/m<sup>2</sup>), arame galvanizado leve seguindo de camada epóxi (espessura mínima de 80 microns) e aço inoxidável tipo AISI 304, indicando-os conforme a atmosfera de exposição.

Analisando a disponibilidade de materiais proposta por Timperman (2002) e as recomendações referenciadas por AFNOR (2006) pode-se sugerir a seguinte compilação para as treliças aramadas planas:

- Treliças com galvanização leve podem ser empregadas em alvenarias aparentes quando a micro condição de exposição destas é um ambiente predominantemente seco;
- Para alvenarias expostas à umidade, reforçadas com treliças tipo galvanizadas leves, recomenda-se a aplicação de argamassa de revestimento nas faces expostas. Do contrário, recomenda-se uma treliça com galvanização tipo camada pesada;
- Em regiões costeiras, nas alvenarias expostas à micro condição de maresia, ar saturado com sal, recomenda-se o uso de treliças planas galvanizadas em camada leve revestidas com pintura epóxi numa espessura mínima de 80 micrometros, com uso de reboco nas faces expostas;
- Em alvenarias em contato com meios quimicamente agressivos, recomenda-se o uso de treliças planas confeccionadas em aço inoxidável tipo AISI 304.

## Capítulo 4: Metodologia de obtenção dos dados

### 4.1 Determinação das propriedades das alvenarias

As determinações das propriedades das alvenarias consideram procedimentos que são comuns para todos os cálculos apresentados nos itens seguintes.

1º) Verificar se as dimensões da parede estão dentro dos limites permitidos:

- $L/w$  (comprimento/espessura)  $\leq 120$  e
  - $H/w$  (altura/espessura)  $\leq 80$

Onde:

- $L$  = comprimento da parede;
- $H$  = altura da parede;
- $w$  = largura do bloco ou espessura da parede (sem revestimento).

Caso estas condições sejam atendidas, faz-se necessário verificar:

Parede apoiada 4 lados:

- Se  $(L/w) \leq 30$  então  $(H/w) \leq 80$ ;
- Se  $30 < (L/w) \leq 40$  então  $(H/w) \leq 130 - 2(L/w)$ ;
- Se  $40 < (L/w) \leq 120$  então  $(H/w) \leq 60 - 0,25(L/w)$ .

Parede apoiada 3 lados:

- Se  $(L/w) \leq 40$  então  $(H/w) \leq 80$ ;
- Se  $40 < (L/w) \leq 55$  então  $(H/w) \leq (2500/15) - (40/15) \cdot (L/w)$ ;
- Se  $55 < (L/w) \leq 120$  então  $(H/w) \leq (315/13) - (L/w)/13$ .

2º) Determinar a resistência à compressão normalizada do bloco ( $f_b$ ), em  $N/mm^2$ , conforme EN 772-1, utilizando os parâmetros fornecidos nas tabelas abaixo e com base na resistência à compressão característica do bloco ( $f_{bk}$ ):

Tabela 1 – Tipos de blocos

Tipo de unidade	Tipo	Grupo	k	a
Bloco concreto vazado	B1	G2	0,45	1,2
Bloco cerâmico estrutural, furo vertical	B2	G3	0,35	
Bloco cerâmico estrutural, furo vertical, tipo colméia	B3	G2	0,45	
Bloco cerâmico vedação, furo horizontal	B4	G4	0,35	
Tijolo cerâmico maciço	B5	G1	0,55	
Bloco concreto celular autoclavado	B6	G1	0,55	0,8

Fonte: EN 772-1, 2000.

Tabela 2 – Valores de “d” conforme Tabela A1 (Anexo A, EN 772 – 1)

		Largura (w) - mm												
		50	75	90	100	115	120	125	140	150	175	190	200	≥250
Altura (h) - mm	40	0,80	0,75	0,72	0,70	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	50	0,85	0,80	0,77	0,75	0,74	0,73	0,73	0,71	0,70	nd	nd	nd	nd
	65	0,95	0,90	0,87	0,85	0,82	0,81	0,80	0,77	0,75	0,73	0,71	0,70	0,65
	90	1,09	1,03	0,98	0,96	0,93	0,92	0,91	0,88	0,86	0,81	0,79	0,77	0,72
	100	1,15	1,08	1,03	1,00	0,97	0,96	0,95	0,92	0,90	0,85	0,82	0,80	0,75
	120	1,21	1,15	1,11	1,08	1,05	1,04	1,03	1,00	0,98	0,93	0,90	0,88	0,83
	140	1,27	1,21	1,17	1,15	1,12	1,11	1,10	1,07	1,05	1,00	0,97	0,95	0,90
	150	1,30	1,25	1,22	1,20	1,17	1,16	1,15	1,12	1,10	1,05	1,02	1,00	0,95
	190	1,42	1,37	1,34	1,32	1,29	1,28	1,27	1,24	1,22	1,17	1,14	1,12	1,07
	200	1,45	1,40	1,37	1,35	1,32	1,31	1,30	1,27	1,25	1,20	1,17	1,15	1,10
≥250	1,55	1,50	1,47	1,45	1,42	1,41	1,40	1,37	1,35	1,30	1,27	1,25	1,15	

Fonte: EN 772-1, 2000.

Onde:

h = altura do bloco ;

w = largura ou espessura do bloco

 $f_b = a.d.f_{bk}$ 

3º) Fornecer a resistência à compressão da argamassa de assentamento ( $f_m$ ), em  $N/mm^2$ , sendo que este valor deve ser inferior ao menor dos dois valores:  $20 N/mm^2$  ou  $2.f_b$ .



4º) Determinar a resistência característica da parede ( $f_k$ ), em N/mm<sup>2</sup>, de acordo com a fórmula 3.2 do Eurocode 6:

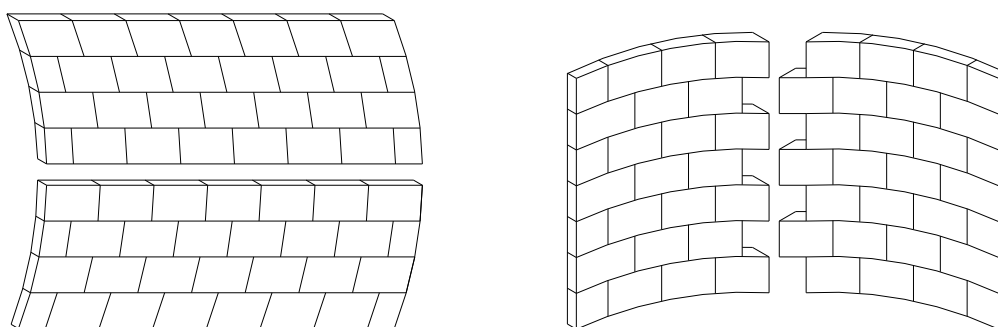
$$f_k = k \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3}$$

#### 4.2 Cálculo de alvenarias submetidas a cargas perpendiculares ao seu plano – Flexão transversal

Podem ser adotados 2 tipos de paredes isoladas : apoiada nos 4 lados ou com o bordo superior livre (apoiada em 3 lados).

1º) Calcular os momentos fletores atuantes na parede:

Figura 3 – Mecânica de atuação de momentos fletores



$f_{xk1}$

(paralelo às juntas de assentamento)

$f_{xk2}$

(perpendicular às juntas de assentamento)

Fonte: Acervo técnico Belgo Bekaert, 2018.

Tabela 3 – Resistência à compressão da argamassa

TIPO BLOCO	$f_{xk1} (//) \text{ N/mm}^2$		$f_{xk2} (\perp) \text{ N/mm}^2$	
	Resistência à compressão da argamassa		Resistência à compressão da Argamassa	
	$f_m < 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m < 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 5 \text{ N/mm}^2$
B1	0,05	0,10	0,20	0,40
B2 a B5	0,10	0,10	0,20	0,40
B6	0,05	0,10	0,20	0,20

Fonte: EN 772-1, 2000.

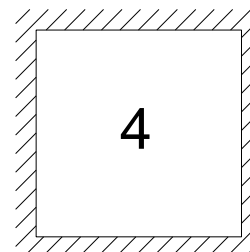
a) Calcular o coeficiente de ortogonalidade ( $\mu$ ) a partir da tabela acima, sendo:

$$\mu = f_{xk1} / f_{xk2}$$

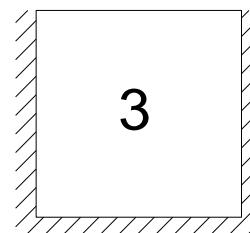
b) Determinar “ $\alpha$ ” com base em  $\mu$  e H/L de acordo com as tabelas abaixo e tipo de apoio das paredes

Tabelas 4 e 5 – Relação H/L

		H/L							
$\mu$	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
<b>1,00</b>	0,008	0,018	0,030	0,042	0,051	0,059	0,066	0,071	
<b>0,90</b>	0,009	0,019	0,032	0,044	0,054	0,062	0,068	0,074	
<b>0,80</b>	0,010	0,021	0,035	0,046	0,056	0,064	0,071	0,076	
<b>0,70</b>	0,011	0,023	0,037	0,049	0,059	0,067	0,073	0,078	
<b>0,60</b>	0,012	0,025	0,040	0,053	0,062	0,070	0,076	0,081	
<b>0,50</b>	0,014	0,028	0,044	0,057	0,066	0,074	0,080	0,085	
<b>0,40</b>	0,017	0,032	0,049	0,062	0,071	0,078	0,084	0,088	
<b>0,35</b>	0,018	0,035	0,052	0,064	0,074	0,081	0,086	0,090	
<b>0,30</b>	0,020	0,038	0,055	0,068	0,077	0,083	0,089	0,093	
<b>0,25</b>	0,023	0,042	0,059	0,071	0,080	0,087	0,091	0,096	
<b>0,20</b>	0,026	0,046	0,064	0,076	0,084	0,090	0,095	0,099	
<b>0,15</b>	0,032	0,053	0,070	0,081	0,089	0,094	0,098	0,103	
<b>0,10</b>	0,039	0,062	0,078	0,088	0,095	0,100	0,103	0,106	
<b>0,05</b>	0,054	0,076	0,090	0,098	0,103	0,107	0,109	0,110	



		H/L							
$\mu$	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
<b>1,00</b>	0,031	0,045	0,059	0,071	0,079	0,085	0,090	0,094	
<b>0,90</b>	0,032	0,047	0,061	0,073	0,081	0,087	0,092	0,095	
<b>0,80</b>	0,034	0,049	0,064	0,075	0,083	0,089	0,093	0,097	
<b>0,70</b>	0,035	0,051	0,066	0,077	0,085	0,091	0,095	0,098	
<b>0,60</b>	0,038	0,053	0,069	0,080	0,088	0,093	0,097	0,100	
<b>0,50</b>	0,400	0,056	0,073	0,083	0,900	0,095	0,099	0,102	
<b>0,40</b>	0,043	0,061	0,077	0,087	0,093	0,098	0,101	0,104	
<b>0,35</b>	0,045	0,064	0,080	0,089	0,095	0,100	0,103	0,105	
<b>0,30</b>	0,048	0,067	0,082	0,091	0,097	0,101	0,104	0,107	
<b>0,25</b>	0,050	0,071	0,085	0,094	0,099	0,103	0,106	0,109	
<b>0,20</b>	0,054	0,075	0,089	0,097	0,102	0,105	0,108	0,111	
<b>0,15</b>	0,060	0,080	0,093	0,100	0,104	0,108	0,110	0,113	
<b>0,10</b>	0,069	0,087	0,098	0,104	0,108	0,111	0,113	0,115	
<b>0,05</b>	0,082	0,097	0,105	0,110	0,113	0,115	0,116	0,117	



Fonte: EN 772-1, 2000.

c) Calcular o momento fletor atuante perpendicular às juntas:

$$MR_{\perp} = \alpha \cdot W_k \cdot 1,4 \cdot L_2$$

d) Onde  $W_k$  = carga perpendicular ao plano da parede

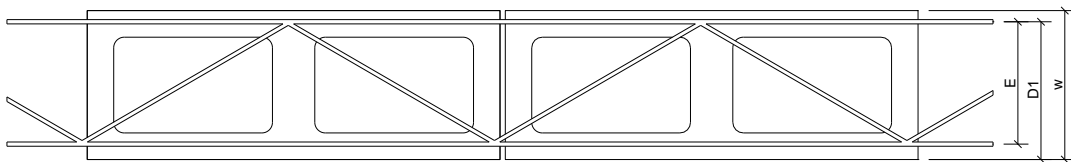
e) Calcular o momento fletor atuante paralelo às juntas:  $M_{R//} = \mu \cdot M_{R\perp}$

2º) Determinar a distância entre o centro da armadura tracionada e a extremidade comprimida da parede (D1):

$$D1 = (w + E) / 2$$

Onde: E = largura da treliça Murfor® (175, 115, 65 ou 50 mm)

Figura 4 – Murfor® vista superior



Fonte: Acervo técnico Belgo Bekaert, 2018.

3º) Verificar se o momento atuante é inferior à capacidade resistente da parede:

$$M_{R\perp} \leq [0,4 \cdot (f_k) \cdot (D1)^2] / 2,7$$

4º) Calcular a área de armadura necessária:

$$A_s = 1,4 \cdot M_{R\perp} / (f_{yd} \cdot Z)$$

Onde:

$f_{yd} = 200 \text{ N/mm}^2$  (para limitar a fissuração da parede)

$$Z = (D1/2) \cdot \{ 1 + [ 1 - (2 \cdot M_{R\perp} \cdot 2,7) / ((D1)^2 \cdot f_k) ]^{1/2} \}$$

$$Z \leq 0,95 \cdot D1$$

2,7 = coeficiente de segurança

5º) Calcular o número de treliças necessárias sendo apenas uma por fiada de bloco:

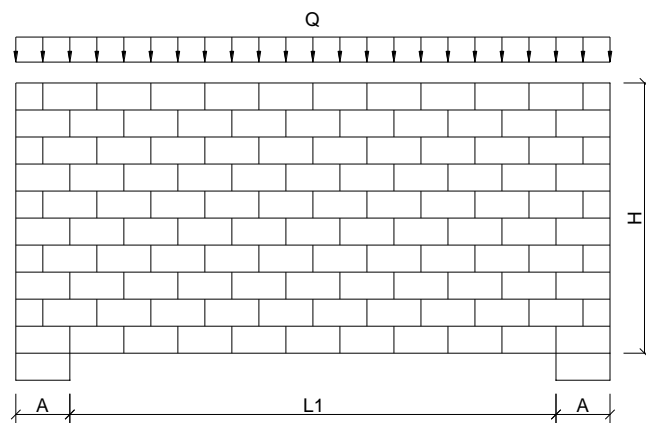
$$N\# = A_s / 12,5 \text{ mm}^2$$

Nota:  $N\# \leq$  número de fiadas por metro de altura de parede para que possam ser distribuídas nas fiadas de assentamento dos blocos

#### 4.3 Cálculo de alvenarias (viga-parede) submetidas a cargas no seu plano – Flexão Vertical

Para proceder o cálculo é necessário que a alvenaria tenha dimensões (L1 e H) que a classifiquem como viga-parede, sendo L o vão de cálculo.

Figura 5 – Viga parede



Fonte: Acervo técnico Belgo Bekaert, 2018.

1º) Verificar se as dimensões da parede estão dentro dos limites permitidos para cálculo como viga-parede:

L é o menor dos dois valores:

$$L1 + A$$

$$1,15 \cdot L1$$

$$L \leq 2.H$$

Onde:

- L1 = comprimento da parede entre apoios
  - H = altura
  - A = largura dos apoios laterais
- w = largura do bloco ou espessura da parede (sem revestimento)

2º) Determinar Z (distância entre os centros das armaduras e da região comprimida):

- Se  $(L/H) < 1$                               então  $Z = 0,6 . L$
- Se  $1 \leq (L/H) \leq 2$                         então  $Z = 0,2 . (L + 2.H)$

3º) Calcular o momento fletor atuante considerando a carga total Q (sobrecarga + peso próprio) atuante sobre o vão L:

$$M = ( Q . L^2 ) / 8$$

4º) Calcular a área de aço necessária ( $A_s$ ) e número de treliças Murfor<sup>®</sup>

$$A_s = 1,4 . M / (200.Z)$$

$$\text{Número de treliças Murfor}^{\text{®}} = A_s / 25 \text{ mm}^2$$

5º) Calcular a altura ( $HA_s$ ) onde será distribuída a armação positiva:

$$HA_s = (0,25.H - 0,05.L)$$

Distribuir as treliças ao longo da altura  $HA_s$ , a partir da base da primeira fiada. Caso o número de treliças seja superior ao de fiadas disponíveis em  $HA_s$ , a parede não atende ao carregamento imposto.

6º) Verificação do cisalhamento de paredes sem armação vertical:

$$f_{vd} = 1,4 \cdot R / (w \cdot Z)$$

$$f_{vd} \leq f_{vk1}$$

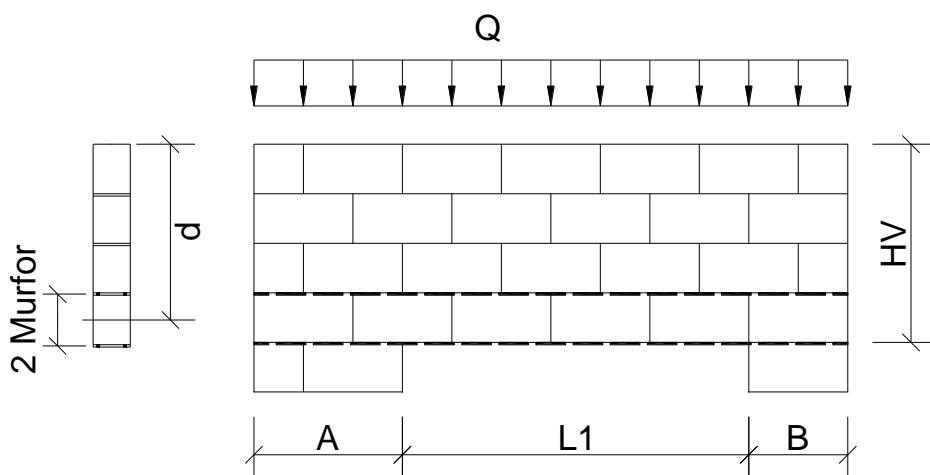
Onde:

- $f_{vk1} = 0,35 \text{ N/mm}^2$  para parede sem armadura vertical
- R = reação de apoio

#### 4.4 Cálculo de vergas – Flexão Vertical

O procedimento é similar ao da viga parede sendo que são consideradas, como padrão, apenas duas treliças Murfor<sup>®</sup>, uma na base da primeira fiada, envolvida pela argamassa de assentamento e outra no topo desta fiada. O escoramento deve ser mantido até que a argamassa atinja resistência adequada para garantir o trabalho conjunto treliça-bloco. Neste caso considera-se a verga sem armadura vertical de cisalhamento.

Figura 6 – Verga



Fonte: Acervo técnico Belgo Bekaert, 2018.

1º) Determinar o vão de cálculo (L) da verga:

L é o menor dos dois valores:

- $L1 + (A+B)/2$
- $L1 + HV/2$

Onde:

- $L1$  = comprimento da parede entre apoios
  - $HV$  = altura da verga
  - $A$  e  $B$  = largura dos apoios laterais
- $w$  = largura do bloco ou espessura da parede (sem revestimento)

2º) Determinar o momento resistente MR da verga

$$MR = A_s \cdot Z \cdot 200 \text{ N/mm}^2.$$

- $Z = 0,8 \cdot d$
- $d = h \cdot (n - 0,5)$
- $A_s = 50\text{mm}^2$  (2 treliças Murfor®)

Onde:

- $d$  = distância entre o centro gravidade das treliças e o topo da verga
- $h$  = altura do bloco
- $n$  = número inteiro de fiadas

3º) Calcular o momento fletor atuante considerando a carga total Q (sobrecarga + peso próprio) atuante sobre o vão L ou conforme prescrito nas normas técnicas.

- $M = (Q \cdot L^2) / 8$



- $M \cdot 1,4 \leq MR$

4º) Verificação do cisalhamento:

$$f_{vd} = 1,4 \cdot R / (w \cdot d)$$

$$f_{vd} \leq f_{vk1}$$

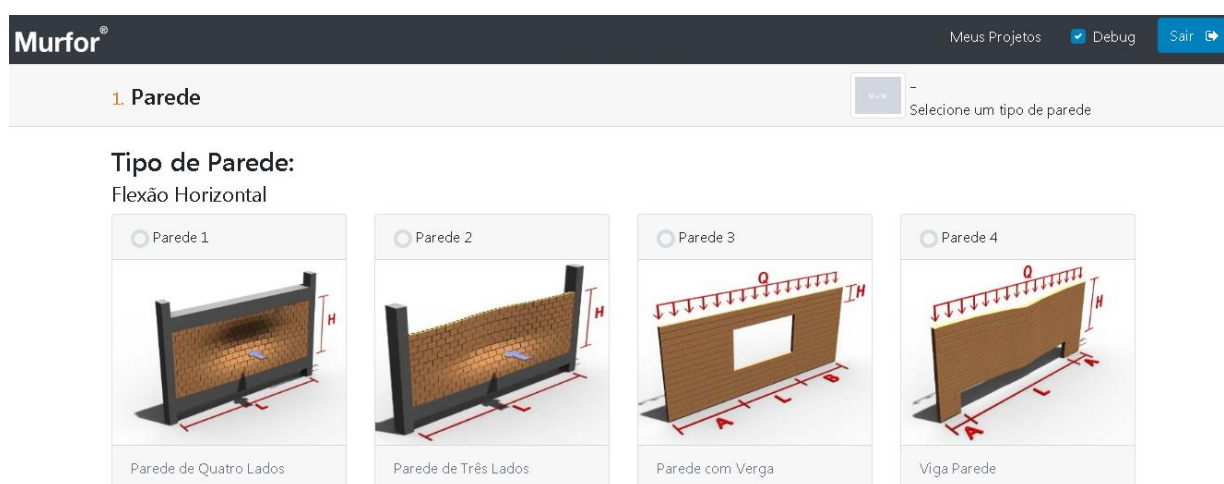
Onde:

- $f_{vk1} = 0,35 \text{ N/mm}^2$  para verga sem armadura vertical
  - $R =$  reação de apoio
  - $d = Z / 0,8$

## Capítulo 5: Resultados e discussão

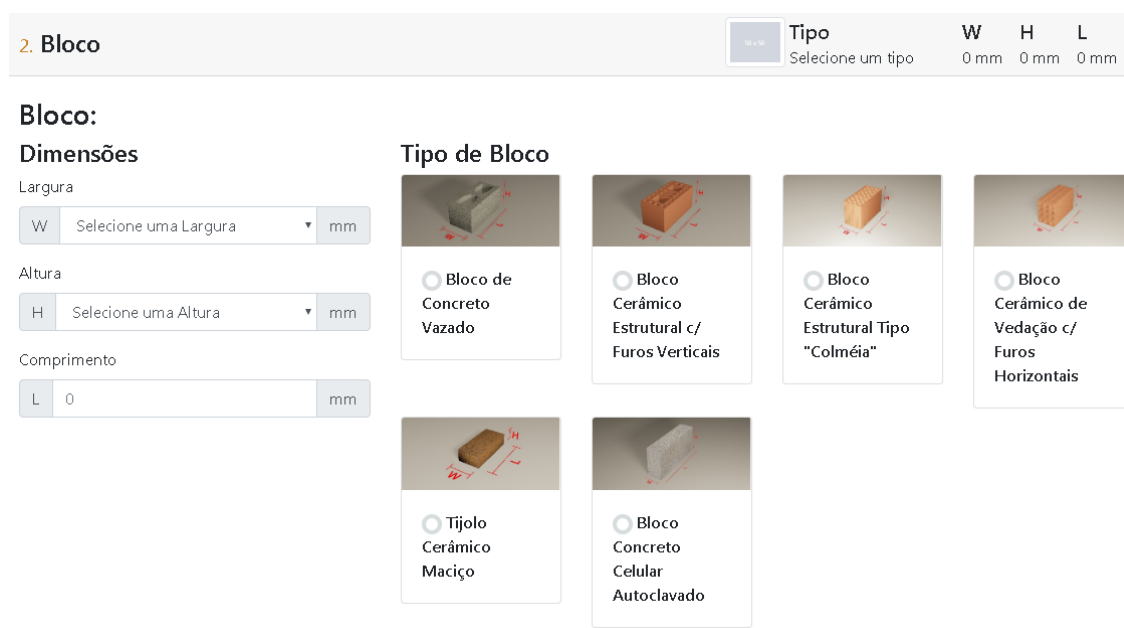
O endereço da web para acesso ao software é o: <https://calculo-murfor.herokuapp.com/>. O usuário têm a liberdade para se cadastrar e criar a própria conta, tendo acesso ao software de cálculo online para verificar os quatro tipos de paredes com tipos de blocos distintos e demais condições de contorno, conforme exemplo abaixo para um tipo de parede com verga:

Figura 7 – Tipos de paredes



Fonte: Software Murfor®, 2018.

Figura 8 – Tipos de blocos e suas dimensões



Fonte: Software Murfor®, 2018.

Figura 9 - Cargas

3. Cargas		$f_{bk}$	$f_m$	$\sigma_0$
		0 MPa	0 MPa	0 MPa
<b>Dados de Força:</b>				
Resistência à Compressão Característica do Bloco				
$f_{bk}$	0	MPa ou N/mm <sup>2</sup>		
Resistência à Compressão da Argamassa de Assentamento				
$f_m$	0	MPa ou N/mm <sup>2</sup>		
Pré-compressão				
$\sigma_0$	0	MPa ou N/mm <sup>2</sup>		

Fonte: Software Murfor®, 2018.

Figura 10 – Características da Parede

4. Características da Parede	
<b>Características da Parede:</b>	
L	0 mm
A	0 mm
B	0 mm
Q	0 Kgf/m
Número de fiadas	
N	0 und
Armadura de cisalhamento	
$A_{sv}$	0 cm <sup>2</sup> /m



Fonte: Software Murfor®, 2018.

## Figura 11 – Memória de Cálculo

Seus Resultados ×

Memória de Cálculo Resultados

Resultado

Adotar 1# na base e 1# no topo da fiada inferior. Avançar pelo ao menos 50 cm para cada lado da abertura mantendo escorado por no mínimo 21 dias (3 semanas)

Memória de Cálculo

<b>Tipo de bloco</b>	Bloco Concreto Vazado
<b>Tipo de parede</b>	Parede com Verga
<b>Comprimento do bloco (L)</b>	390 mm
<b>Altura do bloco (H)</b>	190 mm
<b>Largura do bloco (W)</b>	190 mm
<b>Resistência à compressão característica do bloco (<math>f_{bk}</math>)</b>	5.0 N/mm <sup>2</sup>

Fonte: Software Murfor®, 2018.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por ser a argamassa um material relativamente muito poroso, os reforços empregados nas juntas horizontais e verticais de assentamento precisam ser especiais para compensarem as deficiências do sistema alvenaria. Essa argamassa é responsável pela uniformidade e estabilidade de uma alvenaria, transfere e amortece esforços e, obrigatoriamente, deve ser resistente a esforços de tração e compressão, bem como absorver pequenas deformações da alvenaria.

Portanto, as argamassas em uma alvenaria estão sujeitas a esforços externos e internos, nas quais, em situações de esforços extremos, as argamassas e os blocos se fissuram e as propagações das fissuras geram trincas. Tal fato se dá em função de se ultrapassar o limite de absorção de esforços e deformações pelas argamassas.

Em unanimidade, os especialistas na área de alvenarias consideram que a melhor solução para evitar patologias devido às deformações provocadas por esforços externos e internos, deslocamentos e deformações do pacote externo dos edifícios, é o emprego de armações metálicas de reforço.

Como tendência, na busca por processos construtivos cada vez mais racionais, observa-se no mercado construtivo brasileiro o estabelecimento de um projeto complementar ao arquitetônico e ao estrutural, o projeto de alvenaria. A alvenaria armada ou reforçada é uma alternativa que pode melhorar o comportamento da estrutura edificada, mas ligada a ela, o engenheiro pode e deve associar outras medidas construtivas. Além disso, é imprescindível que procedimentos técnicos sejam aplicados ao seu uso. Negligenciá-los, sob a falsa impressão de que a simples introdução de armaduras nas juntas horizontais é suficiente para a prevenção ou solução de todas as patologias, pode não produzir os efeitos esperados.

Como qualquer tipo de desenvolvimento tecnológico, a consagração do uso de juntas reforçadas por treliças planas armadas, requer estudos e recomendações técnicas por profissionais habilitados, experimentação incessante por parte de pesquisadores e aprimoramentos técnicos, todos esses vetores devendo culminar com normas técnicas construtivas capazes de detalharem sua utilização na realidade das construções nacionais. Este software online têm a função de

desmistificar o seu uso e permitir acesso à informação de forma prática e corriqueira nos escritórios de cálculo, de engenharia, nas universidades e pelos estudantes de uma forma geral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR) – FRENCH STANDARD INSTITUTE. Specification for ancillary components for masonry. **Part 3: Bed joint reinforcement of steel meshwork**. European Standard. French Standard (NF EN 845-3), 28 p. 2003.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR) - FRENCH STANDARD INSTITUTE. Eurocode 6 – Design of masonry structures. **Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures**. European standard. French Standard (NF EN 1996-1 - 1), 123 p. 2006.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR) - French Standard Institute. Eurocode 6 – Design of masonry structures. **Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry**. European Standard. French Standard (NF EN 1996-2), 34 p. 2006.

ANDERY, P; BARBOSA, P. **Manual para contratação de projetos para o desempenho de edificações habitacionais**. 1. ed. Belo Horizonte: Sinduscon, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1**: Alvenaria estrutural – Blocos de Concreto – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2011.

BRITISH STANDARD. **EN 722-1**: Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of compressive strength. Londres, 2000.

BOLOGNINI, David. CALVI, Gian Michele & PENA, Andrea. Design of masonry structures with bed joint reinforcement. **Anais do seminário sobre paredes de alvenaria**. Lisboa. P. 21-40, nov. 2007.

EUROCODE 6. **Design of masonry structures – Part1-a**: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. 2005.

FONSECA, Fernando S.; MATHEW, Sunup; BENNET, Richard M. **The Masonry Standards Joint Committee- Deep Beam Requirements**. 2011.

LOURENÇO, Paulo B. **Alvenaria: Passado e presente**. Lisboa: Construção Magazine, 2005.

NASCIMENTO, Otávio Luiz do. **Alvenarias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.  
OLIVEIRA, Edna Alves. **Estudo numérico e experimental de paredes de alvenaria não estruturais reforçadas com armadura de junta submetidas à**

**flexão no seu plano.** 291 f. Tese (Pós-graduação em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PENNA, A. *et al.* Experimental assesment of the in-plane lateral capacity of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry walls with flat-truss bed-joint reinforcement. **Construction and Building Materials**, Pavia, v. 82, p. 155-166, mar. 2015.

REZENDE, Fabiana Martins de. **Estudo do comportamento mecânico de vergas armadas com treliças planas em alvenaria estrutural.** 102 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

ROCHA, J. Álvaro. **O contexto da alvenaria na arquitetura moderna.** Anais do seminário sobre paredes de alvenaria. Lisboa, p. 85-86, 2007.

TIMPERMAN, Pol. **Murfor®**, Reinforcement for masonry. N.V. Bekaert S.A.. Zwevegem, 2002.