

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE REFORÇOS ESTRUTURAIS EM CONTÊINERES ISO REUTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Yasmine L. Felipe^{1*}, Arlene M. C. Sarmanho¹, Geraldo D. de Paula¹ e Flávio T. de Souza²

¹Mestrado Profissional em Engenharia das Construções (MECON), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 35400-000, MG, Brasil

²Mestrado Profissional em Engenharia das Construções (MECON), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto, Ouro Preto, 35400-000, MG, Brasil

Palavras-chave: Contêineres ISO, Análise Estrutural, Reforços Estruturais, Método dos Elementos Finitos.

Resumo. Após o término de sua vida útil na cadeia logística, os contêineres marítimos geram um grande passivo ambiental. No entanto, são estruturas robustas, o que possibilita sua reutilização na construção civil, trazendo benefícios sociais e ecológicos. Neste caso, é comum que a estrutura original do contêiner sofra modificações com fins arquitetônicos, tais como a introdução de aberturas para portas e janelas em suas faces e mesmo a supressão total de chapas para que se obtenham espaços mais amplos pela composição de contêineres. Estas modificações podem demandar o uso de reforços estruturais para garantir o bom funcionamento da estrutura. Este trabalho avalia, via Método dos Elementos Finitos, as mudanças no comportamento estrutural em nove casos de contêineres com aberturas e os efeitos da introdução de reforços adequados a cada situação: localizados, no caso de aberturas nas faces, e globais no caso de supressão de chapas. O principal objetivo é indicar diretrizes para a habilitação estrutural de contêineres ISO reutilizados na construção civil. Os resultados demonstraram a eficiência dos reforços propostos, que, na maioria das situações, são capazes de aproximar o comportamento estrutural de contêineres com e sem aberturas.

*Endereço de e-mail: luzfelipe.y@gmail.com.

NUMERICAL ANALYSIS OF REINFORCEMENTS IN ISO CONTAINERS USED IN CIVIL CONSTRUCTION

Keywords: ISO Containers, Structural Analysis, Structural Reinforcements, Finite Element Method.

Abstract. After their lifespan, ISO containers may generate huge environmental liability. Due to their robust structure, they may be reused in civil construction, with social and environmental benefits. In these applications, containers usually are modified by architectural reasons, such as introduction of openings in lateral sheets to accommodate doors and windows and the removal of an entire sheet to obtain bigger spaces by composition of containers. These openings may demand structural reinforcements to assure the structure efficiency. This work analyzes nine different opening cases in containers reused in civil construction by Finite Element Method. Localized reinforcements are used in sheets openings, and global ones in sheets complete removal. The main target is defining guidelines to assure the adequacy of containers reused in civil construction. Results showed that, in most cases, the proposed reinforcements are efficient and capable of approximate the structural behavior of containers with and without openings.

1 INTRODUÇÃO

Os contêineres marítimos possuem uniformidade em seus sistemas estruturais e elevada resistência mecânica, uma vez que são construídos de acordo com as normas da Organização Internacional para Padronização [11, 12]. Sua vida útil na cadeia logística é de aproximadamente 10 anos. Depois disto, podem gerar um considerável passivo ambiental e social pelo seu abandono em portos ao redor do mundo. A sua reutilização na construção de edifícios pode ser uma alternativa para a mitigação deste problema [14].

Características como modularidade, disponibilidade, boa durabilidade, rápida montagem devida à pré-fabricação, redução de impactos ambientais, como a geração de resíduos durante a obra e a possibilidade de desmontagem e transporte da estrutura visando seu reaproveitamento justificam a opção pelo uso de contêineres em edificações [7]. Ressalta-se que a indústria da construção responde por cerca de 50 % do consumo de recursos em nível global [8], o que indica a responsabilidade dos profissionais da área em buscar a implementação de soluções atentas às necessidades ecológicas e sociais. A Figura 1 apresenta a moradia estudantil Keetwonen, em Amsterdã, em que foram reutilizados 1034 contêineres.



Figura 1: Keetwonen (Amsterdã) [20]

A estrutura de um contêiner é composta por seis faces: duas laterais, uma superior (teto), uma inferior (piso), uma que contém as portas e uma oposta às portas (de fundo) [18]. As paredes laterais, de fundo e o teto são compostas por chapas metálicas trapezoidais soldadas à estrutura principal. As portas também são metálicas, com mecanismo de fechamento em aço galvanizado e abrem totalmente para o exterior do contêiner. O piso é feito de madeira laminada ou compensada. Além disso, cada um dos oito cantos do contêiner possui conectores que são soldados à estrutura principal para facilitar o manuseamento e a sua fixação [14]. A estrutura principal é constituída por vigas laterais superiores e inferiores que são interligadas por vigas transversais e colunas (de extremidade e da porta) [14]. Para suportar o piso, geralmente são distribuídas dezoito travessas com espaçamento variando entre 275 mm e 325 mm [10]. A Figura 2 ilustra os componentes estruturais dos contêineres, e a Tabela 1 apresenta as dimensões dos principais tipos disponíveis no mercado. A Tabela 2 apresenta as seções transversais dos componentes da estrutura principal e a Tabela 3 as suas propriedades geométricas. Os elementos são compostos pelo aço de baixa liga resistente à corrosão, com Módulo de Elasticidade $E = 200$ GPa, Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$ e Tensão de Escoamento $f_y = 345$ MPa.

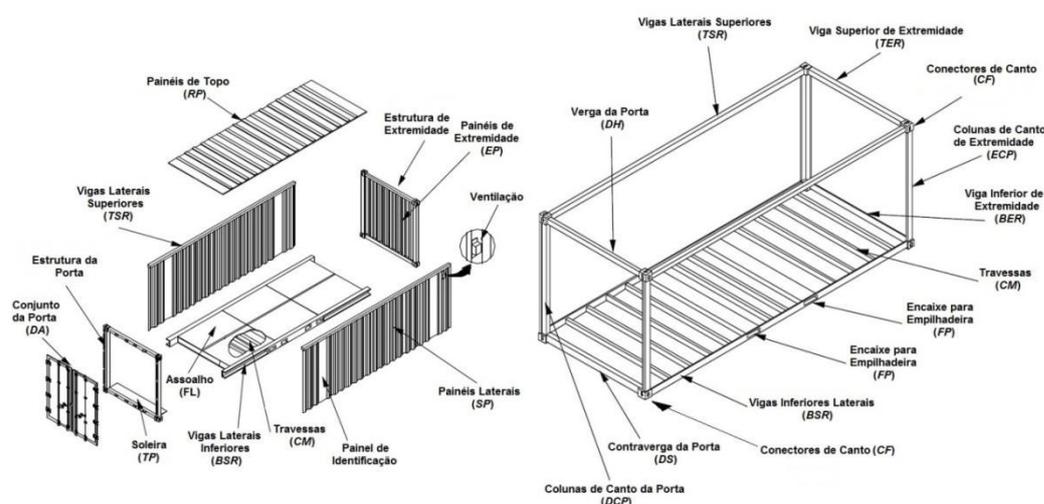


Figura 2: Estrutura de um contêiner [15]

Tabela 1: Dimensões dos contêineres ISO

Nomenclatura Comercial	Dimensões Externas (mm)			Dimensões Internas Mínimas (mm)		
	Altura	Comprimento	Largura	Altura	Comprimento	Largura
20' Standard	2591	6058	2438	2350	5867	2330
20' HC	2896			2655		
40' Standard	2591	12192		2350	11998	
40' HC	2896			2655		

Pela natureza de sua utilização, e estrutura original do contêiner é robusta. No entanto, quando partes de sua estrutura são total ou parcialmente removidas visando a composição do ambiente ou a inserção de portas e janelas, é indicada a utilização de reforços estruturais, uma vez que ocorre a modificação do comportamento estrutural do contêiner. A avaliação estrutural do contêiner modificado é complexa devido à influência da esbelteza das chapas de fechamento e de sua interação com os elementos da estrutura principal, tudo isto sob a influência das concentrações de tensões decorrentes da inserção de aberturas. Desta forma, a utilização do Método dos Elementos finitos, a partir do software *ANSYS* [1], pode indicar uma alternativa para a análise de contêineres com aberturas e da eficiência de reforços estruturais em seu comportamento e resistência.

A simulação numérica de edificações utilizando contêineres via Método dos Elementos finitos tem sido desenvolvida em algumas pesquisas. Giriunas *et. al* [10] analisaram a resposta estrutural de contêineres ISO com a estrutura original e modificada sob diversas condições de carregamento através de diferentes modelos via Elementos Finitos no software Abaqus. Bernardo *et. al* [6] analisaram o comportamento estrutural de contêineres utilizados em um projeto de uma residência unifamiliar por meio da análise via Elementos Finitos no software Lusas. Souza *et. al* [19] avaliaram o comportamento estrutural de contêineres sob diferentes condições de apoio, carregamento e com a inclusão de aberturas no software SAP2000. Venâncio [21], também neste programa, avaliou a influência de diferentes situações de empilhamento e abertura em contêineres utilizados em edificações. Em nenhum destes trabalhos, contudo, foi avaliada a influência de reforços para compensar eventuais perdas de resistência em contêineres com aberturas.

Tabela 2: Elementos da estrutura principal de um contêiner

Elemento	Sigla	Figura	Seção Transversal (mm)
Colunas de canto da porta (externo)	DCP		Perfil 30 x 230 x 46 x 56 t=6,0
Colunas de canto da porta (interno)			Perfil U 114 x 40 x 12
Verga da porta	DH		Tubo 110 x 138 t=4,0
Contraverga da porta	DS		Perfil 65 x 140 x 115 x 31 x 50 t=4,5
Colunas de canto de extremidade	ECP		Perfil 56 x 46 x 174 x 159 x 55 x 56 t=6,0
Viga superior de extremidade	TER		Tubo Quadrado 60 x 62 t=3,2
Viga inferior de extremidade	VER		Perfil 44 x 152 x 59 x 34,5 x 49 t=4,4
Vigas inferiores laterais	BSR		Perfil C 30 x 162 x 48 t=6,0
Travessas	CM		Perfil C 45 x 122 x 45 t=4,5

Tabela 3: Propriedades geométricas dos elementos da estrutura principal

Face das portas					
Componente	Sigla	A (mm ²)	I _{yy} (mm ⁴)	I _{zz} (mm ⁴)	J (mm ⁴)
Colunas da Porta	DCP	3768	18481467	1199850	94464
Verga	DH	1849	4988540	3529180	6538680
Contraverga	DS	1729	4699350	4204100	11670
Face do fundo					
Componente	Sigla	A (mm ²)	I _{yy} (mm ⁴)	I _{zz} (mm ⁴)	J (mm ⁴)
Colunas	ECP	3096	15166500	13365800	37152
Viga Superior	TER	743	432075	405094	649726
Viga Inferior	VER	1440	4119520	1235780	9720
Fases laterais					
Componente	Sigla	A (mm ²)	I _{yy} (mm ⁴)	I _{zz} (mm ⁴)	J (mm ⁴)
Vigas Superiores	TSR	743	432075	405094	649726
Vigas Inferiores	BSR	1368	4480000	175176	16590
Piso					
Componente	Sigla	A (mm ²)	I _{yy} (mm ⁴)	I _{zz} (mm ⁴)	J (mm ⁴)
Travessa 1	CM1	914	1940000	161648	6246
Travessa 2	CM2	1055	2360000	474306	7217

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a eficiência dos reforços que podem ser adicionados à estrutura do contêiner, por meio de modelos numéricos via método dos elementos finitos no software *ANSYS*, a partir da redução de deslocamentos e de tensões resultantes da retirada de chapas para a realização de aberturas. Consideram-se diferentes situações de carregamento, configurações de aberturas e tipologias de reforços, buscando indicar diretrizes para a habilitação estrutural de contêineres ISO reutilizados na construção civil.

2 METODOLOGIA

O software de análise via método dos elementos finitos utilizado para a modelagem numérica foi o *ANSYS* e tipo de contêiner ISO modelado foi o de 20 pés Standard, com as dimensões apresentadas na Tabela 1. Assim como Giriunas et. al [10], optou-se por considerar a face da porta com a mesma resistência da face de fundo, através da modelagem das mesmas chapas trapezoidais nas duas extremidades. Escolheu-se também não considerar o piso original de madeira, visto que pode ser retirado e substituído por outro de material diferente.

2.1 Tipos de elementos finitos

Foram considerados dois tipos de elementos finitos na modelagem. Para a simulação das vigas, colunas e travessas foram utilizados elementos lineares BEAM188 (Figura 3(a)), e para a simulação das chapas trapezoidais que compõem as paredes laterais, das extremidades e o teto foram utilizados elementos de casca SHELL181 (Figura 3(b)).

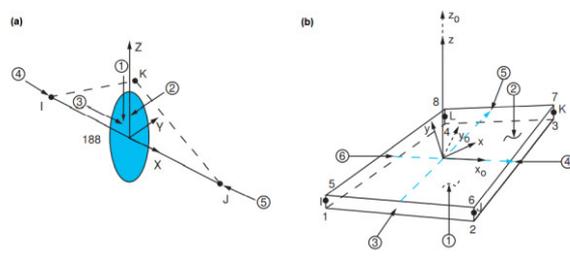


Figura 3: Tipos de elementos finitos: (a) BEAM188 e (b) SHELL181

Para configurar as seções transversais dos elementos lineares foi utilizada a seção genérica disponível no *ANSYS*, a fim de que houvesse uniformização da entrada desses dados. As propriedades geométricas das seções são apresentadas na Tabela 3, e foram determinadas via *Autocad 2021* [4] e *CUTWP* [17]. Aos elementos de casca foram atribuídas as respectivas espessuras (1,6 mm e 2,0 mm) relativas às chapas trapezoidais dos componentes que estavam representando.

2.2 Malhas de elementos finitos

Foram atribuídas diferentes malhas a cada um dos elementos lineares (BEAM188). Para que fosse simulada a conexão entre as vigas e as respectivas áreas das chapas em contato, foi necessária a aplicação do comando *Overlap* (sobreposição), fazendo com que suas linhas fossem decompostas em várias menores e, portanto, atribuiu-se apenas uma divisão a cada uma delas. Já a cada uma das linhas das colunas foram atribuídas dez divisões.

As travessas foram criadas diretamente como elementos BEAM188, a partir de nós das vigas inferiores laterais, para garantir a conexão entre esses dois componentes.

O tamanho de elemento utilizado para as áreas das chapas trapezoidais, feitas com

elementos SHELL181, foi de 500 mm.

Na Figura 4 estão representadas as malhas de elementos finitos lineares e de casca, respectivamente, que se mostraram eficientes em relação ao tempo de processamento e ao estudo comparativo das diferentes situações de aberturas e reforços estruturais.

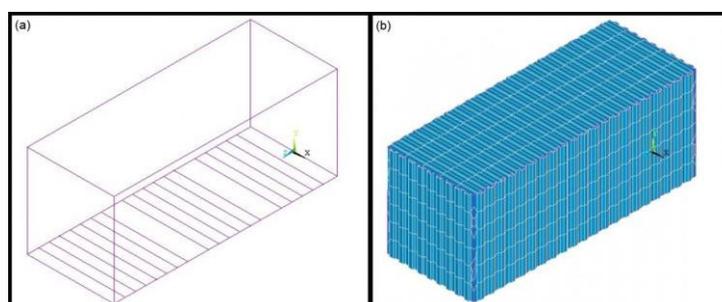


Figura 4: Elementos finitos (a) BEAM188 e (b) SHELL181 após o refinamento das malhas

2.3 Aberturas

Primeiramente, foi elaborado um modelo do contêiner fechado e, a partir dele, foram obtidos outros nove com diferentes configurações de aberturas, divididas em grupos.

O primeiro, Grupo Comercial, abrange aquelas com as maiores dimensões comerciais de janelas padronizadas no mercado, que segundo sites de fabricantes e vendedores de esquadrias correspondem a 2,0 m de largura e 1,20 m de altura. O segundo, Grupo de Projeto, abrange configurações de aberturas com dimensões variadas semelhantes às feitas por empresas que reutilizam contêineres ISO para fins residenciais e comerciais. Por último, o Grupo de Associação, em que paredes inteiras foram retiradas para simular as situações em que se pretendem associar contêineres lado a lado para que se obtenham maiores espaços livres. Na Tabela 4 estão descritas cada uma das aberturas de acordo com o grupo a que pertencem e o código para identificação do modelo em que foram realizadas.

Tabela 4: Descrição das aberturas e código de identificação dos modelos

Grupo	Descrição das Aberturas	Código
Comercial (2,0 m x 1,20 m)	Uma janela central	C-1JC
	Uma janela próxima à extremidade	C-1JE
	Duas janelas próximas à extremidade	C-2JE
De Projeto	Uma porta central de 4,0 m x 2,10 m	P-1PC
	Uma porta de 4,0 m x 2,10 m próxima à extremidade	P-1PE
	Uma janela de 4,0 m x 0,90 m (com altura do parapeito de 1,5 m) e uma porta de 1,0 m x 2,10 m	P-1PE-1JE
	Duas portas de 2,0 m x 2,20 m	P-2PE
De Associação	Remoção completa de uma lateral	A-1L
	Remoção completa de duas laterais	A-2L

Na Figura 5 são representadas as configurações de todos os nove modelos com aberturas no ANSYS.

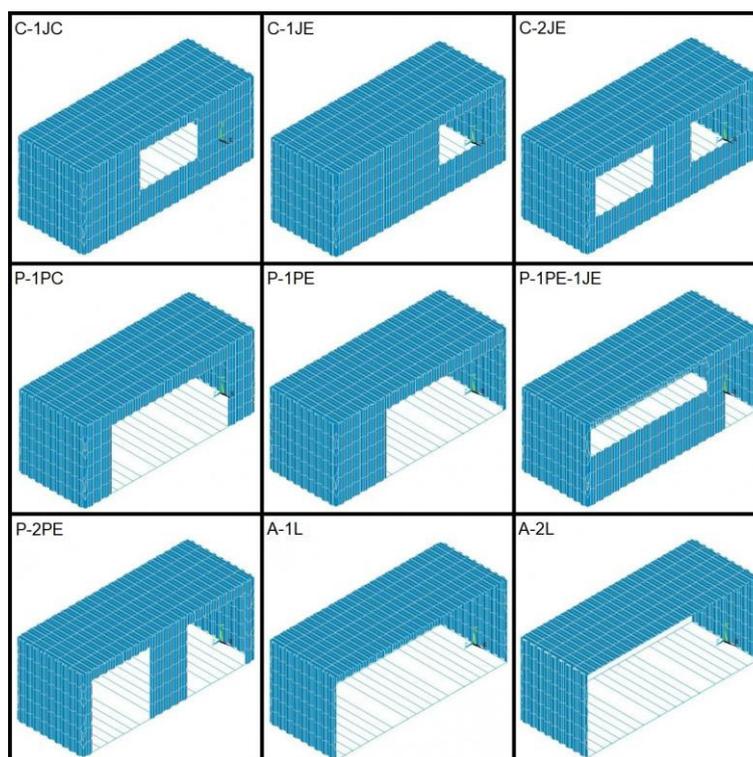


Figura 5: Configuração dos nove modelos com aberturas no ANSYS

2.4 Condição de apoio e carregamento

Considerou-se, no modelo numérico, o contêiner simplesmente apoiado em suas quatro extremidades inferiores, como usual na prática. Para tal, foram restringidos os deslocamentos nas três direções (x , y e z) nos quatro nós inferiores das extremidades.

Inicialmente, foi observado que a aplicação do carregamento concentrado nos conectores de canto superiores, referente ao empilhamento de 1+8 contêineres com base nos valores dados por França Júnior [9] e com combinação feita de acordo com a ABNT NBR 8800 [2], não induz deslocamentos e tensões significativos nas chapas, independentemente da existência de aberturas, pelas colunas absorverem os esforços decorrentes do carregamento concentrado. Desta forma, foram aplicadas cargas uniformemente distribuídas nas vigas superiores laterais, referentes a estruturas projetadas sobre o teto do contêiner, simplesmente apoiadas na menor direção, como cobertura metálica, deck de madeira, telhado verde e laje de concreto com EPS. Na Tabela 5 são apresentadas as considerações feitas para o cálculo das cargas permanentes e variáveis de cada tipo de situação e seus respectivos valores de cálculo final aplicado nas vigas, obtidos pela ponderação e combinação de acordo com a ABNT NBR 8800 [2] dos valores característicos dados pela NBR 6120 [3] e/ou por informações de fabricantes e engenheiros [5, 13, 16] de cada uma das estruturas. A Figura 6 apresenta o contêiner com uma janela central, seus apoios e carregamentos.

Foram comparados os valores dos deslocamentos transversais, verticais e longitudinais máximos obtidos nas simulações dos modelos fechado e do modelo comercial com uma janela central, C-1JC. Observou-se que, como esperado, a laje de concreto com EPS gerou maiores deslocamentos no modelo, sendo esse o carregamento escolhido para ser utilizado nas análises.

Tabela 5: Considerações sobre os carregamentos no teto e seus respectivos valores

Situação	Cargas Permanentes	Cargas Variáveis	q_{VSL} (kN/m)
Cobertura Metálica	Telhas de aço com 0,5 mm de espessura e estrutura de suporte	Forro com dutos de ar condicionado com isolamento térmico	1,09
Deck de Madeira	Ipê ou Jatobá com 3 cm de espessura	Balcões, sacadas, varandas e terraços - Residencial	4,85
Laje de Concreto com EPS	Laje treliça unidirecional com EPS (12 cm de altura)	Balcões, sacadas, varandas e terraços - Residencial	6,76
Telhado Verde	Telhado verde do tipo extensivo	Forro	2,04

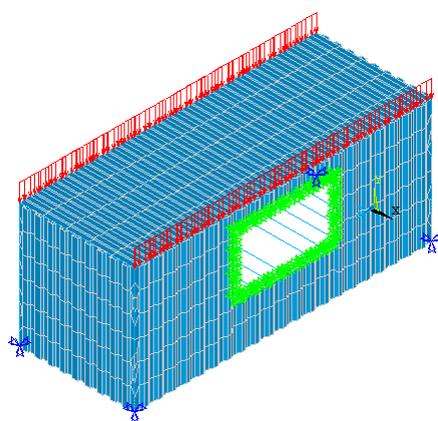


Figura 6: Contêiner C-1JC com seus apoios e carregamentos

2.5 Reforços estruturais

Foram considerados dois tipos de reforços diferentes. Para os Grupos Comercial e de Projeto, cujo objetivo é reforçar as chapas trapezoidais modeladas com elementos de casca (SHELL181) da parede lateral em que foram realizadas as aberturas, a estrutura escolhida foi cantoneira de abas iguais cujas áreas também foram modeladas com elementos SHELL181. A largura das abas das cantoneiras utilizadas foi de 3" (76,2 mm) para que proporcionasse encaixe para portas e janelas disponíveis comercialmente, que possuem espessura do batente variando em torno de 60 mm, e para que criasse acabamento das chapas trapezoidais em contato com as mesmas. A espessura escolhida foi de 4,76 mm, a menor segundo o catálogo de fabricante nacional. Na Figura 7(a) tem-se a representação da vista frontal da parede lateral do modelo C-1JC, e na Figura 7(b), pode-se observar o encaixe da cantoneira na chapa trapezoidal e o posicionamento da esquadria.

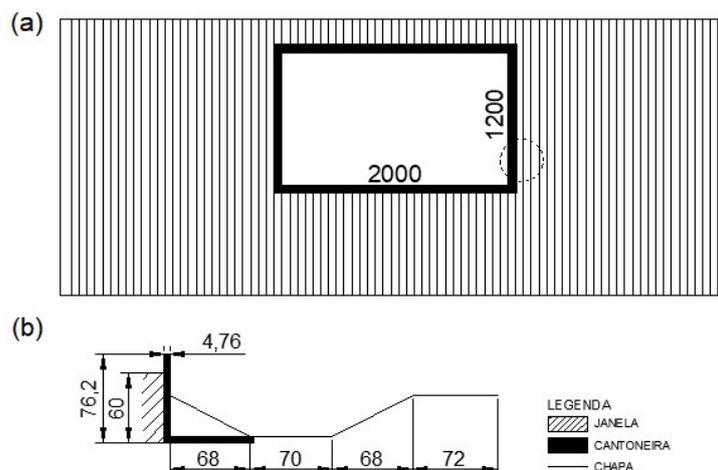


Figura 7: Parede lateral do modelo C-1JC: (a) Vista frontal e (b) vista em planta da área tracejada

Para simular a ligação por soldagem entre as abas das cantoneiras e as chapas trapezoidais, foram acoplados os deslocamentos nas direções x , y e z nos nós coincidentes da chapa trapezoidal e das cantoneiras (Figura 8). A dimensão dos elementos SHELL181 das abas das cantoneiras foi de 100 mm.

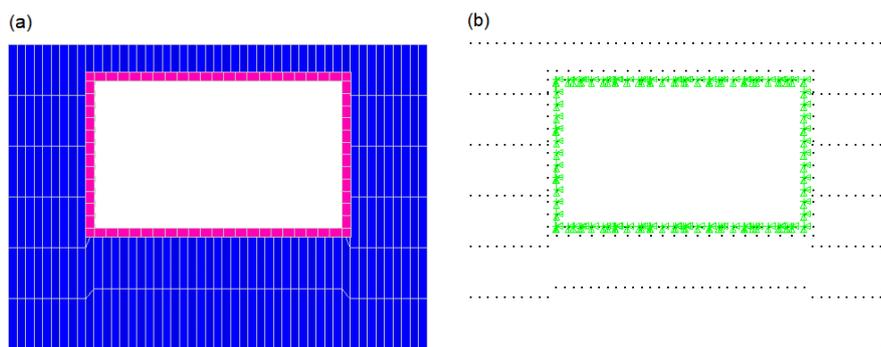
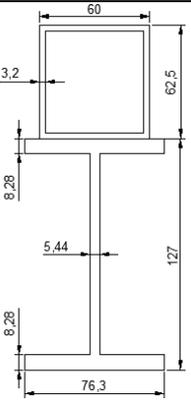


Figura 8: Aplicação do comando *Coincident Nodes*: (a) Elementos da chapa trapezoidal lateral (azul) e da cantoneira (rosa); (b) Representação do comando nos nós em contato (verde)

No Grupo de Associação, com o objetivo de reforçar a viga superior lateral modelada com elementos lineares (BEAM188) cuja parede de contato foi removida, foi feita uma composição da seção original da viga com um perfil I laminado. No modelo numérico, isto foi considerado pela adoção das propriedades geométricas da seção composta nas vigas a serem reforçadas. A escolha das dimensões do perfil de seção I, foi orientada a partir do limite de deslocamento vertical prescrito pela norma ABNT NBR 8800 [2] que, para o vão de 6058 mm, foi de 24,23 mm. A partir desse valor, foi adotado o perfil I laminado padrão americano de 5”, com peso nominal de 14,88 kg/m como reforço à seção original. Na Tabela 6 têm-se a seção composta e suas propriedades geométricas.

Tabela 6: Propriedades geométricas da seção composta

	Componente	A (mm ²)	I _{yy} (mm ⁴)	I _{zz} (mm ⁴)	J (mm ⁴)
	Viga Superior Lateral	743,04	432075	405094	649726
	Perfil I	1880	5110000	502000	35697
	Seção composta	2623,04	10323128	907094	685423

3 RESULTADOS

Os resultados analisados foram os deslocamentos transversais, verticais e longitudinais na estrutura e as tensões de von Mises nas chapas. Nas legendas, as cores azul e vermelha representam os valores extremos de cada um dos parâmetros.

O primeiro modelo a ser simulado foi o fechado (sem aberturas). Seus resultados são apresentados na Figura 9 e serviram de referência para avaliação do efeito das alterações devidas à retirada de chapa(s) para realização de aberturas e à inserção de reforços.

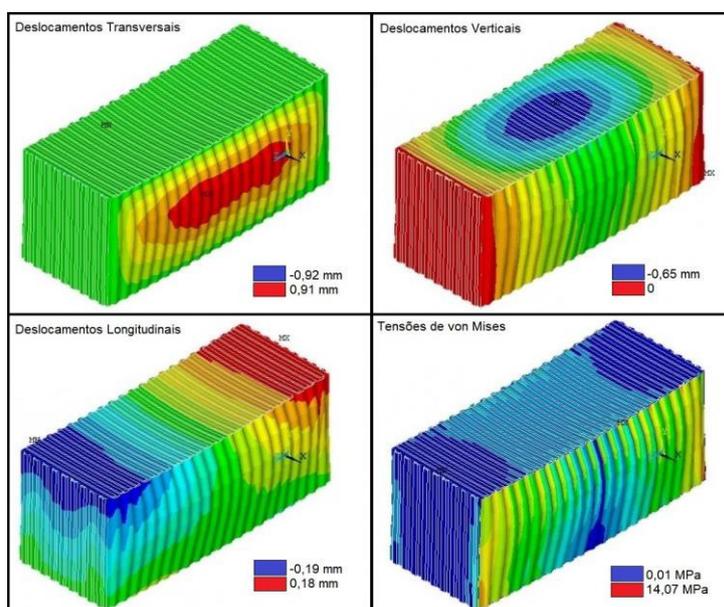


Figura 9: Resultados do modelo fechado (SA)

3.1 Deslocamentos transversais

Nas Figuras 10 e 11 são apresentados os deslocamentos transversais dos modelos com aberturas sem e com reforços, respectivamente, e na Tabela 7 é apresentada a comparação dos resultados.

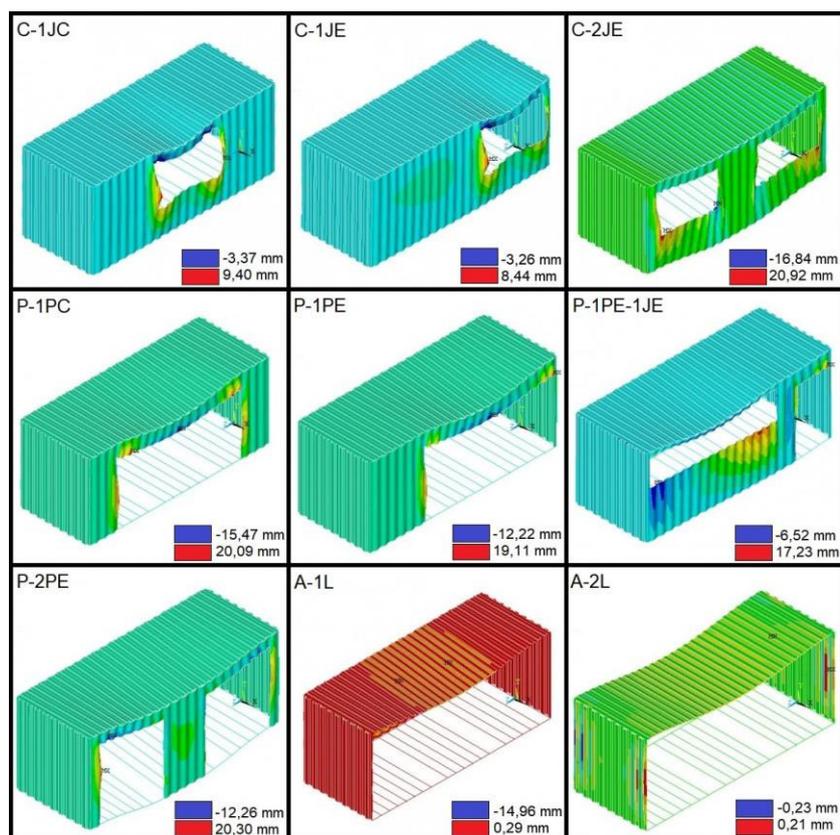


Figura 10: Deslocamentos transversais dos modelos com aberturas sem reforços

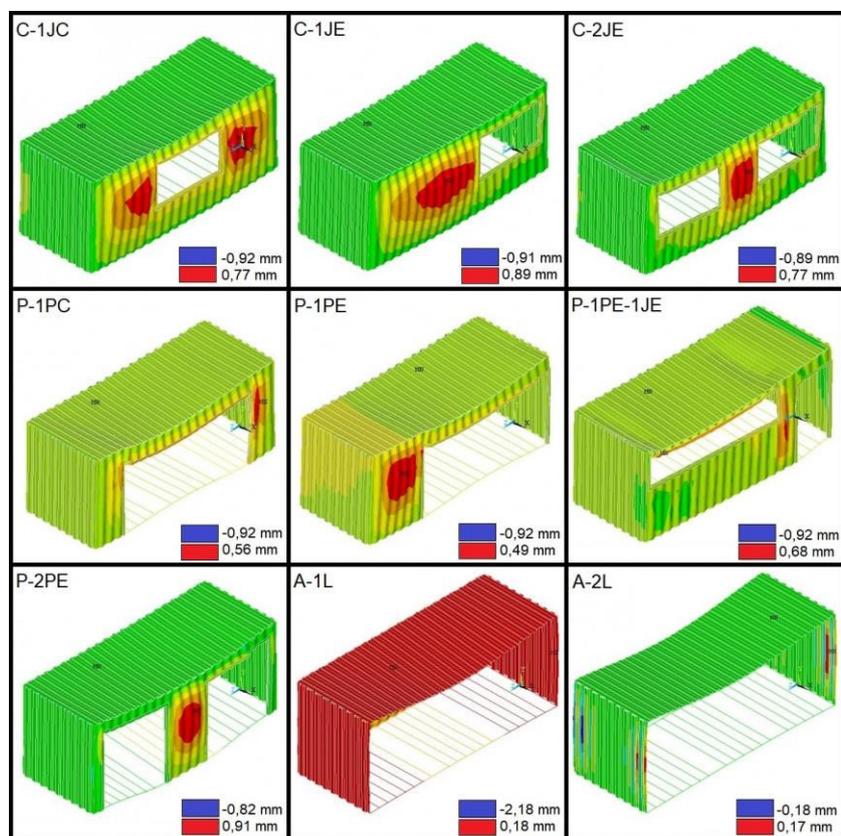


Figura 11: Deslocamentos transversais dos modelos com aberturas com reforços

Tabela 7: Comparação dos resultados para os deslocamentos transversais

	DT (mm)		
	SR	CR	Dif (%)
SA	0,92		
C-1JC	9,4	0,92	90,21
C-1JE	8,44	0,91	89,22
C-2JE	20,92	0,89	95,75
P-1PC	20,09	0,92	95,42
P-1PE	19,11	0,92	95,19
P-1PE-1JE	17,23	0,92	94,66
P-2PE	20,3	0,91	95,52
A-1L	14,96	2,18	85,43
A-2L	0,23	0,18	21,74

Observa-se que na situação sem reforços os valores máximos dos modelos do Grupo Comercial e de Projeto se concentraram nas regiões onde as chapas foram retiradas para a realização das aberturas. Já os valores máximos dos modelos do Grupo de Associação ocorreram na região central da parede lateral que não foi retirada no modelo A-1L e próximos às colunas no modelo A-2L.

Observa-se que a introdução dos reforços nas chapas por meio das cantoneiras reduziu os valores dos deslocamentos, nos Grupos Comercial e de Projeto, para níveis observados no contêiner sem abertura, indicando a eficiência da diretriz apontada.

3.2 Deslocamentos verticais

Nas Figuras 12 e 13 são apresentados os deslocamentos verticais dos modelos com aberturas sem e com reforços, respectivamente, e na Tabela 8 é apresentada a comparação dos resultados.

Observa-se que, exceto nos modelos C-1JC e C-1JE, os valores máximos dos deslocamentos nos modelos sem reforços ultrapassa o valor limite normativo. Devido à distribuição uniforme do carregamento sobre as vigas superiores laterais, esses máximos se concentram majoritariamente nas suas regiões centrais.

Com a inserção dos reforços estruturais, pode-se perceber uma redução superior a 90 % nos valores dos deslocamentos verticais máximos em todos os modelos e sua adequação à prescrição normativa. Além disso, os modelos do Grupo Comercial apresentaram alteração na região de ocorrência desses máximos para a região central da chapa de teto, aproximando-se do comportamento observado no modelo fechado.

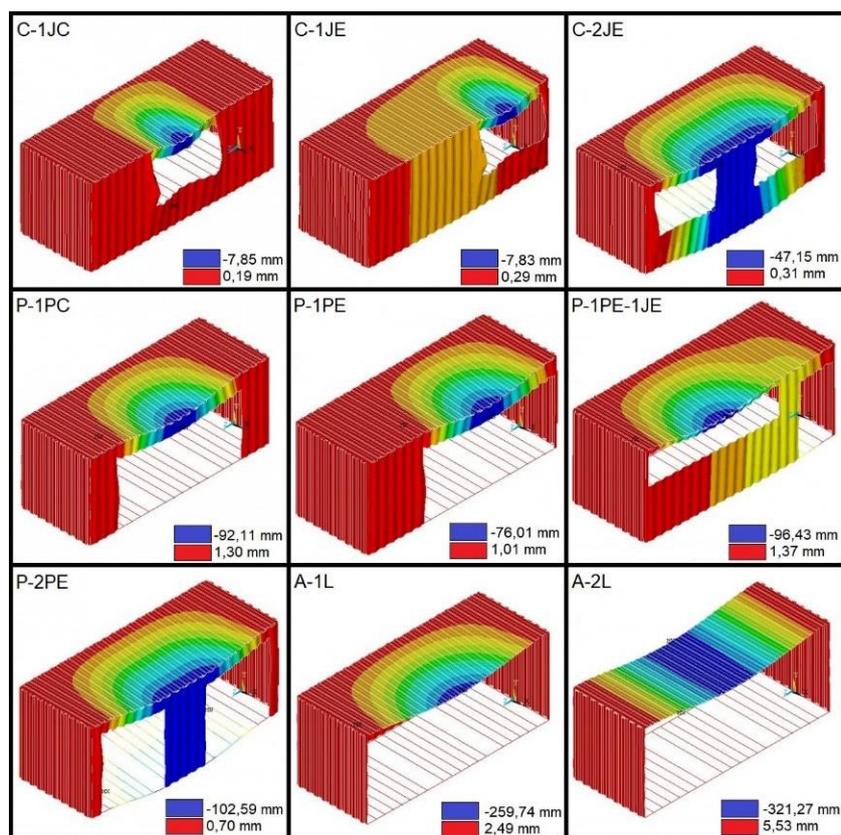


Figura 12: Deslocamentos verticais dos modelos com aberturas sem reforços

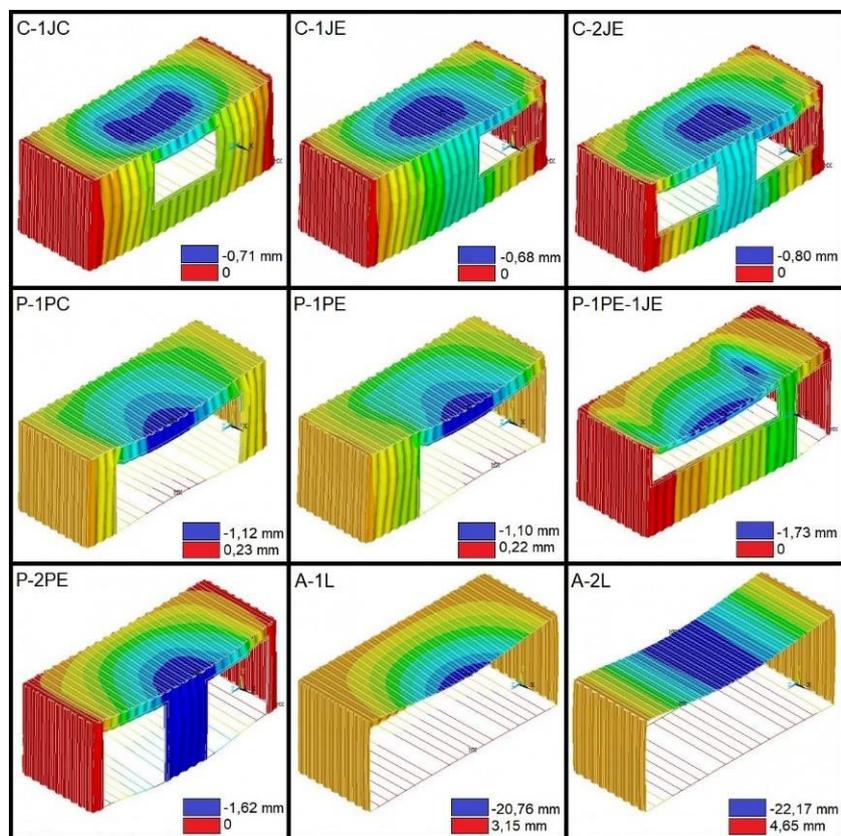


Figura 13: Deslocamentos verticais dos modelos com aberturas com reforços

Tabela 8: Comparação dos resultados para os deslocamentos verticais

	DV (mm)		
	SR	CR	Dif (%)
SA	0,65		
C-1JC	7,85	0,71	90,96
C-1JE	7,83	0,68	91,32
C-2JE	47,15	0,8	98,3
P-1PC	92,11	1,12	98,78
P-1PE	76,01	1,1	98,55
P-1PE-1JE	96,43	1,73	98,21
P-2PE	102,59	1,62	98,42
A-1L	321,27	22,17	93,1
A-2L	260,42	20,83	92

3.3 Deslocamentos longitudinais

Nas Figuras 14 e 15 estão apresentados os deslocamentos longitudinais dos modelos com aberturas sem e com reforços, respectivamente, e os resultados são comparados na Tabela 9.

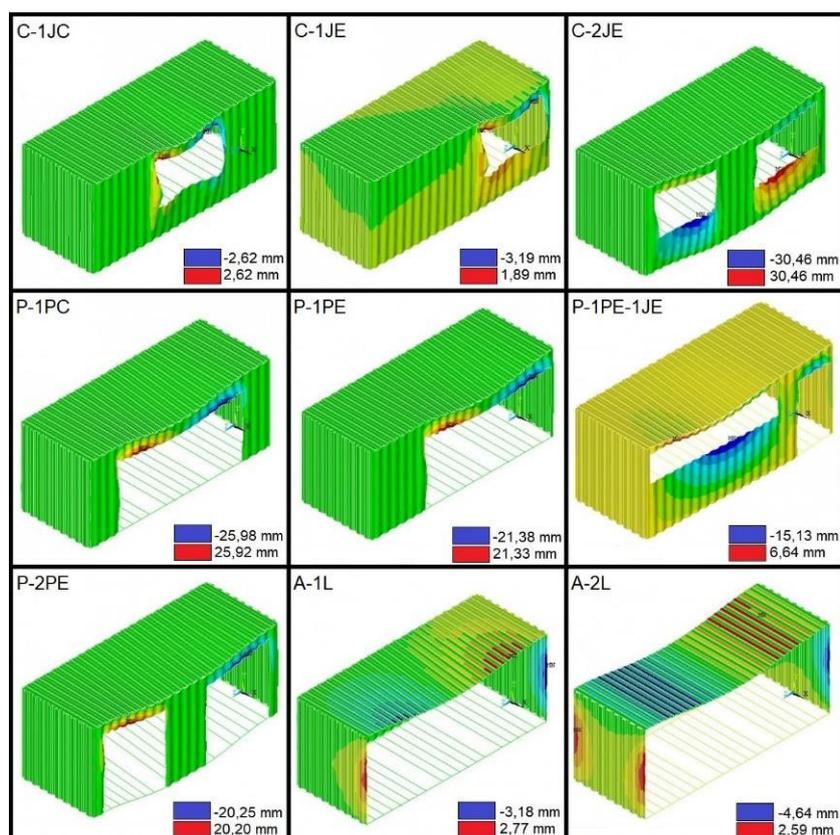


Figura 14: Deslocamentos longitudinais dos modelos com aberturas sem reforços

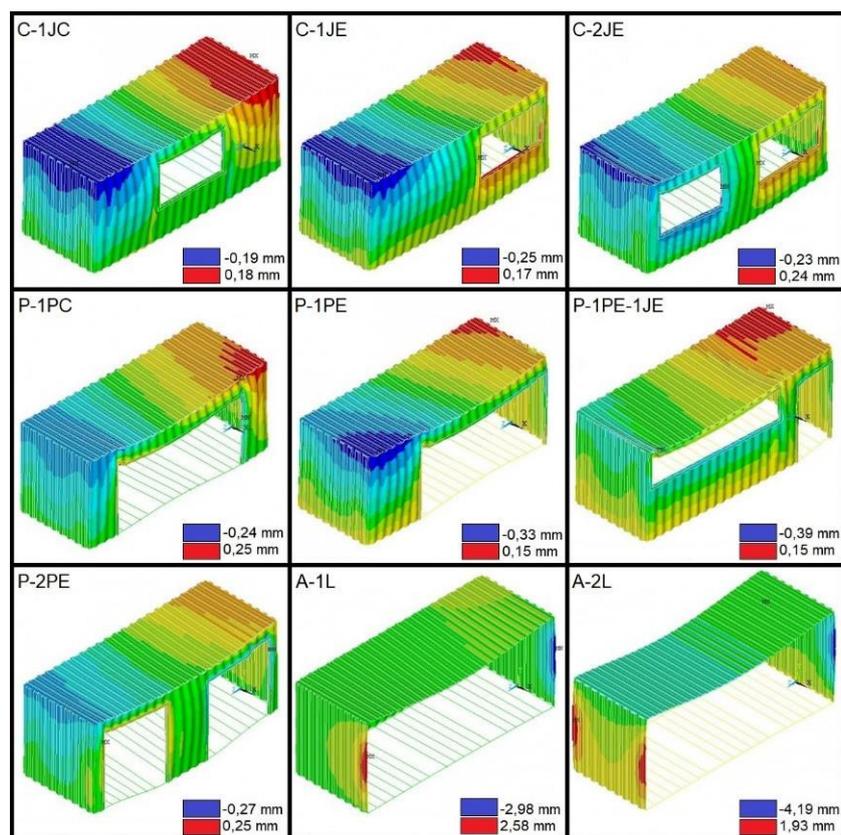


Figura 15: Deslocamentos longitudinais dos modelos com aberturas com reforços

Tabela 9: Comparação dos resultados para os deslocamentos longitudinais

	DL (mm)		
	SR	CR	Dif (%)
SA	0,19		
C-1JC	2,62	0,19	92,75
C-1JE	3,19	0,25	92,16
C-2JE	30,46	0,24	99,21
P-1PC	25,98	0,25	99,04
P-1PE	21,38	0,33	98,46
P-1PE-1JE	15,13	0,39	97,42
P-2PE	20,25	0,27	98,67
A-1L	3,18	2,98	6,29
A-2L	4,64	4,19	9,7

Na situação sem reforços, os valores máximos tanto negativos quanto positivos ocorreram nas bordas das chapas em contato com as aberturas nos modelos do Grupo Comercial e de Projeto. Já nos modelos do Grupo de Associação, ocorreram nas extremidades da chapa do teto e nas regiões próximas às colunas em contato com a(s) parede(s) lateral(ais) retirada(s).

A utilização das cantoneiras de abas iguais nos modelos do Grupo Comercial e de Projeto permitiu a redução dos valores máximos dos deslocamentos longitudinais e afastou-os para regiões mais próximas da verga e da viga superior de extremidade. Novamente, nota-se

semelhança de comportamento em relação ao modelo fechado, principalmente do modelo C-1JC.

Quanto aos modelos do Grupo de Associação após o reforço com o perfil seção I, percebe-se a diminuição da ocorrência dos valores máximos na chapa do teto. No entanto, não houve alterações nos valores máximos próximos às colunas, pois essas não foram reforçadas.

3.4 Tensões de von Mises

Nas Figuras 16 e 17 estão apresentadas as tensões de von Mises nas chapas nos modelos com aberturas sem e com reforços, respectivamente, e os valores são comparados na Tabela 10.

Anteriormente à inserção dos reforços estruturais, os modelos que apresentaram os maiores valores de tensões de von Mises foram os do Grupo de Projeto, sendo que no modelo P-1PC foi superior à tensão de escoamento do aço patinável. Em geral, os valores máximos atingidos ocorreram nas regiões superiores laterais das aberturas.

Após reforçados, todos os modelos apresentaram diminuições superiores a 70 % nos valores máximos das tensões de von Mises e nota-se que essas foram inferiores à tensão de escoamento do aço patinável. Quanto à região de ocorrência, não foram percebidas alterações significativas em relação à situação sem reforços.

Esse foi o único dos parâmetros analisados em que a situação com reforços não apresentou semelhança de comportamento com o modelo fechado, nem quanto aos valores nem quanto à região de ocorrência.

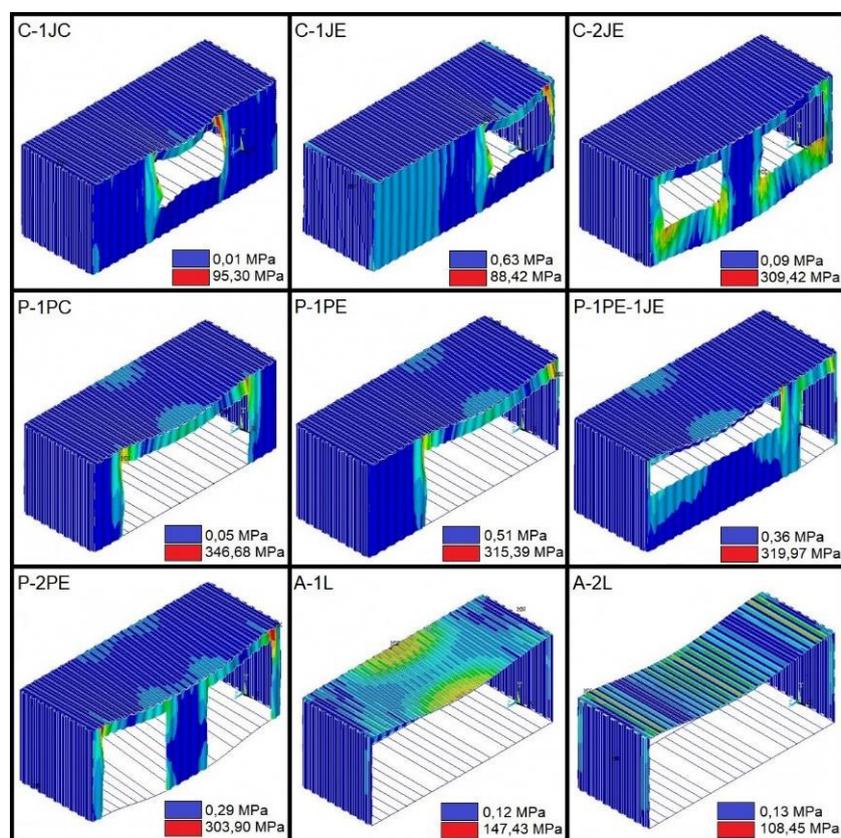


Figura 16: Tensões de von Mises dos modelos com aberturas sem reforços

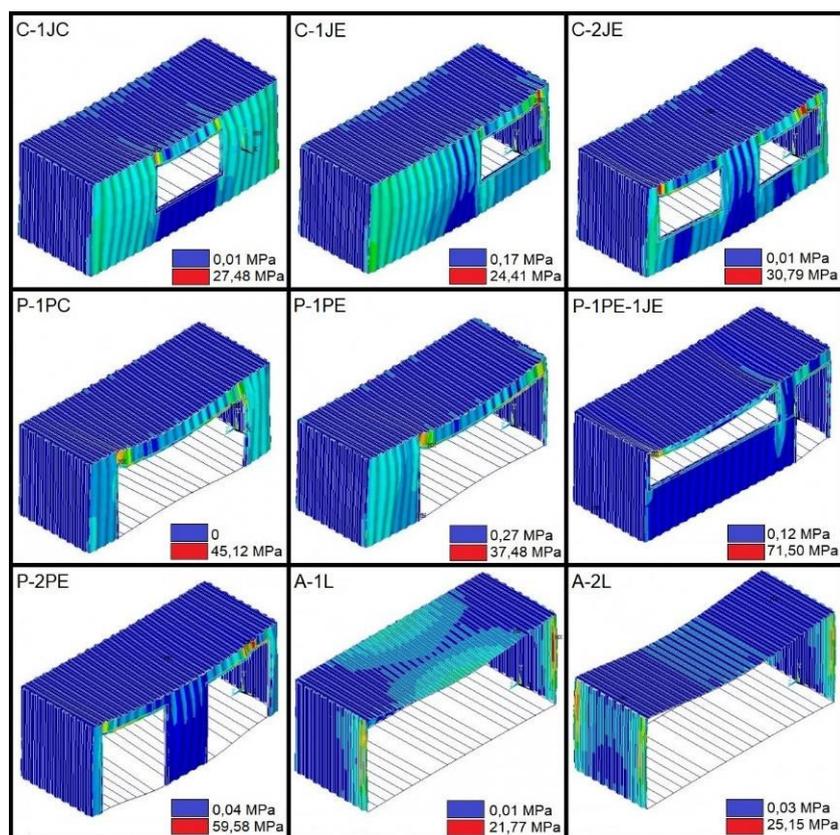


Figura 17: Tensões de von Mises dos modelos com aberturas com reforços

Tabela 10: Comparação dos resultados para as Tensões de von Mises

	S (MPa)		
	SR	CR	Dif (%)
SA	14,07		
C-1JC	95,3	27,48	71,16
C-1JE	88,42	24,41	72,39
C-2JE	309,42	30,79	90,05
P-1PC	346,68	45,12	86,99
P-1PE	315,39	37,48	88,12
P-1PE-1JE	319,97	71,5	77,65
P-2PE	303,9	59,58	80,39
A-1L	108,45	25,15	76,81
A-2L	147	20,25	86,22

4 CONCLUSÕES

A construção reutilizando contêineres é uma alternativa viável considerando questões ambientais, sociais e técnicas. No entanto, apesar da robustez da estrutura, é importante a sua avaliação quando submetida a condições características das edificações e não previstas em sua utilização original, tais como a inserção de aberturas.

Com o objetivo de obter diretrizes para a utilização de reforços estruturais que garantisse a habilitação estrutural de contêineres com aberturas utilizados na construção civil, este

trabalho fez simulações de diferentes modelos, utilizando reforços localizados, nas chapas laterais com aberturas, e reforços nas vigas remanescentes após a retirada total de painéis.

A partir da avaliação dos deslocamentos e das tensões nos modelos, pôde-se perceber a eficiência das soluções estruturais propostas. Em todas as simulações, pôde-se perceber que os deslocamentos dos modelos com reforços estruturais ficaram dentro dos limites normativos, o que não ocorria em algumas situações sem reforços. De modo similar, o emprego dos reforços fez com que todas as tensões de von Mises ficassem abaixo da tensão de escoamento do aço, o que também não ocorria nos modelos sem reforços com aberturas. Além disto, ficou indicado que a maioria das situações com reforços levou a resultados próximos aos obtidos para o contêiner sem aberturas quando utilizado na construção civil.

Desta forma, pode-se concluir que as tipologias de reforços adotadas indicam diretrizes para a habilitação estrutural de contêineres com aberturas em edificações.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UFOP e ao IFMG Campus Ouro Preto pelo suporte a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Ansys, Inc. *Elements reference*. Canonsburg, 2007.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. ABNT/CB-002 Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2008.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações*. ABNT/CB-002 Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, 2019.
- [4] Autodesk®. *Autocad*®, 2021.
- [5] L. P. Bernardi. *Manual de instalação de deck de madeira*. 2019. Disponível em <<https://www.twbrazil.com.br/arquivos/noticias/manual-de-instalacao-de-deck-de-madeira>>. Acessado em setembro de 2020.
- [6] L. F. A. Bernardo, L. A. P. Oliveira, M. C. S. Nepomuceno e J. M. A. Andrade. Use of refurbished shipping containers for the construction of housing buildings: details for the structural project. *Journal of Civil Engineering and Management*. Covilhã, 19(5):628–646, 2013. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.795185>.
- [7] B. Buoro e R. Guedes. Reuso de containers marítimos na construção civil. *Iniciação*, 5(3):101–118, 2015.
- [8] B. Edwards. *O guia básico para a sustentabilidade*. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.
- [9] M. França Jr. *Análise estrutural de contêineres marítimos utilizados em edificações*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, Brasil, 2017.
- [10] K. Giriunas, H. Sezen e R.B. Dupaix. Evaluation, modeling, and analysis of shipping container buildings structures. *Engineering Structures*. Columbus, 2012. 43:48–57.
- [11] International Organization for Standardization. ISO 1496-1:1990 – Series 1 freight containers - Specification and testing - Part 1: General cargo containers for general purposes. Genebra, 1990.
- [12] International Organization for Standardization. ISO 668:2013 – Series 1 freight containers - Classification, dimensions and ratings. Genebra, 2013.

- [13] L. C. Lara. *Como construir um telhado verde*. 2017. Disponível em <<http://44arquitetura.com.br/2017/09/telhado-verde-como-construir/>>. Acessado em setembro de 2020.
- [14] N. C. G. Nunes. *Aproveitamento de contentores marítimos para habitação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2009.
- [15] Residencial Shipping Container Primer. *Shipping Container Home Green Roof*. 2019. Disponível em <<http://www.residentialshippingcontainerprimer.com/Green%20Roof/>>. Acessado em agosto de 2020.
- [16] Salema. *Laje treliça com EPS ou cerâmica*. Disponível em: <<http://www.salemaprefabricados.com.br/laje-trelica-eps-ceramica>>. Acesso em: set. 2020.
- [17] Sarawit. *CUTWP - Thin-walled section properties*. 2003. Disponível em: <www.ce.jhu.edu/bschafer/cutwp>. Acessado em março de 2020.
- [18] R. D. F. Silva. *Construção com contentores marítimos remodelados - Estudo de Caso de Aplicação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010.
- [19] F. T. Souza, A. M. França Jr e A. M. C. Sarmanho. Análise estrutural de contêineres marítimos utilizados em edificações. *Revista da Estrutura de Aço - REA*, 9(3):301–320, 2020.
- [20] Tempohousing, *Keetwonen*. Disponível em <<http://www.tempohousing.com/projects/keetwonen/>>. Acessado em abril de 2020.
- [21] C. Venâncio. *Diretrizes para utilização de contêineres marítimos em edifícios de andares múltiplos na Construção Civil*. – Dissertação de Mestrado em Construção Metálica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, Brasil, 2019.