

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

BRUNO GALARDINOVIC RAMPINELLI

SIMULAÇÃO NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO
PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Joinville
2018

BRUNO GALARDINOVIC RAMPINELLI

SIMULAÇÃO NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO
PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Infraestrutura, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Infraestrutura.

Orientadora: Dra. Paula Manica Lazzari

Joinville

2018

BRUNO GALARDINOVIC RAMPINELLI

SIMULAÇÃO NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO
PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Banca Examinadora:

Dra. Eng. Paula Manica Lazzari
Presidente/Orientadora
Centro Tecnológico de Joinville – UFSC

Me. Eng. Bruna Manica Lazzari
Membro
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS

Me. Vitor Takashi Endo
Membro
Centro Tecnológico de Joinville – UFSC

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família: ao meu pai José, minha mãe Janice e meu irmão Gustavo, que sempre me apoiaram em qualquer decisão tomada, e sempre proveram de tudo para que eu pudesse estar apresentando este trabalho.

Agradeço a todas as pessoas especiais que estiveram presentes nessa jornada, em especial a Thalia pelo carinho, amizade, paciência e incentivo.

Agradeço a minha orientadora Paula Manica Lazzari, que desde o começo se mostrou uma excelente profissional e pessoa, me apoiando e depositando confiança em meu trabalho. E mesmo longe da instituição no último semestre, se mostrou solícita e atenciosa.

Agradeço aos professores do curso de Engenharia de Infraestrutura da UFSC e demais professores da instituição, que me ajudaram a me tornar o aluno, pessoa e profissional que sou hoje.

E agradeço a Deus, por estar sempre presente em todo e qualquer lugar, nos diferentes momentos da vida.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar de forma detalhada a simulação numérica, de vigas em concreto armado, através do método dos elementos finitos, com o auxílio do *software* ANSYS, e analisar seu comportamento, comparando com resultados experimentais. As simulações foram baseadas na tese de doutorando de Beber (2003) e no artigo de Bresler e Scordelis (1963). Nestes trabalhos, os autores desenvolveram ensaios experimentais de vigas em concreto armado em tamanho realístico. Um memorial de simulação numérica foi feito, de maneira detalhada, para demonstrar o passo-a-passo dos procedimentos desde o lançamento da estrutura até chegar aos resultados finais. As vigas foram simuladas com elementos tridimensionais (SOLID65) e as barras de armadura com elementos unidimensionais (LINK180). Após finalizadas as simulações, foram comparados os resultados com os modelos reais dos trabalhos de Beber (2003) e Bresler e Scordelis (1963) para fins de validação de resultados. As discussões e conclusões finais apresentadas mostram as vantagens e desvantagens de realizar a simulação e a comparação dos modelos reais e numéricos. Por último, também são indicadas diretrizes para trabalhos futuros, dando a possibilidade de desenvolvimento de estudo na área de simulação numérica de estruturas reforçadas com fibras de carbono.

Palavras-chave: Vigas em concreto armado; simulação numérica; elementos finitos; ANSYS.

ABSTRACT

This work presents the numerical simulation of beams in reinforced concrete using the finite element method, with the help of ANSYS *software*, and analyze its behavior, comparing with experimental results. The simulations were based on doctoral thesis of Beber (2003) and on the article by Bresler and Scordelis (1963). In these works, the authors developed experimental tests of reinforced concrete beams in realistic dimensions. A numerical simulation memorial was done, in detail, to demonstrate the step-by-step procedures from the launch of the structure to the final results. The beams were simulated with three-dimensional elements (SOLID65) and reinforcement bars with one-dimensional elements (LINK180). After the simulations were done, the results were compared with the actual models of the works by Beber (2003) and Bresler and Scordelis (1963) for results validation purposes. The final discussions and conclusions presented, show the advantages and disadvantages of simulating and comparing the real and numerical models. Finally, guidelines for future work are also indicated, giving the possibility of developing a study in the area of numerical simulation of structures reinforced with carbon fibers.

Palavras-chave: Reinforced concrete beams; numerical simulations; finite element method; ANSYS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do trabalho	14
Figura 2 – Densidade de probabilidade da resistência do concreto	19
Figura 3 – Diagrama tensão-deformação característico.....	23
Figura 4 – Diagrama tensão x deformação do aço.....	25
Figura 5 – Matriz de rigidez para dois elementos.....	27
Figura 6 – Elementos ligados entre nós	27
Figura 7 – Geometria do elemento SOLID65	28
Figura 8 – Geometria LINK180.....	32
Figura 9 – Interface principal do ANSYS APDL.....	34
Figura 10 – Seleção de preferências ANSYS.....	35
Figura 11 – Definição do tipo de análise	36
Figura 12 – Caminho Element Type.....	36
Figura 13 – Definição Elemento Tipo	37
Figura 14 – Opções do apoio e <i>script</i>	37
Figura 15 – Caminho para propriedades do material	38
Figura 16 – Propriedades do concreto	39
Figura 17 – Densidade do concreto	40
Figura 18 – Módulo de elasticidade e Coeficiente de Poisson	41
Figura 19 – Propriedades Isotrópicas Lineares	41
Figura 20 – Tensão x Deformação V1_a.....	42
Figura 21 – Dados Tensão x Deformação.....	43
Figura 22 – Dados Tensão x Deformação (<i>script</i>).....	43
Figura 23 – Propriedades do concreto	44
Figura 24 – Comando para propriedades do concreto.....	45
Figura 25 – Propriedades do aço	46
Figura 26 – Propriedade do aço (<i>script</i>)	47
Figura 27 – Apoios e pontos de carga.....	47
Figura 28 – Apoios e pontos de carga (<i>script</i>).....	48
Figura 29 – Detalhamento V1_a.....	48
Figura 30 – Volume do concreto (<i>script</i>)	49

Figura 31 – Volume de concreto	49
Figura 32 – Geometria Prensa Servo-controlada	50
Figura 33 – Pontos de apoio	50
Figura 34 – Pontos e linhas (<i>script</i>).....	51
Figura 35 – Pontos de carga	51
Figura 36 – Armadura em linhas	52
Figura 37 – Seção das barras	53
Figura 38 – Seção das barras (<i>script</i>)	53
Figura 39 – Seleção	55
Figura 40 – Seleção de linhas	55
Figura 41 – Definição de material na malha.....	55
Figura 42 – Dimensões das linhas	56
Figura 43 – Divisão das linhas (<i>script</i>)	56
Figura 44 – Elementos finitos do concreto e armadura	57
Figura 45 – Mesclagem dos nós	57
Figura 46 – Parâmetros da solução	58
Figura 47 – Número de passos (<i>script</i>)	59
Figura 48 – Restrição de movimento: vista lateral e vista frontal	60
Figura 49 – Restrição de movimento (<i>script</i>).....	60
Figura 50 – Aplicação de força (janela).....	61
Figura 51 – Aplicação de força (<i>script</i>).....	62
Figura 52 – Etapas	62
Figura 53 – Dimensão longitudinal	63
Figura 54 – Seção A1 (a); A2 (b); A3 (c)	64
Figura 55 – Tensão x Deformação do concreto viga A1	65
Figura 56 – Tensão x Deformação do concreto viga A2	66
Figura 57 – Tensão x Deformação do concreto viga A3	67
Figura 58 – Modelo Viga A1	68
Figura 59 – Modelo Viga A2	68
Figura 60 – Modelo Viga A3	69
Figura 61 – Controle de Convergência ANSYS na viga V1_a.....	70
Figura 62 – Controle de Convergência ANSYS na viga A1.....	71
Figura 63 – Gráfico Força x Deslocamento ANSYS.....	72
Figura 64 – Acesso de dados ANSYS.....	72

Figura 65 – Força x Deslocamento viga V1_a.....	73
Figura 66 – Plano da fissura.....	76
Figura 67 – Deslocamento Final V1_a (<i>cm</i>)	82
Figura 68 – Diagrama Força x Deslocamento: A1 (a); A2 (b); A3 (c)	83
Figura 69 – Deslocamento vertical do modelo viga A1	84
Figura 70 – Deslocamento vertical no modelo viga A2 (<i>cm</i>)	93
Figura 71 – Deslocamento vertical no modelo viga A3 (<i>cm</i>)	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modulo E_{ci} , E_{c1} , deformação ϵ_{c1} , ϵ_c , lim , número plástico k	22
Quadro 2 – Consumo de materiais para $1 m^3$ de concreto.....	39
Quadro 3 – Valores de tensão deformação.....	42
Quadro 4 – Propriedades do aço utilizado	45
Quadro 5 – Seção das barras	52
Quadro 6 – Propriedades do concreto Bresler e Scordelis (1963)	63
Quadro 7 – Dados tensão deformação A1	64
Quadro 8 – Dados tensão deformação A2	65
Quadro 9 – Dados tensão deformação A3	66
Quadro 10 – Propriedades do aço	67
Quadro 11 – Distribuição de tensões no concreto V1_a (kN/cm^2)	74
Quadro 12 – Diagrama de fissuras V1_a	77
Quadro 13 – Distribuição de tensões na armadura V1_a (kN/cm^2).....	78
Quadro 14 – Distribuição de tensões nos estribos V1_a (kN/cm^2).....	80
Quadro 15 – Distribuição de tensões (σ_x) no concreto viga A1 (kN/cm^2)	85
Quadro 16 – Diagrama de fissuras no concreto viga A1	87
Quadro 17 – Distribuição de tensões nas barras longitudinais viga A1 (kN/cm^2).....	88
Quadro 18 – Distribuição de tensões nos estribos viga A1 (kN/cm^2)	91
Quadro 19 – Distribuição de tensões (σ_x) no concreto viga A2 (kN/cm^2)	94
Quadro 20 – Diagrama de fissuras no concreto viga A2	95
Quadro 21 – Distribuição de tensões na armadura viga A2 (kN/cm^2)	96
Quadro 22 – Distribuição de tensões nos estribos viga A2 (kN/cm^2)	100
Quadro 23 – Distribuição de tensões (σ_x) no concreto viga A3 (kN/cm^2)	102
Quadro 24 – Diagrama de fissuras no concreto viga A3	104
Quadro 25 – Distribuição de tensões na armadura viga A3 (kN/cm^2)	105
Quadro 26 – Distribuição de tensões nos estribos viga A3 (kN/cm^2)	109

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.2	DELINEAMENTO.....	13
2	CONCRETO ARMADO	15
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
2.2	HISTÓRICO	16
2.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	17
2.3.1	Composição	17
2.3.2	Densidade.....	17
2.3.3	Compressão simples.....	18
2.3.4	Resistência à tração simples	19
2.3.5	Módulo de elasticidade.....	20
2.3.6	Coeficiente de Poisson.....	20
2.3.7	Diagrama tensão-deformação compressão simples	21
2.3.8	Coeficiente de transferência de cisalhamento β.....	23
2.4	PROPRIEDADES DO AÇO	23
2.4.1	Composição	24
2.4.2	Densidade e módulo de elasticidade E.....	24
2.4.3	Diagrama tensão x deformação.....	24
3	SIMULAÇÃO NUMÉRICA.....	26
3.1	MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)	26
3.2	ELEMENTOS FINITOS.....	28
3.2.1	SOLID65.....	28
3.2.2	LINK180.....	32
4	METODOLOGIA.....	33
4.1	FERRAMENTAS.....	33
4.2	MÉTODOS EMPREGADOS	33
4.3	PASSO A PASSO DA VIGA V1_A.....	34
4.3.1	Tipo de elemento	36
4.3.2	Propriedades dos materiais.....	38

4.3.3	Modelagem Estrutural	48
4.3.4	Malha	53
4.3.5	Solução	58
4.4	VIGAS DE BRESLER E SCORDELIS (1963)	62
5	RESULTADOS	70
5.1	VIGA V1_A (BEBER, 2003)	71
5.2	VIGAS A1, A2 E A3 (BRESLER E SCORDELIS, 1963)	82
6	CONCLUSÃO	113
	REFERÊNCIAS	115
	APÊNDICE A – SCRIPTS ANSYS APDL 18.2	117
A.1)	VIGA V1_A.....	118
A.2)	VIGA A1	135
A.3)	VIGA A2.....	150
A.4)	VIGA A3.....	165
	APÊNDICE B – SCRIPT GRÁFICO FORÇA X DESLOCAMENTO ANSYS APDL	181
B.1)	FORÇA X DESLOCAMENTO V1_A	182
B.2)	FORÇA X DESLOCAMENTO VIGA A1	183
B.3)	FORÇA X DESLOCAMENTO VIGA A2	184
B.4)	FORÇA X DESLOCAMENTO VIGA A3	185

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é o material estrutural mais usado na construção civil. O primeiro concreto teve origem no império Romano, utilizando calcário calcinado, água, areia e brita (NEVILLE, 2011). A introdução da armadura na estrutura de concreto veio apenas mais tarde. Segundo McCormac e Brown (2013), a invenção do concreto armado foi atribuída a Joseph Monier, devido à patente recebida pela construção de vasos em 1867 e a construção de reservatórios de água. Desde então sua técnica é empregada pelo mundo.

Com o passar dos anos, os elementos estruturais ficaram mais esbeltos e perto do seu limite de carga, devido à introdução de modelos analíticos mais precisos de dimensionamento. Beber (2003) diz que, apesar dessa otimização, as estruturas utilizadas hoje são mais sensíveis a apresentar patologias do que as estruturas antigas, as quais eram dimensionadas com maior fator de segurança. Adicionalmente, a necessidade de alteração do uso da estrutura, os erros de projeto e execução e a degradação dos materiais e desastres naturais geram a necessidade de reabilitação da estrutura (BARROS, 2004). Neste contexto, percebe-se a importância da utilização de modelos numéricos, facilitando a simulação de diversas hipóteses de cargas, configurações estruturais e condições de contorno, antes de colocá-los em prática.

A simulação numérica de elementos estruturais é viável graças aos programas computacionais de análise estrutural. Estes *softwares* utilizam informações de desenhos feitos em CAD e aplicam métodos de cálculo para realizar o estudo da estrutura. Dentre os tipos de análises, o mais adequado ao tema proposto é a análise estática, pois as vigas em concreto armado são de função estrutural estática, utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF) que discretizam o volume e simplificam os cálculos para o estudo (AZEVEDO, 2016).

Para este trabalho, foram utilizados dados experimentais de vigas em concreto armado. Estas informações foram obtidas a partir do trabalho de Beber (2003) – Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com

Compósitos de Fibra de Carbono – e de Bresler e Scordelis (1963) – *Shear Strenght of Reinforced Concrete Beams*. A fim de validar o modelo numérico lançado no *software* ANSYS, versão 18, os resultados obtidos pela simulação foram comparados com os resultados experimentais.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho é comparar os resultados do método numérico com os modelos experimentais. Para validar os resultados, é gerado a curva Força x Deslocamento a partir dos dados fornecidos nos trabalhos de Beber (2003) e Bresler e Scordelis (1963), comparando com os valores extraídos do resultado da simulação no ANSYS.

O detalhamento da construção do modelo até a geração de resultados é apresentado como objetivo secundário do trabalho. É tido como base o exemplar da simulação da viga de Beber (2003), onde é feito todo o passo-a-passo, desde a inserção das propriedades dos materiais até o resultado final do trabalho.

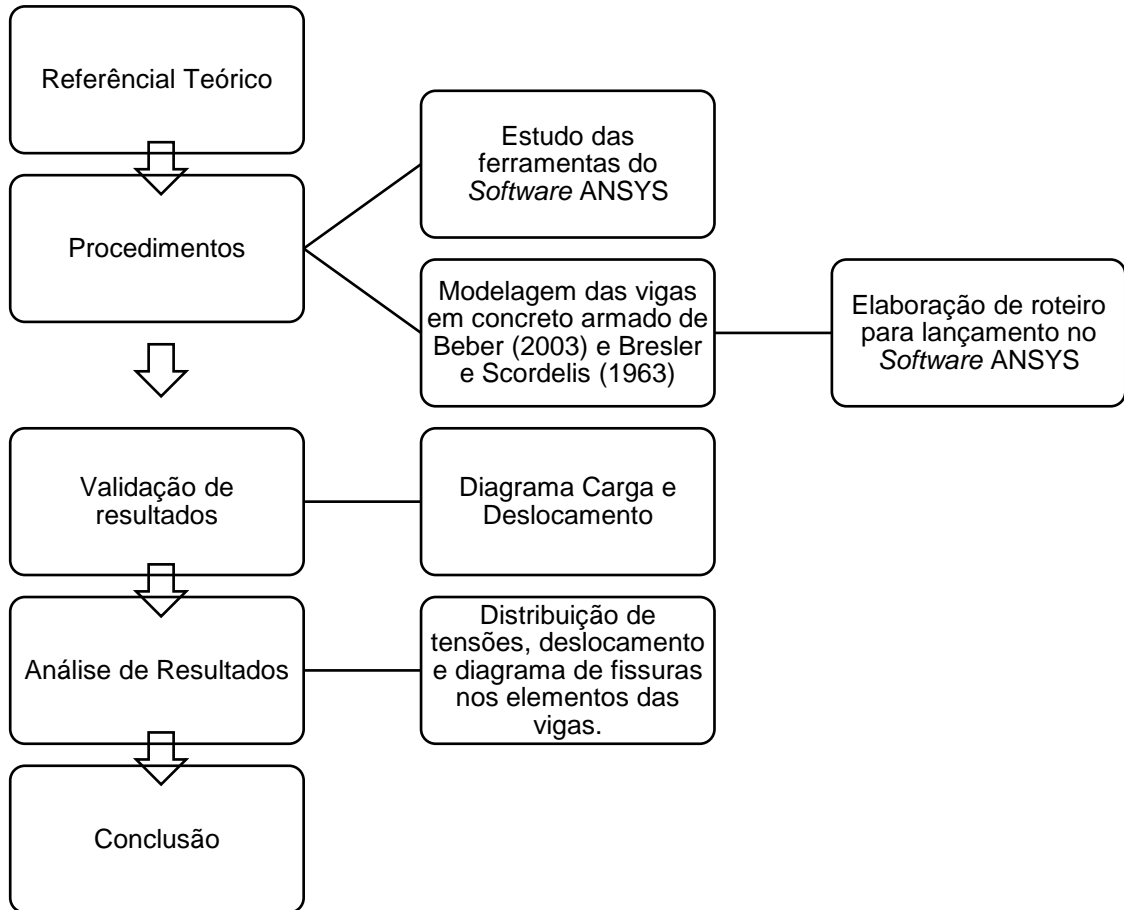
1.2 DELINEAMENTO

Inicialmente foi feito o referencial teórico, que servirá de base para entender as propriedades dos materiais que compõem as vigas, e entender o funcionamento do método dos elementos finitos. Então foram apresentadas as ferramentas utilizadas para desenvolver o trabalho e os procedimentos, passo-a-passo, para a construção de um modelo de viga em concreto armado no ANSYS. Este passo-a-passo foi feito através da interface do *software* e também através de *scripts* de programação.

Com os procedimentos bem claros, foram levantados os resultados de validação das vigas para se poder gerar os diagramas que o *software* disponibiliza para análise do modelo. A partir das comparações em relação à curva de carga e deslocamento, foi possível analisar a viabilidade do uso do programa computacional de análise estrutural para prever o comportamento das vigas. Com o estudo destas análises, foi discutido a eficiência dos resultados obtidos numericamente, quando comparados aos métodos experimentais, e a possibilidade de adotar este modelo para estudos futuros e adição de reforço, como, por exemplo, chapas de aço, concreto têxtil

ou chapas de fibra de carbono. A seguir segue um fluxograma da construção do presente trabalho:

Figura 1 – Fluxograma do trabalho



Fonte: Autor (2018)

2 CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um material largamente utilizado na construção civil para construção dos elementos estruturais. Nos itens a seguir, são apresentados conceitos, histórico e as propriedades deste material.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O concreto é um material compósito, constituído de agregados, cimento e água e sua resistência está diretamente ligada à quantidade, disposição e propriedades destes ingredientes. Dependendo da necessidade, é feita a adição de aditivos para melhorar alguma característica do concreto (MCCORMAC, 2013).

Segundo Araújo (2010), o concreto tem como característica principal a alta resistência à compressão, e a baixa resistência à tração (em torno de 10% da resistência a compressão). Por esse motivo, são usualmente empregadas barras de aço em conjunto com o concreto, onde as barras absorvem os esforços de tração solicitantes. Esse conjunto é conhecido como concreto armado. Além disso, o concreto também tem como característica oferecer a proteção da armadura contra a corrosão.

O concreto armado tem como vantagens a alta resistência à compressão por um baixo custo relativo aos custos de uma obra, alta resistência a ações de intempéries por ser um material inerte, fornece uma estrutura rígida e possibilidade de diferentes moldes, vida útil longa e pode ser moldado por mão de obra não especializada. Como desvantagens são consideradas a baixa resistência a tração do concreto, a necessidade de formas para moldar e promover a cura do concreto, são estruturas pesadas em relação a sua resistência aos esforços e há um difícil controle de qualidade pela variação das propriedades dos ingredientes e mistura do concreto (MCCORMAC; BROWN, 2013).

2.2 HISTÓRICO

Os primeiros registros do uso de um tipo de argamassa para estruturas foram datam 2000 a. C. na civilização Minoica, em Creta. Essa argamassa rudimentar era composta de calcário, areia e água e dissolvia gradualmente quando submersa em água. Isso foi aprimorado com os Romanos com a areia de cinzas vulcânicas, que quando misturado com essa argamassa, oferecia uma maior resistência e possibilidade de construir sob a água. Esse novo material é denominado cimento pozolânico, devido a vila de Pozzuoli, onde as cinzas foram descobertas (MACGREGOR, 2012).

Segundo Wight e MacGregor (2012), os romanos começaram a adicionar agregados na nova mistura, o que possibilitou a construção de estruturas mais robustas. Um exemplo vivo é o Panteão em Roma, onde foi incorporado ao cimento pozolânico as pedras britadas. Foi construído um domo onde os agregados mais graúdos eram empregados em sua base, e a medida que se aproximava do topo, utilizavam agregados mais leves. A prova de sua resistência é sua integridade estrutural até os dias atuais.

Por muito tempo o cimento pozolânico foi utilizado pela civilização. Até que em 1824 na Inglaterra, Joseph Aspdin, criou o que é conhecido hoje como cimento Portland, pulverizando calcário e argila e adicionando na mistura. Este nome veio devido a coloração do novo material, parecido com as rochas extraídas na Ilha de Portland (MACCORMAC; BROWN, 2013). As estruturas continuavam sendo compostas apenas de cimento, agregados e água.

A introdução da armadura veio na segunda metade do século XIX. Nesta época, houve algumas invenções utilizando aço como reforço nas estruturas de concreto comum. Lambot, da França, construiu um bote de concreto utilizando cabos de aço como reforço, patenteado em 1855. Thaddeus Hyatt patenteou vigas de concreto com barras na zona de tração do concreto, e as patenteou em 1877. Porém, os créditos da invenção do concreto armado para utilização estrutural são atribuídos a Joseph Monier (MACCORMAC; BROWN, 2013).

Monier começou a utilizar o reforço construindo vasos para árvores utilizando ferro em tubos de concreto. Patenteou essa invenção em 1867, seguida de patentes como reservatórios em 1868, pratos em 1869, pontes em 1873 e escadas em 1875 (WIGHT; MACGREGOR, 2012). As estruturas de concreto com reforço, utilizando

barras de aço, são empregadas até os dias atuais, com aprimoramentos científicos e elementos mais esbeltos.

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

Tendo em vista que o concreto é um material compósito, suas propriedades são bastante variáveis. É dependente dos materiais que o compõem e suas quantidades, além do método construtivo e qualidade dos materiais. Os itens a seguir dizem respeito aos parâmetros mais importantes que se levam em consideração nos cálculos numéricos e analíticos que envolvem o concreto.

2.3.1 Composição

O concreto é composto de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água. O agregado graúdo é a brita, e seu tamanho máximo pode variar de 2,36 a 50 *mm*. Como agregado miúdo é utilizado, na maioria das vezes, areia, com dimensões entre 0,075 e 4,8 *mm*.

O cimento Portland é o mais utilizado no mundo. De acordo com Neville (2011), o consumo do cimento Portland chega a 420 kg por pessoa no planeta terra. É um cimento que pode ser aplicado em quase qualquer tipo de construção.

2.3.2 Densidade

Segundo o Código Modelo da *fib* 2010 (2012), o concreto pode ser classificado de acordo com a densidade correspondente a ISO 22965-1:2007, sendo o concreto leve com densidade entre 800 e 2000 kg/m^3 , o concreto normal entre 2000 e 2600 kg/m^3 e o concreto pesado para densidades maiores que 2600 kg/m^3 .

Na norma brasileira NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto –, a fim de cálculos a densidade do concreto pode ser obtida por meio de ensaios de laboratório e pode variar de 2000 a 2800 kg/m^3 . Quando esse valor não é obtido, assume-se um valor entre 2400 e 2500 kg/m^3 . Se o peso específico do aço não é

conhecido, também pode ser assumido um valor de 100 a 150 kg/m^3 acrescidos a densidade do concreto.

2.3.3 Compressão simples

É necessária a construção de corpos de prova para determinar a resistência à compressão do concreto. Adotam-se cilindros de concreto, onde a razão da altura em relação ao diâmetro é igual a 2. Usualmente, os Corpos de Prova – CPs – têm 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, para agregados menores que 38 mm (ARAÚJO, 2010).

De acordo com Araújo (2010), com o resultado dos ensaios é construída a curva normal de Gauss, para realizar a análise da densidade de probabilidade da resistência do concreto (Figura 2). A partir desta curva, extrai-se a resistência média à compressão f_{cm} e pela Equação 1 é obtida a resistência característica do concreto a compressão f_{ck} , onde S é o desvio padrão das resistências.

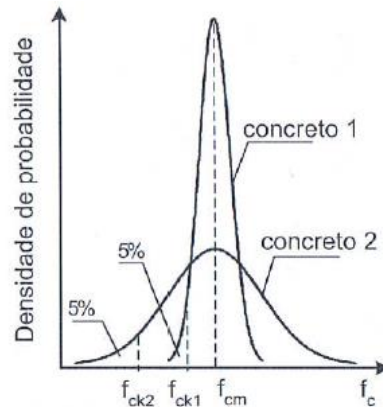
$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \cdot S \quad (1)$$

Os valores de f_{cm} , estão ligados à dosagem do concreto, que dependem da resistência desejada de projeto f_{ck} . Assim, f_{cm} pode ser definida pela Equação 2.

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f \quad (2)$$

onde Δf é um valor definido pela norma NBR 5738:2003 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova – e NBR 5739:1994 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – (ARAÚJO, 2010). Segundo o Código Modelo da *fib* (2010), o valor de Δf é adotado como 0,8 MPa, valor que será utilizado neste trabalho.

Figura 2 – Densidade de probabilidade da resistência do concreto



Fonte: Autor (2018)

É interessante salientar que um concreto de melhor qualidade é aquele que apresenta menor dispersão do eixo onde se encontra a maior resistência. Ou de outra maneira, o melhor concreto é aquele que apresenta valores de resistência mais próximos, que é o caso do concreto 1 na Figura 1.

2.3.4 Resistência à tração simples

O concreto, como já mencionado, apresenta baixa resistência à tração comparado à compressão (em torno de 10%). E da mesma maneira que a compressão, os valores da resistência a tração são obtidos por corpos de prova, tracionados no seu eixo axial (ARAÚJO, 2010).

Porém, Araújo (2010) relata que a dispersão da curva da resistência a tração é mais dispersa que a da compressão, não sendo tão proveitoso realizar ensaios. Em função disso, é possível obter a resistência à tração através da Equação 3 encontrada na NBR 6118:2014 e no Código Modelo da *fib* 2010 (2012).

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (3)$$

Para o presente trabalho, por exemplo, Beber (2003) utilizou ensaios para definir tanto a resistência a tração quanto a compressão, de acordo com as normas NBR 7222:2011 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por

compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – e NBR 12142:2011 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos

2.3.5 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade ou módulo de Young **E** mede a dificuldade em deformar os elementos sob uma determinada força. Pode-se dizer que o módulo de elasticidade é a razão entre a tensão e a deformação, e quanto maior este valor, maior a rigidez do material. De acordo com a NBR 6118:2014, a determinação de E é feita através do ensaio descrito na NBR 8522:2008 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à Compressão –. (COSSOLINO; PEREIRA, 2010). Quando não é feito o ensaio, o valor do módulo de elasticidade pode ser extraído da seguinte equação:

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2} \quad (4)$$

De acordo com o Código Modelo da *fib* 2010 (2012), o módulo de elasticidade em uma idade 28 dias, com f_{cm} conhecido é dado pela Equação 5

$$E_{ci} = E_{co} \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{1/3} \quad (5)$$

Onde:

$$E_{co} = 21,5 \cdot 10^3 \text{ MPa}.$$

$\alpha_E = 1,2$ para basalto ; $1,0$ para quartzo; $0,9$ para calcário; $0,7$ para arenito.

2.3.6 Coeficiente de Poisson

Quando o concreto é submetido à compressão, ele não sofre um encurtamento apenas longitudinalmente, mas expande transversalmente também. A

razão entre a deformação longitudinal e transversal é tida como coeficiente de Poisson ν , indicado na Equação 6.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \quad (6)$$

O coeficiente de Poisson pode variar de 0,11 a 0,26 para o concreto dependendo da sua resistência. Porém, um valor usual e coerente para o concreto em geral é definido pela NBR 6118:2014, pelo Código Modelo da *fib* 2010 (2012), e pela maioria dos autores como sendo 0,20 (MACCORMAC; BROWN, 2013). É um parâmetro importante para definir a deformação dos elementos de concreto dependendo da direção e sentido da força exercida sobre o mesmo.

2.3.7 Diagrama tensão-deformação compressão simples

O diagrama de tensão e deformação oferece uma curva que representa a deformação do concreto sob uma determinada tensão. A porção linear (inicial) da curva (em torno de 40% da resistência a compressão do concreto) apresenta um comportamento linear, sendo sua secante o próprio módulo de elasticidade. A partir de 70% da tensão aplicada, o concreto perde bastante rigidez e a curva começa a ter um caráter parabólico (NAVY, 2008).

A curva pode ser obtida de maneira analítica pelo Código Modelo *fib* 2010 (2012). As curvas geradas tanto pelo método da parábola-retângulo NBR 6118:2014 como pelo Código Modelo da *fib* 2010 (2012) são muito semelhantes na porção ascendente. A porção descendente fica estritamente ligada a geometria do material, mais especificamente pelo comprimento onde foi feito a medição. O eixo das abscissas representa deformação e o eixo das ordenadas representa a tensão (ARAÚJO, 2010).

Para encontrar a curva tensão de maneira analítica é utilizado a Equação 7 do Código Modelo da *fib* (2010):

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = -\left(\frac{k \cdot \eta - \eta^2}{1 + (k - 2) \cdot \eta}\right) \quad \text{para } |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{c,lim}| \quad (7)$$

Onde:

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1};$$

$$k = E_{ci} / E_{c1};$$

ε_c = Deformação de compressão;

ε_{c1} = Deformação na máxima tensão de compressão;

k = Número de plasticidade;

E_{ci} = Módulo de elasticidade do concreto;

E_{c1} = módulo secante da origem do pico de tensão de compressão;

No Quadro 1, são obtidos valores pré-estabelecidos para o módulo de elasticidade E , deformação ε e número plástico k , para realização dos cálculos.

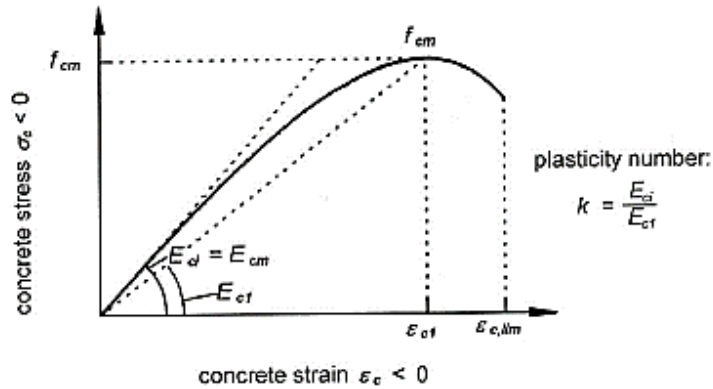
Quadro 1 – Modulo E_{ci} , E_{c1} , deformação ε_{c1} , $\varepsilon_{c,lim}$, número plástico k

Concreto	C12	C20	C30	C40	C50	C60	C70
E_{ci} [GPa]	27,10	30,30	33,60	36,30	38,60	40,70	42,60
E_{c1} [GPa]	11,10	13,30	16,50	20,00	23,20	26,20	28,90
ε_{c1} [‰]	-1,80	-2,10	-2,30	-2,40	-2,50	-2,60	-2,70
$\varepsilon_{c,lim}$ [‰]	-3,50	-3,50	-3,50	-3,50	-3,40	-3,30	-3,20
k	2,44	2,28	2,04	1,82	1,66	1,55	1,37

Fonte: Código Modelo da *fib* 2010 (2012)

A partir da Equação 7, substituindo os valores da fórmula, é possível a construção de um gráfico característico do concreto apresentado na Figura 3. Quando não se têm todos os valores para resolver a Equação, os parâmetros são calculados ou extraídos do Quadro 1.

Figura 3 – Diagrama tensão-deformação característico



Fonte: Código Modelo da *fib* 2010 (2012)

2.3.8 Coeficiente de transferência de cisalhamento β

Um parâmetro adicional na análise, são os coeficientes de transferência de cisalhamento. Eles foram adicionados como parâmetro no ANSYS, conforme a referência ao artigo de Willam e Warnke (1975), que descreve o comportamento triaxial do concreto.

Segundo Padmarajaiah e Ramaswamy (2002), o coeficiente de transferência por cisalhamento representa a parcela de carga que é transmitida através das fissuras do concreto. Há dois desses coeficientes, o coeficiente de transferência por cisalhamento para fissura fechada β_c , e para fissura aberta β_t .

Os coeficientes β_c e β_t , variam de 0 a 1, sendo o valor 0 representando perda total de transferência e 1 representando a transferência total por cisalhamento. A parcela de transferência para fissuras abertas é geralmente menor que para as fissuras fechadas, pois em fissuras abertas não há o contato do concreto entre as “paredes das fissuras” (ANSYS, 2017).

2.4 PROPRIEDADES DO AÇO

O aço é o elemento da viga de concreto armado que contribui para a resistência a tração. A NBR 7480:2008 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação – é a norma que apresenta algumas informações

sobre o aço utilizado para estruturas de concreto armado, e a seguir serão apresentadas algumas propriedades relevantes para o presente trabalho.

As propriedades do aço são bem definidas e mais precisas que as do concreto. Será dada atenção especial ao aço CA-50 que é utilizado nos ensaios experimentais de Beber (2003) e Bresler e Scordelis (1963).

2.4.1 Composição

Segundo Freitas Junior (2016), a composição química do aço é formada por Ferro (Fe_2) e Carbono (C). A porcentagem de C varia de 0,008% a 2,000%, e determina o comportamento e o tipo de aço, alterando a sua rigidez e a tensão máxima suportada. O aço CA-50 possui em torno de 0,150% a 0,400% de C, apresentando maior patamar de escoamento e menor tensão até sua ruptura do que aços para ferramentas de corte (2,000% de C). Isso significa que a ruptura do CA-50 é menos repentina, ideal para estruturas de concreto, podendo ser considerado como um mecanismo de segurança pois é possível ser tomada alguma providência emergencial antes da ruína total da estrutura.

2.4.2 Densidade e módulo de elasticidade E

Segundo a NBR 6118:2014 e o Código Modelo da *fib* 2010 (2012), a densidade e módulo de elasticidade do aço para estruturas de concreto armado pode fixada em 7850 kg/m^3 e 21000 kN/cm^2 , respectivamente. A variação da densidade varia máxima de $\pm 4\%$ a $\pm 7\%$, dependendo do diâmetro da barra. Quanto menor a bitola, maior a tolerância.

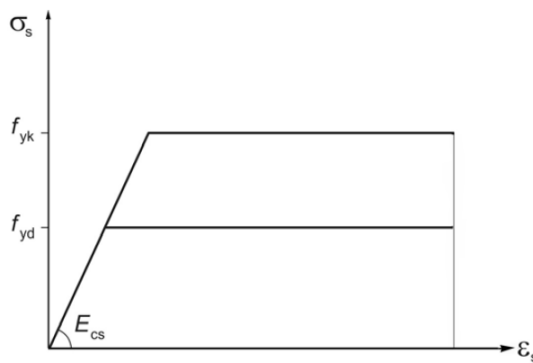
2.4.3 Diagrama tensão x deformação

Os aços para concreto armado são classificados em Tipo A e Tipo B, ligados ao método de fabricação. O aço Tipo A é laminado a quente dando origem as barras com patamar de escoamento bem definido, e o Tipo B trefilado a frio dando origem aos fios com patamar de escoamento não definido (BASTOS, 2006).

A NBR 6118:2014, define um diagrama tensão x deformação considerando o aço CA-50 como um material elasto-plástico perfeito para fins de cálculo (Figura 3). É importante ressaltar que esse diagrama é válido para temperaturas entre -20°C e 150°C .

A exigência de valor de f_{yk} segundo a norma NBR 7480:2008, é de 50 kN/cm^2 e o limite de resistência, ou tensão de ruptura f_{st} é igual a $1,08 f_{yk}$. Portanto as propriedades do aço são bem definidas.

Figura 4 – Diagrama tensão x deformação do aço



Fonte: ABNT (2004)

Onde:

σ_s = Tensão normal;

f_{yk} = Resistência característica de escoamento;

f_{yd} = Resistência de cálculo;

E_{cs} = Módulo de elasticidade secante;

ϵ_s = Deformação.

3 SIMULAÇÃO NUMÉRICA

A simulação numérica através do método dos elementos finitos foi a base para as modelagens das vigas neste trabalho. A fim de facilitar o lançamento estrutural e a análise de resultados foi utilizado o *software* ANSYS estudantil, versão 18.2.

3.1 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

De acordo com Azevedo (2003), o MEF se baseia em substituir uma integral complexa ou volume em um somatório de integrais simples (Equação 8).

$$\int_V f \, dV = \sum_{i=1}^n \int_{V_i} f \, dV \quad (8)$$

O que resulta na Equação 9:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (9)$$

Na Equação 9, o volume foi dividido em partes menores. Ou seja, é possível discretizar qualquer sólido, plano ou linha em parcelas menores para se desenvolver uma análise a partir de um problema físico. Essas pequenas partes são conhecidas como elementos (AZEVEDO, 2003).

De acordo com Azevedo (2016), na análise estrutural, cada elemento é considerado uma mola, com as propriedades de rigidez do sólido de origem. Dada uma força aplicada nesse elemento, é possível encontrar o deslocamento sofrido, que pode ser representado através da matriz de rigidez (Figura 5).

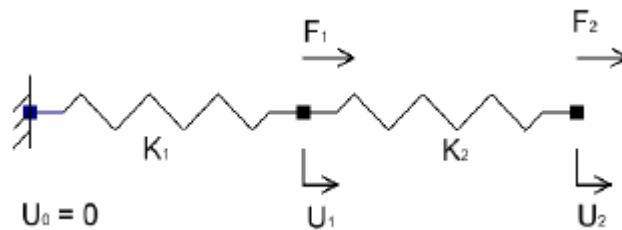
Figura 5 – Matriz de rigidez para dois elementos

$$\begin{Bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix}$$

Fonte: Azevedo (2016)

Cada elemento deve ser ligado um ao outro para poder haver comunicação dos esforços impostos. Esta ligação é feita através de nós (Figura 6), onde são transmitidas as forças e deslocamentos em função da rigidez dos elementos, no caso da análise estrutural estática.

Figura 6 – Elementos ligados entre nós



Fonte: Azevedo (2016)

É através dos nós que são aplicadas as condições para qualquer tipo de análise. No caso do modelo estrutural, pode ser feita a aplicação de uma força ou de um deslocamento em qualquer nó do modelo. Esta força ou deslocamento, irá interagir com o elemento pertencente ao nó, e o valor residual de força ou deslocamento, que sofre alteração ao ser calculado, é transmitido aos elementos subsequentes.

Aplicando-se condições globais em nós que representam, por exemplo, carga e apoio, é possível dar origem a matriz de rigidez global do problema (Figura 5). O tamanho da matriz é proporcional à quantidade de elementos criados, definidos pelo usuário e dependentes da geometria em estudo. Os *softwares* de simulação numérica, como o ANSYS, montam essas matrizes resolvendo as equações e fornecendo informações de tensão e deslocamento para cada nó criado (AZEVEDO, 2016).

3.2 ELEMENTOS FINITOS

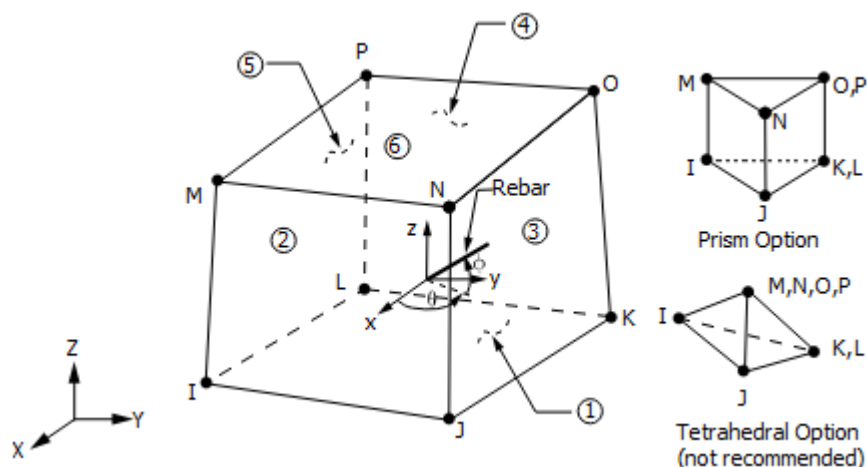
A forma do elemento varia de acordo com a necessidade do usuário e da peça analisada. Em elementos volumétricas, como é o caso da viga de concreto armado, os elementos podem ter forma de tetraedro ou hexaedro por exemplo. Nos itens a seguir, serão explicados os tipos de elementos usados para a modelagem da viga de concreto armado.

3.2.1 SOLID65

Este elemento é utilizado para representar o concreto e, também, os apoios e pontos de aplicação de carga nas simulações das vigas de Bresler e Scordelis (1963). Existem outros elementos na biblioteca do ANSYS que podem ser utilizados para representar o comportamento do concreto, porém o elemento SOLID65 é o mais apropriado para uma modelagem tridimensional de comportamento não linear do concreto.

Este elemento apresenta opções de formato hexaedro, prisma ou tetraedro e é definido por 8 nós (Figura 7) com 3 graus de liberdade cada. Apresenta propriedades de rompimento a tração e esmagamento a compressão. Neste trabalho as barras de aço serão simuladas separadamente através de outro elemento tipo.

Figura 7 – Geometria do elemento SOLID65



Fonte: ANSYS (2018)

O concreto pode ser analisado de maneira linear, caso a deformação seja simplificada para somente elástica. Porém, como já visto no item 2.3, o comportamento do concreto é muito mais complexo, necessitando a análise não linear.

Para uma análise não linear é feita a criação da matriz D para o elemento, onde são necessárias informações de módulo de elasticidade (E), coeficiente de Poisson (ν) e, posteriormente com as matrizes derivadas, o coeficiente de transferência de cisalhamento (β), fornecido pelo usuário (ANSYS, 2018). Para uma análise linear do concreto, a matriz D é representada na Equação 10.

$$[D^c] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & (1-\nu) & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & (1-\nu) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Onde:

D^c = Matriz D;

E = Módulo de elasticidade;

ν = coeficiente de Poisson.

De acordo com a referência teórica do ANSYS (2018), quando há uma fissura, há um fator redutor de resistência que altera a transmissão de tensões perpendiculares ao plano da fissura. Isso leva o material a cisalhar mais facilmente. O coeficiente redutor é representado por β_t , e a matriz D para fissura aberta em uma direção se torna equivalente a expressão 11:

$$[D_c^{ck}] = \frac{E}{(1+\nu)} \begin{bmatrix} \frac{R^t(1+\nu)}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{1}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Onde:

D_c^{ck} = Matriz D com fissura aberta para uma direção;

R^t = Módulo secante que varia de 0,6 a 0,0 a medida que a solução da matriz converge. Auxilia na convergência do problema;

β_t = Coeficiente de transferência de cisalhamento para fissura aberta.

Quando a fissura se fecha, as tensões de compressão, perpendiculares ao plano da fissura, são transmitidas através dela. Então o coeficiente β_c é introduzido na matriz, conforme apresentado na Equação 12 (ANSYS, 2018).

$$[D_c^{ck}] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Para fissura em duas direções, a matriz fica conforme indicado na expressão

13.

$$[D_c^{ck}] = E \begin{bmatrix} \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Se as duas fissuras se fecharem ou se houver fissura aberta nas três direções, são utilizadas as expressões 14 e 15, respectivamente.

$$[D_c^{ck}] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$[D_c^{ck}] = E \begin{bmatrix} \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \quad (15)$$

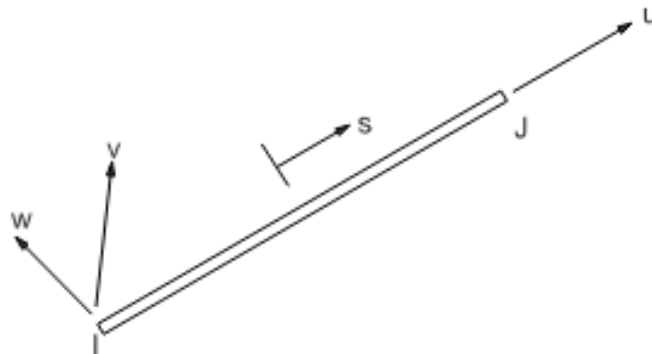
E caso as três fissuras se fecharem, segue a matriz da Equação 14. As matrizes são então transformadas para coordenadas do elemento para cálculo. A definição de fissura aberta ou fechada se dá na deformação sofrida em algum ponto. Quando a deformação é menor que 0, é dito como fissura fechada. Se maior ou igual a 0 é dita como aberta (ANSYS, 2018).

De acordo com a referência teórica do ANSYS (2018), quando há esmagamento do concreto o *software* discrimina como total ruína da estrutura naquele ponto. Isso leva a desconsiderar a resistência no ponto onde foi gerado o esmagamento.

3.2.2 LINK180

O elemento LINK180 é o elemento que representa o aço da armadura e os pontos de aplicação de carga e apoio nas simulações das vigas de Beber (2003). É um elemento 3D simples, com três graus de liberdade em cada um dos nós. O LINK180 é uniaxial, e apresenta suporte para tensão e compressão e sua geometria apresenta apenas 2 nós (Figura 8) (ANSYS, 2018).

Figura 8 – Geometria LINK180



Fonte: ANSYS (2018)

Não é possível trabalhar com torção, cisalhamento nem aplicar pressão sobre o elemento. A tensão sofrida é considerada uniforme por todo o elemento, como já comentado, apresentando apenas tração e compressão (ANSYS, 2018).

4 METODOLOGIA

No presente capítulo serão abordadas as diretrizes tomadas para a execução do trabalho, as ferramentas necessárias e os métodos empregados para a concretização das simulações numéricas. Também um passo a passo será apresentado na construção da simulação numérica da viga V1_a, referente ao trabalho de Beber (2003).

4.1 FERRAMENTAS

Para a simulação numérica, é indispensável um computador com bom processador para dar maior velocidade nos cálculos e uma placa de vídeo adequada para poder manipular a peça tridimensional. Será empregado o uso de um notebook com placa de vídeo dedicada de 2 Gb, processador de dois núcleos com 2,6 Ghz cada, 8 Gb de memória RAM e um HD de 1 Tb.

A plataforma de desenvolvimento das simulações será no *software* ANSYS Mechanical APDL 2018. O Excel e o Bloco de notas serviram como ferramentas auxiliares, para gerenciar os dados e realizar os cálculos pertinentes à modelagem.

4.2 MÉTODOS EMPREGADOS

Os elementos utilizados foram o SOLID65 para modelar o compósito concreto, suportes e aplicação de carga e o LINK180 para modelar o aço. Foi feita toda a modelagem, alimentação de dados e adição de restrições através da linguagem de programação do ANSYS. Porém, para melhor entendimento, também foi feito um passo a passo da viga V1_A, uma das vigas ensaiadas experimentalmente por Beber (2003), pela interface do ANSYS.

A programação é feita através de um arquivo de texto, chamado de *script*, contendo todas as informações e caminhos necessários para concretizar a simulação.

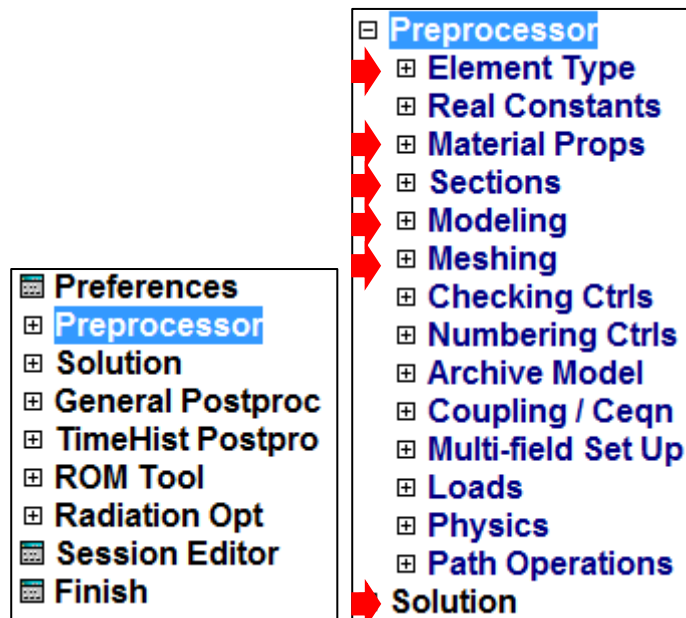
Após o programa ler todo o arquivo, são feitos os cálculos e extraídas as informações pertinentes como reações de apoio, tensão, deformação entre outras propriedades, em cada um dos nós dos elementos.

4.3 PASSO A PASSO DA VIGA V1_A

No item 4.3 foi feito um passo a passo de criação do modelo, adição de propriedades e simulação. Para a simulação é necessário realizar diversos procedimentos e alimentar o *software* com dados de entrada para que se possa montar e calcular as matrizes. Após o resultado dos cálculos, é fornecido ao usuário diversos resultados como distribuição de tensões, deslocamentos, diagrama de fissuras, que devem ser filtrados para uma correta análise posterior.

Na interface principal do ANSYS APDL 18.2 (Figura 9), é possível observar a sequência dos procedimentos da montagem do modelo até seus resultados e análises.

Figura 9 – Interface principal do ANSYS APDL



Fonte: Autor (2018)

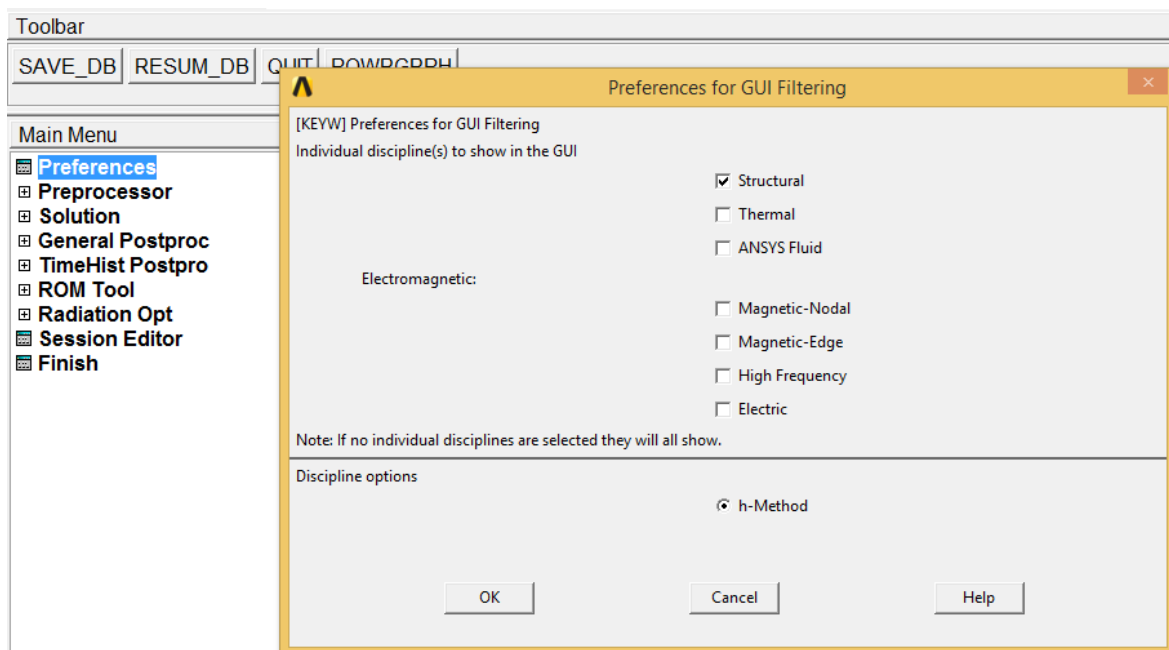
É importante lembrar que toda a modelagem também pode ser feita através de um *script* pela ferramenta Bloco de Notas. Tendo isso em vista, uma ferramenta fundamental para auxiliar no entendimento da programação do *software* é o “*Session*

Editor”, apresentado na Figura 9. Com o Session Editor, é possível copiar os comandos executados “manualmente” para os *scripts* que estão disponibilizados no APÊNDICE A, para se efetuar a programação.

A maneira “manual” de se executar as ações no *software* serve de treinamento e aprendizado sobre as funções e ferramentas presentes no programa. Quando o usuário está ambientado com a linguagem presente no “*Session Editor*”, é possível criar o *script* para ter maior agilidade nas mudanças feitas ao longo das simulações.

No pré-processamento são fornecidas as principais informações físicas e geométricas, pelo usuário, para, posteriormente, serem feitos os cálculos. Antes do pré-processamento, é definido o tipo de análise, pelo caminho *Preferences>Structural>Ok* (Figura 10).

Figura 10 – Seleção de preferências ANSYS



Fonte: Autor (2018)

É então assinalada a opção “*Structural*”, para filtrar as opções apresentadas pelo ANSYS (Figura 10). Como a simulação é apenas de análise estrutural, não há necessidade das outras opções presentes.

O comando de *script* para tal procedimento está disposto na Figura 11. Lembrando que para o desenvolvimento do *script* sempre é consultado o “*Session Editor*”, que grava os comandos executados pelo *software* a partir do caminho definido pelo autor.

Figura 11 – Definição do tipo de análise

```

!-----
!  DEFINIR TIPO DE ANALISE
!-----
!
! Caminho: Preferences> Structural> OK
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!

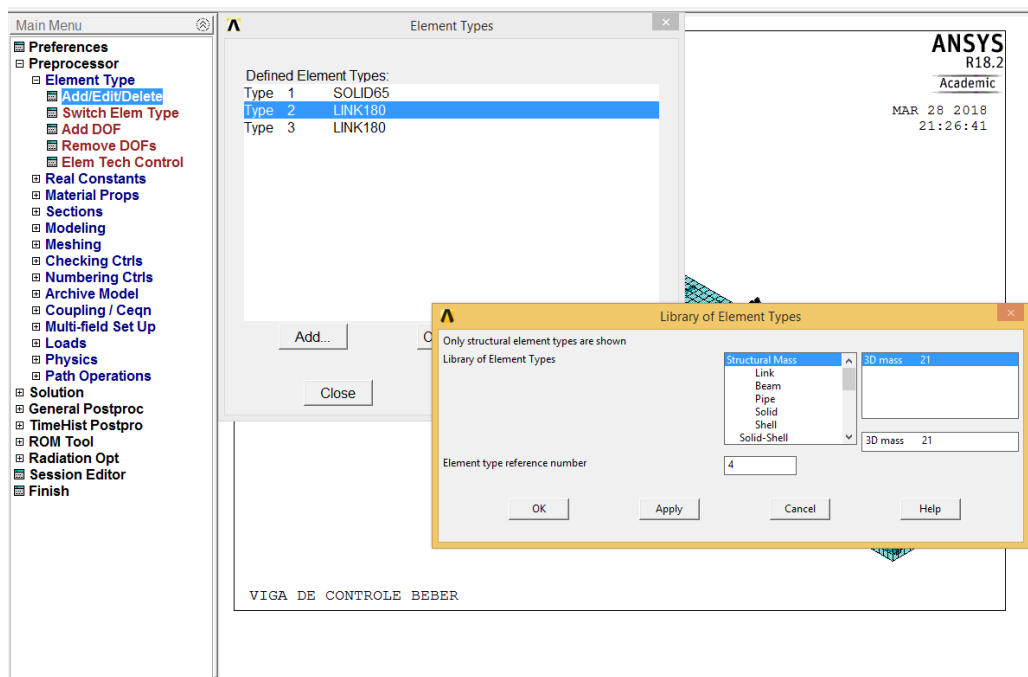
```

Fonte: Autor (2018)

4.3.1 Tipo de elemento

O elemento tipo, ou elemento finito, é definido pelo caminho *Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete*. Para escolher o elemento clica-se em *Add* na nova janela, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Caminho Element Type



Fonte: Autor (2018)

Como já mencionado, os elementos utilizados foram o SOLID65 e LINK180. O correspondente caminho extraído do “*Session Editor*”, via *script*, está indicado a seguir:

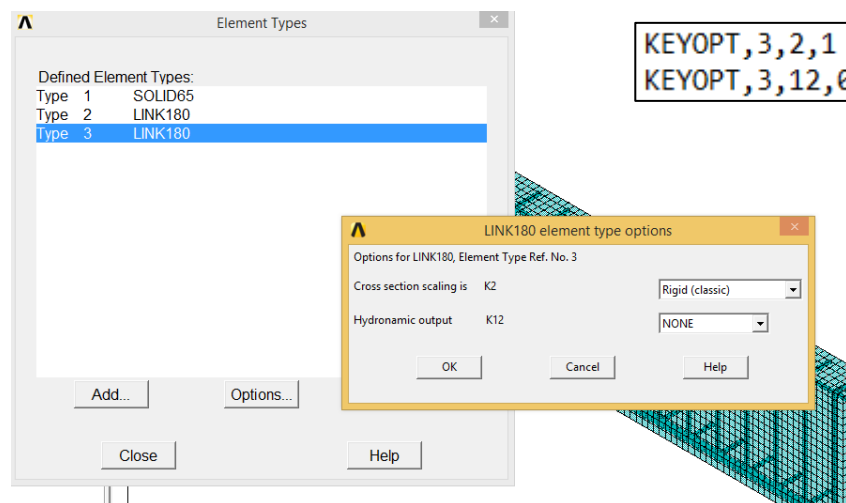
Figura 13 – Definição Elemento Tipo

```
! -----
!  DEFINIR ELEMENTOS
! -----
/PREP7
!*
ET,1,65
!*
ET,2,180
!*
KEYOPT,3,2,1
KEYOPT,3,12,0
!*
```

Fonte: Autor (2018)

O terceiro elemento (ET,3,180) foi definido para representar os apoios e pontos de aplicação de carga. Por esse motivo, este elemento foi definido como rígido, em relação a variação da seção transversal, ou seja, sem deformação. Esta opção é definida para não alterar a carga que é descarregada na peça. Essa modificação é feita clicando nas opções na janela “*Element Types*” na Figura 12. Na nova janela seleciona a opção (Figura 14).

Figura 14 – Opções do apoio e *script*



Fonte: Autor (2018)

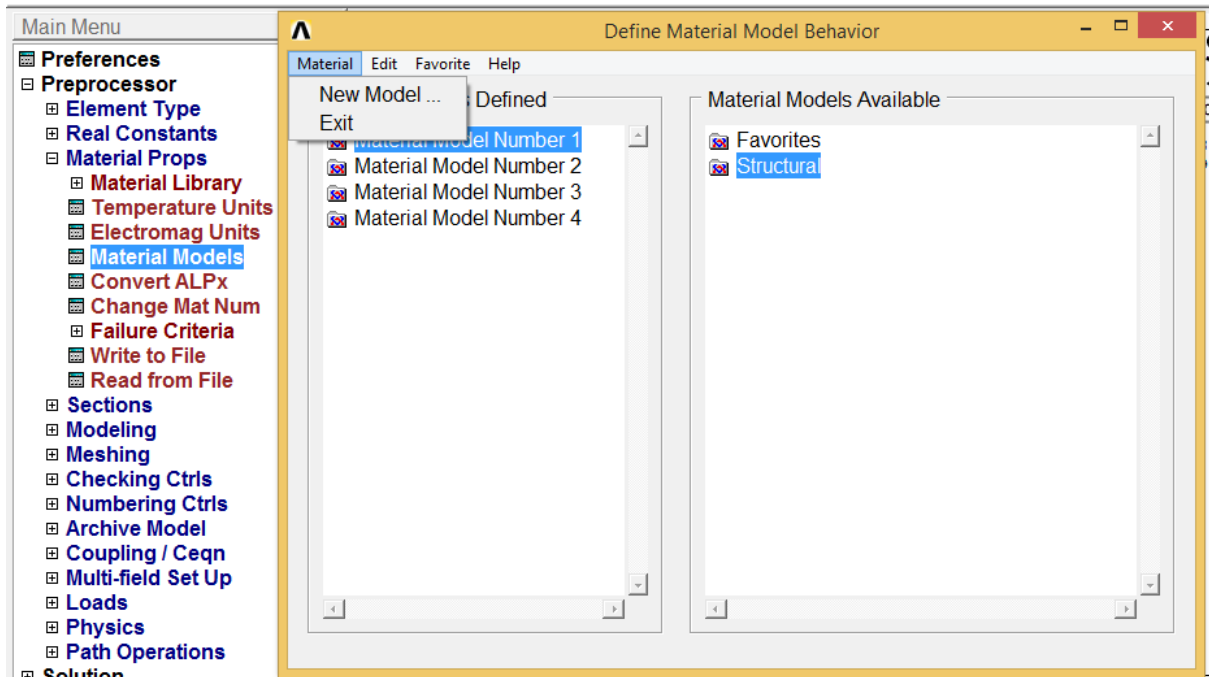
O segundo elemento (ET,2,180), vem com as opções padrões do *software*, onde sua deformação da seção transversal depende do alongamento da peça. O primeiro elemento (ET,1,65), representante do concreto, também é mantido nas opções padrões.

4.3.2 Propriedades dos materiais

Uma das partes mais importantes da simulação são as definições das propriedades do material. Por isso, é importante ter o cuidado ao inserir os parâmetros, e que estes sejam bem próximos ao que foi ensaiado de forma experimental, a fim de validar os resultados.

O caminho para definir um material e suas propriedades é *Preprocessor>Material Models>Material(aba)>New model* (Figura 15). Foram definidos 3 materiais: um para representar o concreto, outro para simular as armaduras longitudinais e estribos e, por último, um material para representar os pontos de aplicação de carga e apoio.

Figura 15 – Caminho para propriedades do material

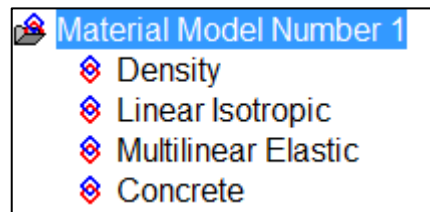


Fonte: Autor (2018)

4.3.2.1 Concreto

No concreto, há quatro itens a serem definidos (Figura 16): densidade, propriedade isotrópica linear, propriedade elástica multilinear, e propriedades do concreto.

Figura 16 – Propriedades do concreto



Fonte: Autor (2018)

A densidade do concreto, foi calculada a partir dos dados presentes no consumo de material para as vigas da tese de Beber (2003), conforme indicado no Quadro 2.

Quadro 2 – Consumo de materiais para 1 m^3 de concreto

Material	Consumo
Cimento	305 <i>kg</i>
Agregado miúdo	851 <i>kg</i>
Agregado graúdo	1135 <i>kg</i>
Água	175,4 <i>kg</i>

Fonte: Beber (2003), adaptado pelo autor

Fazendo o somatório dos pesos dos materiais tem-se 2466,4 kg/m^3 de concreto. O valor encontrado no ensaio físico está dentro do previsto na norma NBR 6118 que estabelece de 2400 a 2500 kg/m^3 . Este valor também corresponde aos dados presentes no Código Modelo da *fib* 2010 (2012). Este dado no *script* de entrada de dados está representado na Figura 15, e é inserido na primeira guia do Material 1.

Figura 17 – Densidade do concreto

```
!DENSIDADE|
MPTMP,,,,,,
MPTMP,1,0
MPDATA,DENS,1,,2.42e-8
```

Fonte: Autor (2018)

O segundo item a ser inserido é a propriedade isotrópica linear do concreto, ou seja, o seu módulo de elasticidade (E) e coeficiente de Poisson (ν). O módulo de elasticidade é definido através do Código Modelo da *fib* 2010 (2012), pela Equação 5, já apresentada anteriormente.

$$E_{ci} = E_{co} \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{1/3} \quad (5)$$

Para isso foram extraídos do trabalho de Beber (2003), os resultados dos ensaios a de resistência a compressão e tração dos corpos de prova. Os ensaios foram feitos na prensa universal SHIMADZU, com capacidade de 2000kN. Foram feitos 9 corpos de prova cilíndricos do tipo 10x20 cm, para cada betonada. Os valores encontrados foram $f_{cm} = 3,28 \text{ kN/cm}^2$ (32,8 MPa) de resistência a compressão com coeficiente de variação de 5,24% e $f_{ctm} = 0,29 \text{ kN/cm}^2$ de resistência a tração, com coeficiente de variação de 9,09%.

O parâmetro E_{co} é definido pelo Código Modelo da *fib* 2010 (2012), como $21,5 \cdot 10^3 \text{ MPa}$, e o parâmetro $\alpha_E = 1,2$, pois nas modelagens experimentais de Beber (2003), foi utilizado o basalto como agregado graúdo. Portanto, tendo todos os dados, é possível definir o módulo de elasticidade do concreto pela Equação 5.

$$E_{ci} = E_{co} \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{1/3}$$

$$E_{ci} = 21.500 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{32,8}{10}\right)^{1/3}$$

$$E_{ci} = 3.833,34 \text{ kN/cm}^2$$

O coeficiente de Poisson é definido pela norma NBR 6118 (ABNT, 2014) como 0,20. Na Figura 18 é exibido como fica o comando de lançamento do módulo de

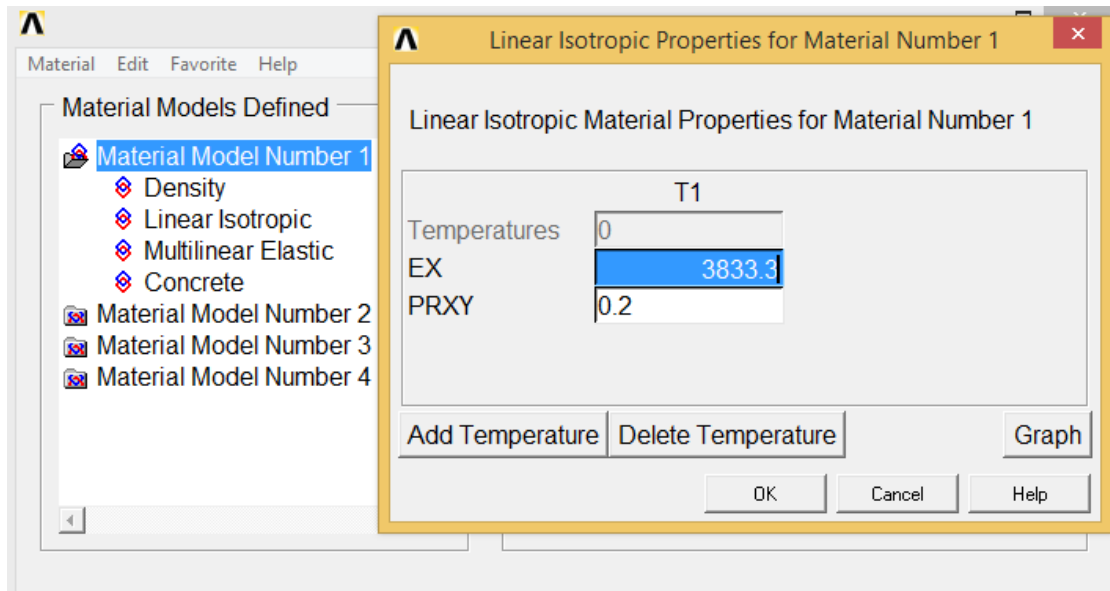
elasticidade e do coeficiente de Poisson no *script*. A Figura 19 mostra como são inseridos estes parâmetros diretamente no *software*.

Figura 18 – Módulo de elasticidade e Coeficiente de Poisson

```
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,3833.34
MPDATA,PRXY,1,,.2
```

Fonte: Autor (2018)

Figura 19 – Propriedades Isotrópicas Lineares



Fonte: Autor (2018)

O próximo passo foi definir o comportamento multilinear elástico do concreto. Para isso, utilizaram-se as Equações 2 e 7 apresentadas anteriormente. Substituindo o valor de f_{cm} na Equação 2, foi obtido o valor de f_{ck} (Equação 2).

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f \quad (2)$$

Portanto:

$$3,28 = f_{ck} + 0,80$$

$$f_{ck} = 2,48 \text{ kN/cm}^2$$

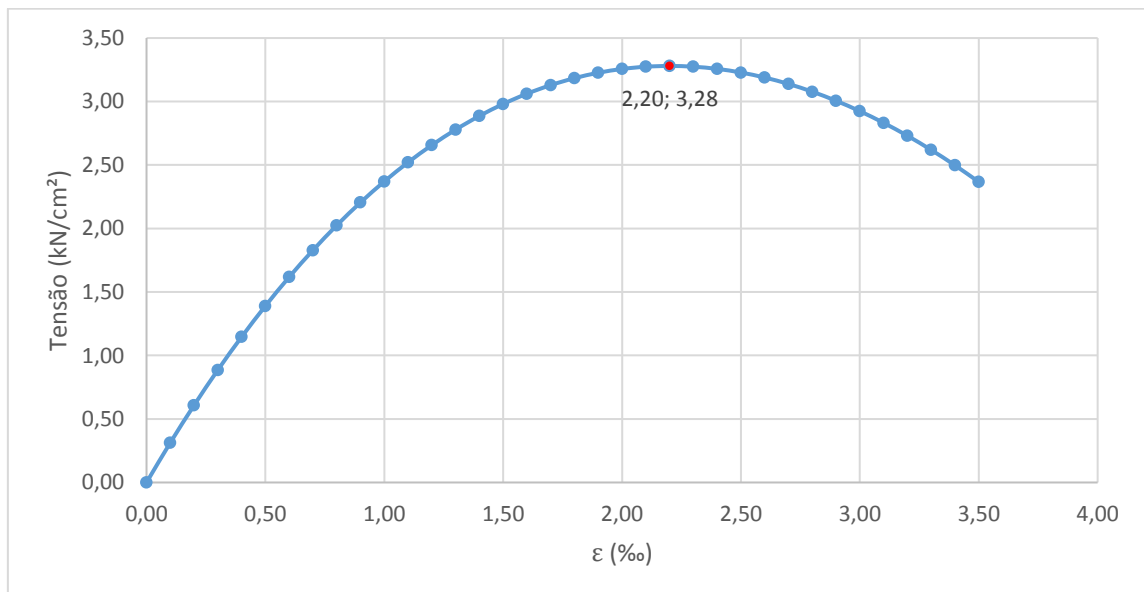
Como pode ser observado no Quadro 1, não há dados para $f_{ck} = 2,48 \text{ kN/cm}^2$. É, então, feita uma interpolação para obter os dados necessários para dar continuidade a Equação 7, e se obtém $\varepsilon_{c1} = 2,20$ e $k = 2,16$. Substituindo os valores na Equação 7, são obtidos os resultados apresentados no Quadro 3. A partir destes dados, é gerado o gráfico representado na Figura 20, caracterizando corretamente o comportamento do concreto de acordo com o Código Modelo da *fib* 2010 (2012).

Quadro 3 – Valores de tensão deformação

ε (‰)	σ (kN/cm ²)	ε (‰)	σ (kN/cm ²)	ε (‰)	σ (kN/cm ²)
0,0000	0,00	0,0012	2,66	0,0024	3,26
0,0001	0,31	0,0013	2,78	0,0025	3,23
0,0002	0,61	0,0014	2,89	0,0026	3,19
0,0003	0,89	0,0015	2,98	0,0027	3,14
0,0004	1,15	0,0016	3,06	0,0028	3,08
0,0005	1,39	0,0017	3,13	0,0029	3,01
0,0006	1,62	0,0018	3,18	0,0030	2,92
0,0007	1,83	0,0019	3,23	0,0031	2,83
0,0008	2,02	0,0020	3,26	0,0032	2,73
0,0009	2,21	0,0021	3,27	0,0033	2,62
0,0010	2,37	0,0022	3,28	0,0034	2,50
0,0011	2,52	0,0023	3,27	0,0035	2,37

Fonte: Autor (2018)

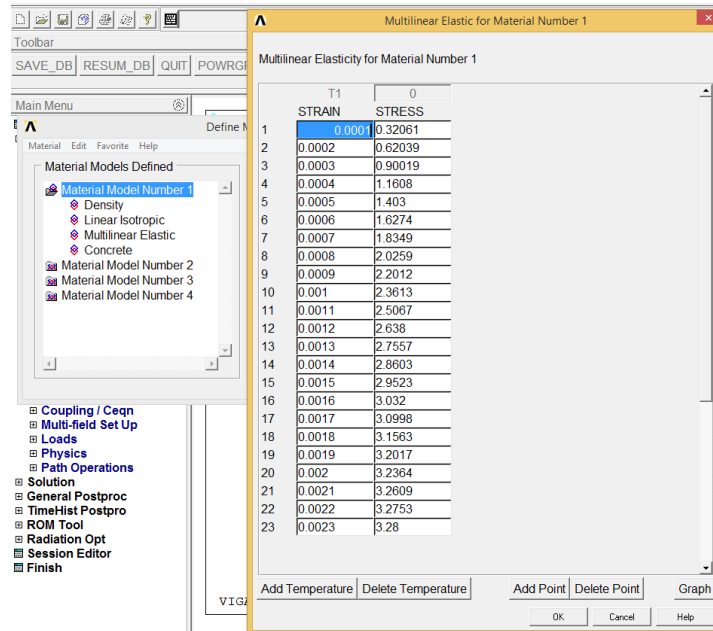
Figura 20 – Tensão x Deformação V1_a



Fonte: Autor (2018)

Os dados são inseridos na terceira guia do Material 1 (Figura 21). O caminho é um trecho do comando do *script* está disposto na Figura 22.

Figura 21 – Dados Tensão x Deformação



Fonte: Autor (2018)

Figura 22 – Dados Tensão x Deformação (*script*)

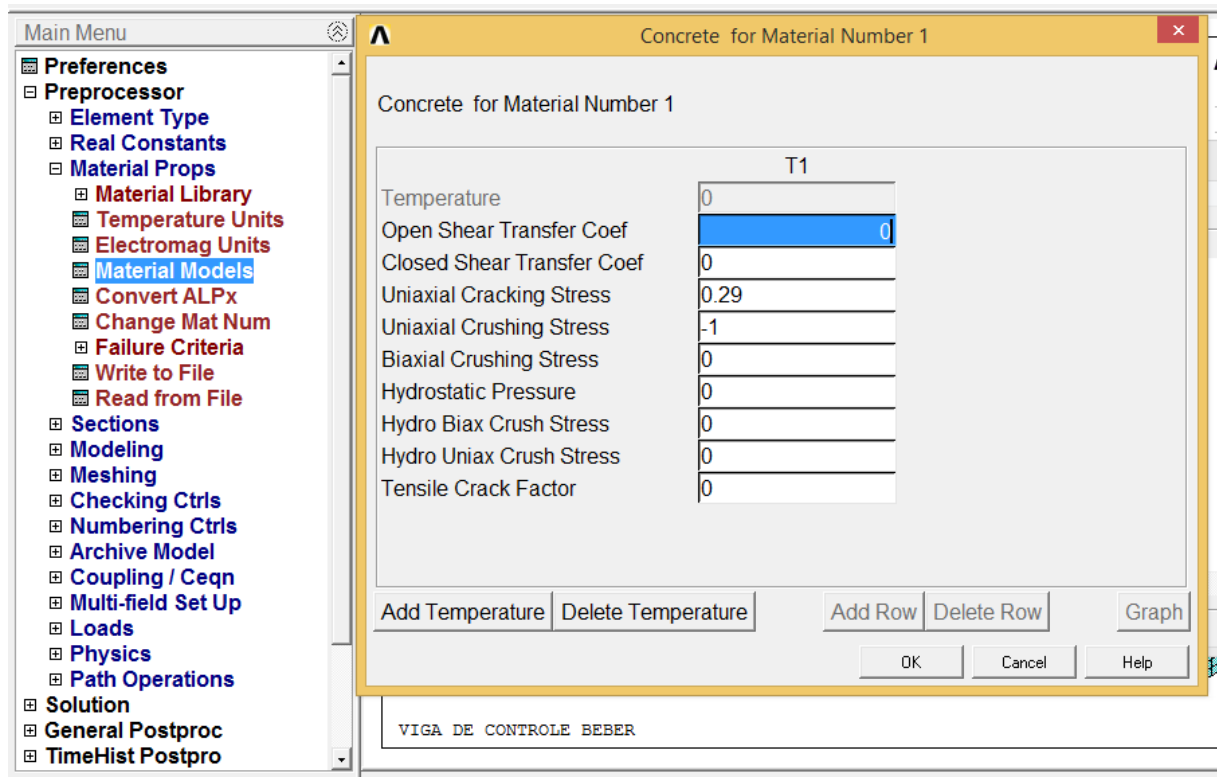
```
! NONLINEAR>ELASTIC>MULTILINEAR ELASTIC
!
! DADOS DO EXCEL MANIPUALDOS NO BLOCO DE NOTAS
!
TB,MELA,1,1,35,0
TBTEMP,0
TBPT,,0,0
TBPT,,0.0001,0.327439013
TBPT,,0.0002,0.635311355
TBPT,,0.0003,0.92405427
TBPT,,0.0004,1.194092069
TBPT,,0.0005,1.44583661
TBPT,,0.0006,1.679687744
TBPT,,0.0007,1.896033755
TBPT,,0.0008,2.095251774
TBPT,,0.0009,2.277708174
TBPT,,0.001,2.443758955
TBPT,,0.0011,2.593750105
TBPT,,0.0012,2.728017951
TBPT,,0.0013,2.846889494
! ...
```

Fonte: Autor (2018)

O último parâmetro a ser preenchido são as propriedades do concreto. Nessa aba, são inseridos os valores de resistência a compressão, e coeficiente de transferência para fissuras abertas e fechadas.

Como já visto, os resultados de resistência a compressão dos corpos de prova do trabalho de Beber (2003), deram em média um valor de $3,28 \text{ kN/cm}^2$. O resultado do ensaio à tração foi em média de $0,29 \text{ kN/cm}^2$. Os valores são então inseridos no *software*, conforme indica a Figura 23.

Figura 23 – Propriedades do concreto



Fonte: Autor (2018)

Nota-se que o espaço para incluir a resistência a compressão “*Uniaxial Cracking Stress*” foi inserido o valor -1. Isso representa que não será levado em conta a resistência a compressão do concreto neste modelo, e sim no modelo MELAS (*Multilinear Elasticity*) indicado pela curva lançada no programa, representada na Figura 20.

Na Figura 23 é possível observar que os coeficientes de fissura aberta e fechada foram tomados como 0. Essa situação é incomum, visto que em grande parte dos trabalhos de simulação numérica (RU-DENG 2008; IBRAHIM e MAHMOOD,

2009), os valores de β_c variam de 0,6 a 1,0 e β_t varia de 0,1 a 0,4. No caso do presente trabalho, esse valor nulo representa uma fissura considerável, com perda total de transferência de cisalhamento. Estes valores foram adotados depois de diferentes testes de simulação, onde os valores nulos para os coeficientes de transferência de cisalhamento apresentaram melhores resultados. Na Figura 24 é apresentado o comando para inserir os valores apresentados acima no *software*:

Figura 24 – Comando para propriedades do concreto

```
! NONLINEAR>INELASTIC>NON-METAL PLASTICITY>CONCRETE
!
TB,CONC,1,1,9,
TBTEMP,0
TBDATA,,,,-.29,-1,,
TBDATA,,,,,,
!
```

Fonte: Autor (2018)

4.3.2.2 Aço

Para as barras de aço é necessário preencher 2 itens: propriedade elástica linear, onde é inserido o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson; propriedade isotrópica plástica com endurecimento linear onde é inserida a tensão de escoamento limite (f_{yk}). De acordo com o trabalho de Beber (2003), foram feitos ensaios à tração em 2 amostras de cada barra de bitolas diferentes, utilizadas para a montagem das vigas de controle. O valor médio de cada bitola está presente no Quadro 4.

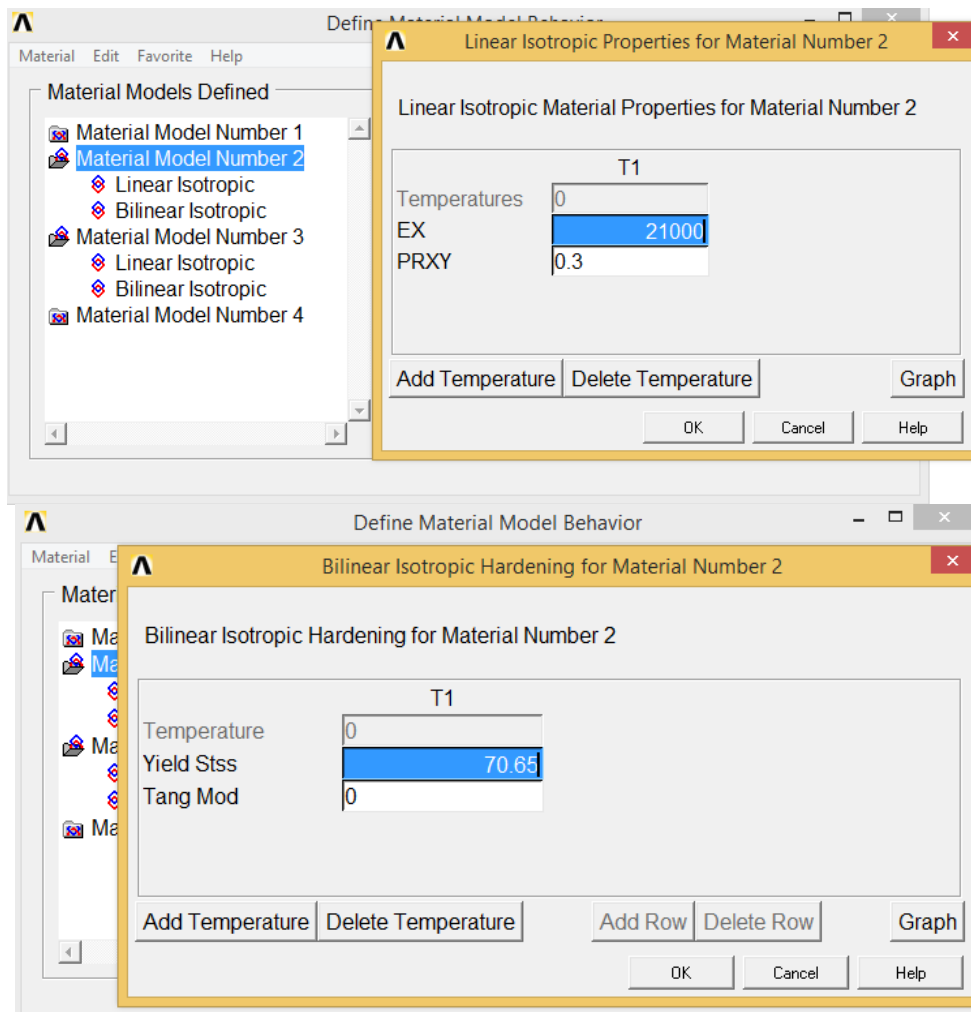
Quadro 4 – Propriedades do aço utilizado

Bitola	Tensão de escoamento [kN/cm ²]
6,3 mm	58,71
12,5 mm	70,65
16,0 mm	62,52

Fonte: Beber (2003), adaptado pelo autor

Na viga simulada V1_a, a bitola das barras foram 6,3 mm para os estribos e 12,5 mm para as barras longitudinais. O módulo de elasticidade das barras foi definido como 21 GPa e coeficiente de Poisson como 0,3. Os valores foram então inseridos no software, e estão apresentados na Figura 25, através do modelo BISO (*Bilinear Isotropic Hardening*).

Figura 25 – Propriedades do aço



Fonte: Autor (2018)

O material número 2 representa as barras longitudinais, e o material número 3 representa os estribos. Na Figura 26 são apresentados o caminho e comando para o *script* utilizado, como por exemplo, o material 2. Para inserir o material 3, é necessário copiar o comando e mudar os parâmetros.

Figura 26 – Propriedade do aço (*script*)

```

! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,21000
MPDATA,PRXY,2,,.3
!
! NONLINEAR>INELASTIC>RATE INDEPENDENT>ISOTROPIC HARDENING PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,2,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,70.65,,,,,

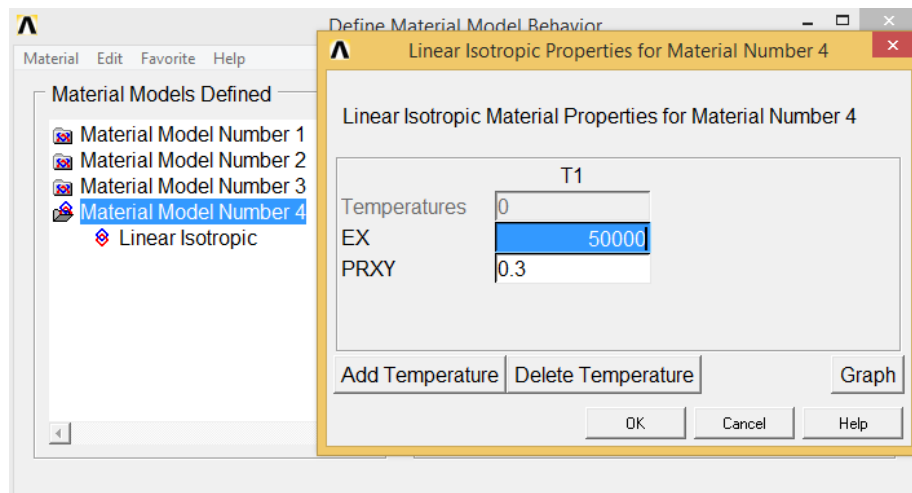
```

Fonte: Autor (2018)

4.3.2.3 Apoios e pontos de carga

Para representar os pontos de apoios e de carga foi utilizado um material extremamente rígido. Este material deve apresentar um alto valor de módulo de elasticidade para não se deformar quando é aplicada carga no *software*. Não é necessário atribuir outras informações ao modelo, como propriedades do concreto ou densidade. Para estes elementos foi utilizado 50 *GPa* de módulo de elasticidade e 0,3 de coeficiente de Poisson, conforme mostra a Figura 27. Na Figura 28 é mostrado o caminho e comando no *script* de entrada de dados.

Figura 27 – Apoios e pontos de carga



Fonte: Autor (2018)

Figura 28 – Apoios e pontos de carga (*script*)

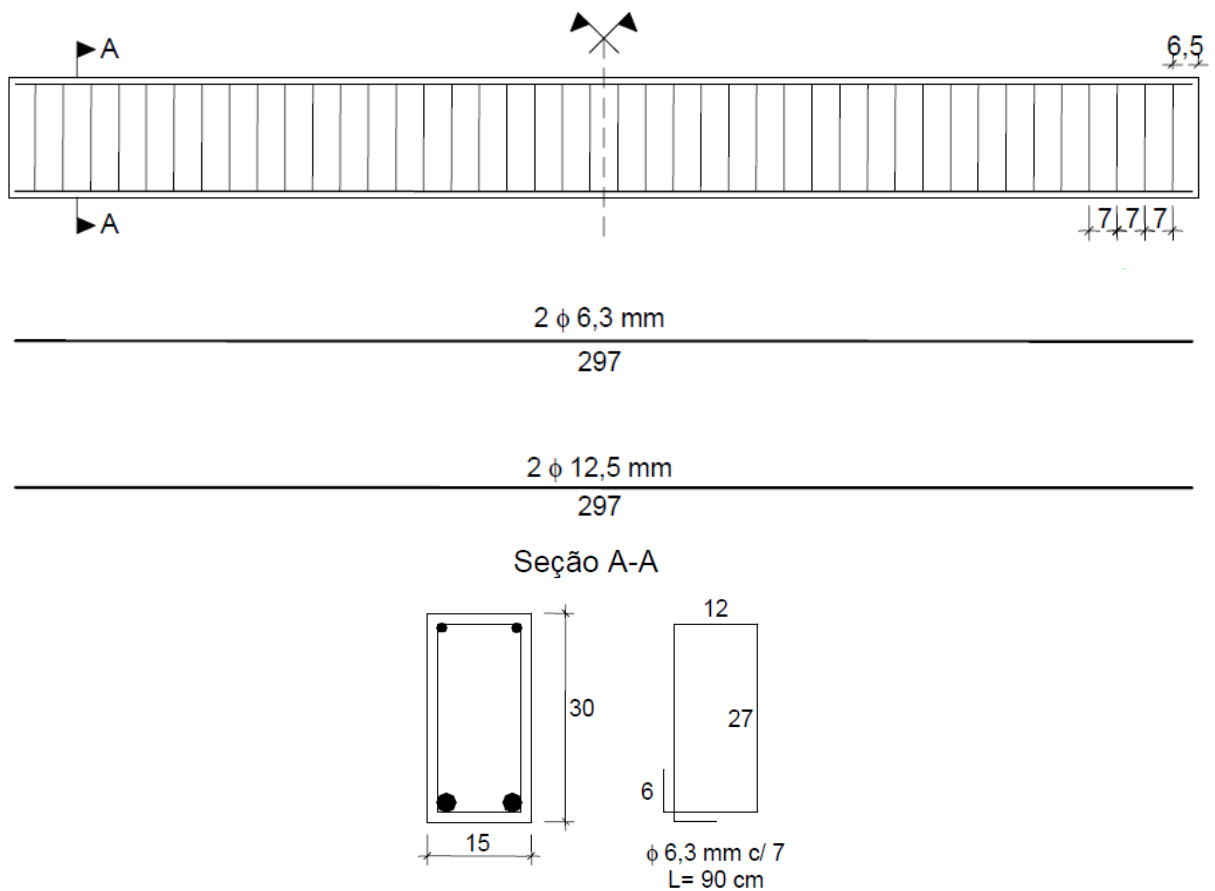
```
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,4,,50000
MPDATA,PRXY,4,,.3
```

Fonte: Autor (2018).

4.3.3 Modelagem Estrutural

Neste item é lançada toda a geometria da estrutura, definindo os comprimentos das barras, espaçamento dos estribos e seção de concreto, e todas as outras dimensões. O detalhamento original da V1_a apresenta as seguintes características indicadas na Figura 29.

Figura 29 – Detalhamento V1_a



Fonte: Beber (2003)

No presente trabalho, a viga terá um quarto do tamanho da viga experimental V1_a, sendo cortada na metade da vista longitudinal e na metade da vista transversal. Isso é possível pela simetria da estrutura, tanto da seção do concreto, quanto da distribuição da armadura. Isso auxilia no número de elementos que a estrutura irá possuir e na velocidade dos cálculos do *software*.

4.3.3.1 Elementos de Concreto

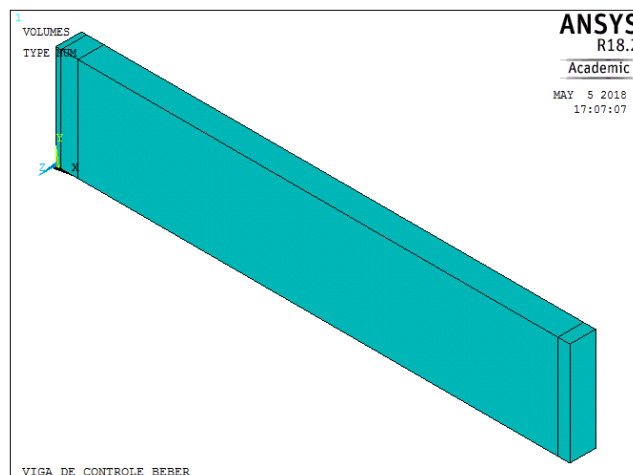
O volume de concreto é definido de maneira simples através do comando “BLOCK”, apresentado na Figura 30. Nota-se que foram feitos 4 volumes no sólido. Isso é feito para poder dividir os elementos que apresentam tamanhos diferentes, sendo possível assim coincidir os nós dos elementos de concreto com os nós dos elementos da armadura e dos pontos de carga e de apoio. A discretização dos volumes de concreto é mostrada na Figura 31.

Figura 30 – Volume do concreto (*script*)

```
!Preprocessor>Modeling>Volume>By Dimensions
!
BLOCK,0,1.5,0,30,0,-7.5,
BLOCK,1.5,6.5,0,30,0,-7.5,
BLOCK,6.5,146.5,0,30,0,-7.5,|
BLOCK,146.5,150,0,30,0,-7.5,
```

Fonte: Autor (2018)

Figura 31 – Volume de concreto



Fonte: Autor (2018)

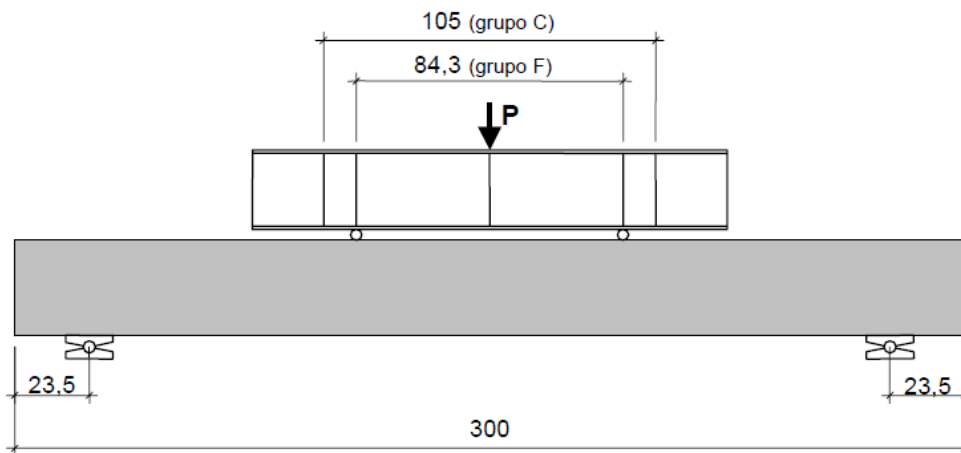
4.3.3.2 Apoio e pontos de carga

Os apoios e pontos de carga foram feitos através de elementos lineares, no caso da viga V1_a, ligando o ponto de aplicação da carga e distribuindo em vários pontos do concreto. Isso é feito para diminuir a concentração da carga em um único ponto e não gerar distorção nos resultados.

Primeiramente, são criados pontos para, posteriormente, ligá-los e construir as linhas. A localização dos pontos no modelo é feita a partir da geometria da prensa servo-controlada de capacidade de 2000 *kN*, indicada na Figura 32.

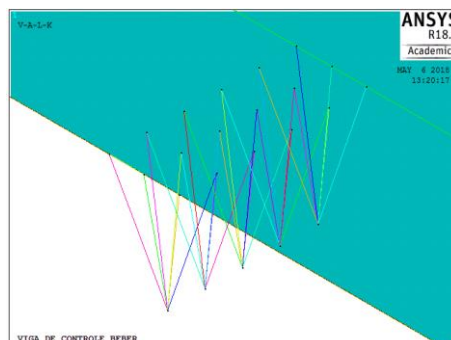
São criados 5 pontos de apoio ligados a 18 pontos no concreto, conforme mostra a Figura 33. O caminho e o comando para realizar os pontos e depois ligá-los está presente na Figura 34. O comando “K” cria os pontos e o comando “LSTR” liga os pontos, criando as linhas.

Figura 32 – Geometria Prensa Servo-controlada



Fonte: Beber (2003)

Figura 33 – Pontos de apoio



Fonte: Autor (2018)

Figura 34 – Pontos e linhas (*script*)

```

!Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active CS
!
K,1100,23.5,-5,-.75
K,1200,23.5,-5,-2.25
K,1300,23.5,-5,-3.75
K,1400,23.5,-5,-5.25
K,1500,23.5,-5,-6.76
!...

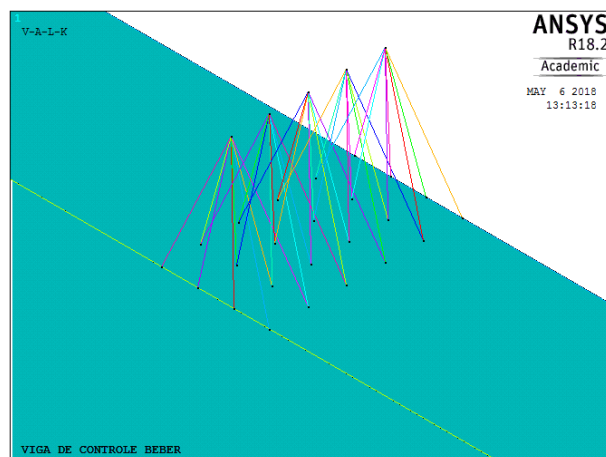
!Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Straight Line
!
LSTR,1100,1110
LSTR,1100,1120
LSTR,1100,1130
LSTR,1100,1210
LSTR,1100,1220
LSTR,1100,1230
!...

```

Fonte: Autor (2018)

De maneira semelhante à Figura 34, são criados os pontos e linhas da aplicação de carga, mudando apenas a identificação dos pontos e posicionamento dos mesmos. A viga do tipo V1_a faz parte do Grupo F, mostrado na Figura 32, ou seja, distanciando-se 42,15 *cm* do ponto de apoio do centro da viga. Então, são criados 5 pontos de aplicação de carga, distribuídos em 24 pontos no concreto, conforme indica a Figura 33.

Figura 35 – Pontos de carga



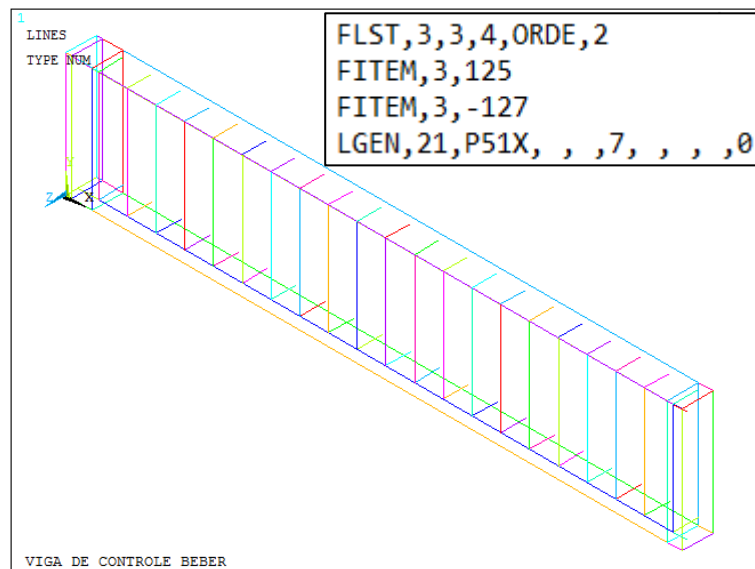
Fonte: Autor (2018)

4.3.3.3 Aço

As armaduras longitudinais foram lançadas de forma semelhante ao método mostrado na Figura 34, dividindo os segmentos de linha de acordo com o início e término de cada volume de concreto. É feito de maneira segmentada, para poder coincidir os nós do elemento de armadura com os nós do elemento de concreto.

Os estribos também são feitos por pontos e linhas. É feito apenas 1 exemplar, e então, são selecionadas as linhas do primeiro estribo e copiado 21 vezes com espaçamento de 7cm entre eles. O resultado das linhas da armadura, e o comando para realizar a cópia é apresentado na Figura 36.

Figura 36 – Armadura em linhas



Fonte: Autor (2018)

No aço, é necessário definir a seção das barras. Nas versões anteriores do *software*, a seção já era uma constante adicionada no elemento tipo. A seção das barras, é definida por área, mostrada no Quadro 5.

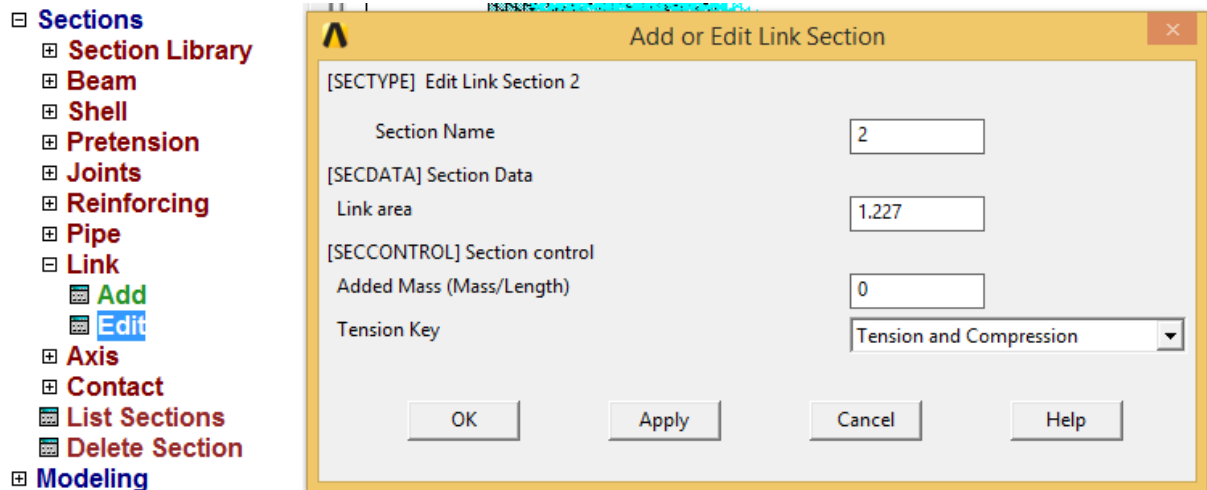
Quadro 5 – Seção das barras

Bitola	Seção (cm^2)
6,3 mm	0,312
12,5 mm	1,227

Fonte: Autor (2018)

As áreas são então inseridas no *software* como mostrado na Figura 37, para o material 2 e material 3.

Figura 37 – Seção das barras



Fonte: Autor (2018)

O comando e o caminho para se definir a seção da barra de 12,5 mm são apresentados na Figura 38. Na primeira linha (SECTYPE = 2) é definido em qual material se dará a área da segunda linha (SECDATA= 1.227). Da mesma maneira é feita para as outras barras, alterando-se os valores.

Figura 38 – Seção das barras (*script*)

```
!Preprocessor>Sections>Link>Add
!
SECTYPE,2,LINK, ,2
SECDATA,1.227,
SECCONTROL,0,0
```

Fonte: Autor (2018).

4.3.4 Malha

A discretização dos elementos finitos é um dos passos mais importantes da criação do modelo. Quanto menor o tamanho dos elementos finitos, mais precisos serão os resultados da simulação numérica. Também, quanto mais uniforme o tamanho dos elementos, melhor é a convergência da solução.

Porém, foi percebido no decorrer do trabalho que não era possível manter o tamanho dos elementos iguais por dois motivos:

1. A disposição das barras e dos estribos, os pontos de carga e de apoio têm distâncias que não são divisíveis por números inteiros. Portanto, são necessários elementos muito pequenos para coincidir os nós e garantir o tamanho homogêneo de elementos;
2. O *software* versão estudante apresenta limitação na quantidade de elementos, impossibilitando criar elementos pequenos para atender a restrição.

A solução foi dividir a viga em 4 trechos, ou seja, 4 volumes. Por isso, na etapa de modelagem, foram feitas geometrias segmentadas. Cada um desses trechos tem elementos de tamanhos iguais, porém não iguais entre eles.

No eixo Y e Z, a dimensão do elemento é fixa em 1,5 *cm*, para todos os elementos. No eixo X, ao longo do eixo longitudinal da viga, as dimensões variam de acordo com o trecho.

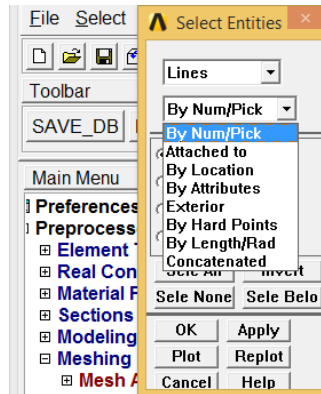
4.3.4.1 Concreto

Para a malha do concreto, o método utilizado é “dividir” as linhas de seus volumes, e criar os elementos a partir das divisões criadas. Essa divisão é feita a partir de uma ferramenta de controle de dimensão. O *software* cria o elemento 3D baseado no tamanho da divisão de cada linha, ligando-as.

São divididas todas as linhas do concreto que estão no eixo X em trechos de 1,5*cm*. Para isso é necessário selecionar apenas as linhas do concreto. O comando de seleção é feito através do menu superior, na aba *Select>Entities...*

São então selecionadas as linhas de acordo com condições de numeração, coordenadas, atributos, etc. A numeração de cada linha é consultado na aba *List>Lines...* As linhas do concreto são as primeiras a ser criadas, pela ordem de eventos do *script*. Sabendo-se então quais as linhas do eixo Y e Z, elas são selecionadas, somando no total 32 linhas. Há outras maneiras de selecionar as linhas como por exemplo por coordenadas, atributos, tamanho, etc. (Figura 39). O comando para a seleção de linhas é mostrado na Figura 40.

Figura 39 – Seleção



Fonte: Autor (2018)

Figura 40 – Seleção de linhas

```

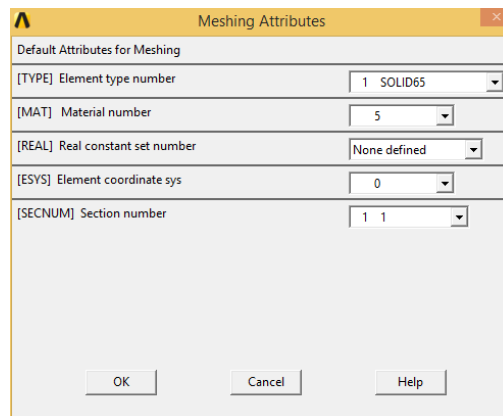
FLST, 5, 32, 4, ORDE, 32
FITEM, 5, 1
FITEM, 5, 3
FITEM, 5, 6
FITEM, 5, 8
FITEM, 5, 9
! ...

```

Fonte: Autor (2018)

Com as linhas selecionadas, são definidas as suas propriedades. Para informar ao programa que a malha será gerada utilizando o concreto, deve-se seguir o caminho *Preprocessor*>*Meshing*>*MeshTool*>*Element Attributes*>*Set* e a nova janela irá surgir (Figura 41). Preenche-se as opções e segue para o passo de geração da malha.

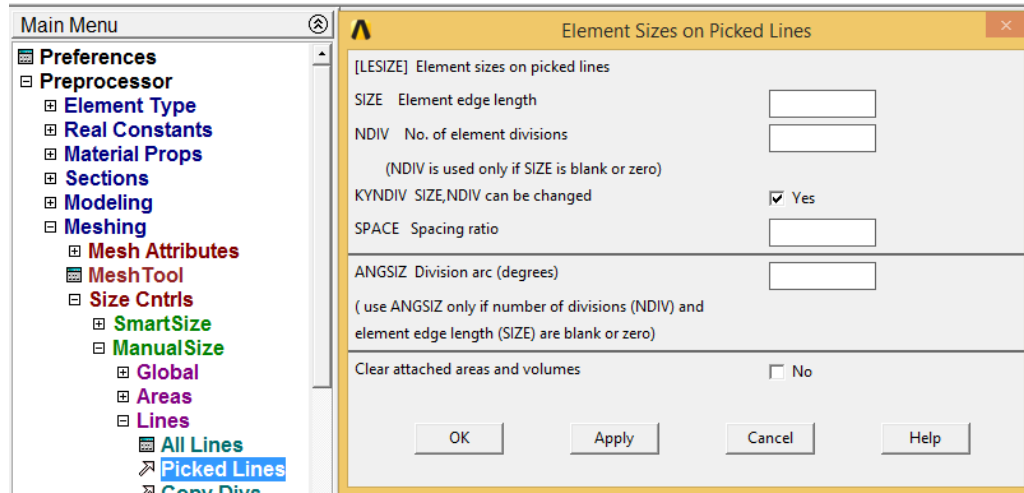
Figura 41 – Definição de material na malha



Fonte: Autor (2018)

Foi utilizada a ferramenta de controle de dimensão, que dividi as linhas em tamanhos iguais, conforme mostra a Figura 42.

Figura 42 – Dimensões das linhas



Fonte: Autor (2018)

O caminho e o comando são mostrados na Figura 43. Ao seguir o caminho, basta selecionar “todas” as linhas pois, como as linhas pertinentes já foram selecionadas como indicada na Figura 40, todas as linhas que estão presentes para modificação são as linhas selecionadas.

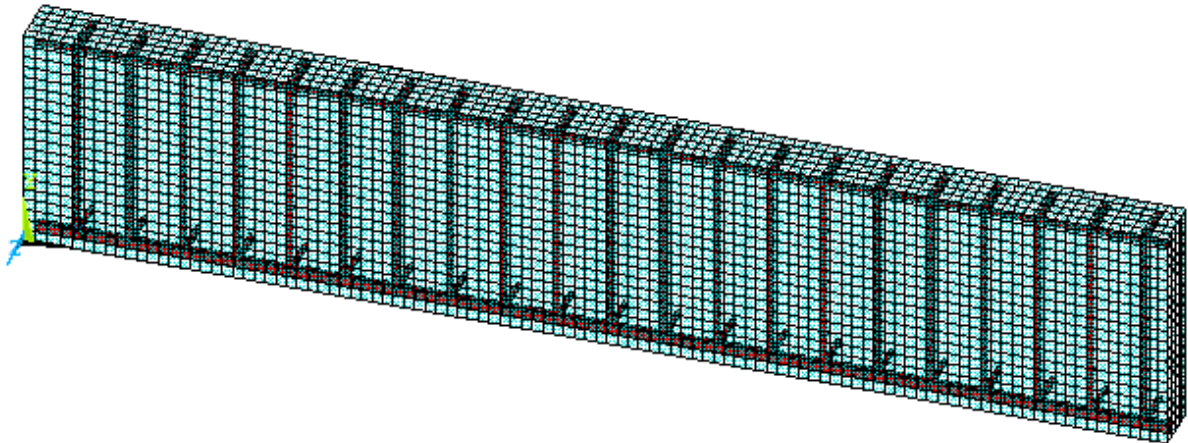
Figura 43 – Divisão das linhas (*script*)

```
! Preprocessor>Meshing>Size Cntrls>
! ManualSize>Lines>Picked Lines>Pick All
!
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,1.5, , , , , ,1
```

Fonte: Autor (2018)

Com o volume do concreto dividido em elementos, o modelo final é apresentado na Figura 44.

Figura 44 – Elementos finitos do concreto e armadura



Fonte: Autor (2018)

Para o aço, o procedimento é feito da mesma maneira explicitada para o concreto. Primeiro, seleciona as linhas pertencentes a cada material, como por exemplo a armadura longitudinal, define qual material é, divide as linhas com os mesmos tamanhos de elementos do concreto, e gera-se a malha.

É definido com o mesmo tamanho dos elementos do concreto para os nós coincidirem na mesma localização. Os estribos só têm dimensões em Y e Z, portanto é só selecionar as linhas pertinentes, definir o material e gerar a malha, pois em Y e Z já foram feitas as divisões. É possível ver a armadura em elementos na Figura 44.

Por fim, os nós que estão na mesma localização são mesclados. Para realizar tal procedimento deve-se seguir o *script*, indicado na Figura 45.

Figura 45 – Mesclagem dos nós

```
! MERGIR OS NÓS
!
NUMMRG,NODE, , , ,LOW
NUMCMP,NODE
```

Fonte: Autor (2018)

4.3.5 Solução

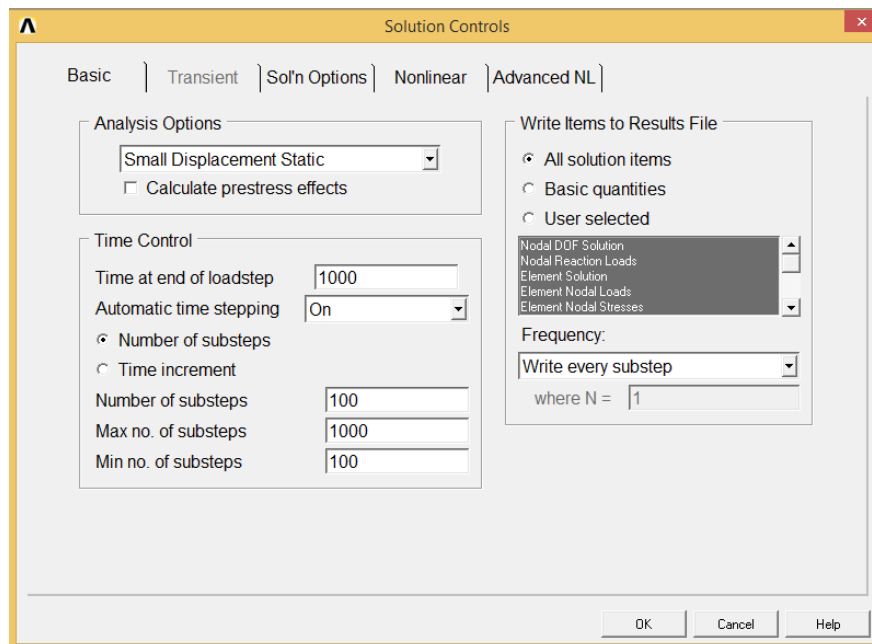
Com o modelo pronto, pode-se dar início a fase de solução. Aqui é possível gerar os resultados da aplicação de carga ou deslocamento, para prever o comportamento da viga de concreto.

4.3.5.1 Tipo de análise

No tipo de análise é definido em quantos passos será feita a aplicação da carga ou do deslocamento. Quanto maior for o número de passos, mais lento será o processamento. Porém, é importante um número de passos razoável para gerar melhor convergência dos cálculos e apresentar uma análise melhor elaborada.

A Figura 46 apresenta como são inseridos o tamanho e o número de divisões (passos) da análise. Como apresentado no exemplo, 1000 é o tamanho da análise, que serão divididas em 100 passos no caso da viga V1_a. Na Figura 47 é mostrado o caminho e comando para definir o número de passos.

Figura 46 – Parâmetros da solução



Fonte: Autor (2018)

Figura 47 – Número de passos (*script*)

```
!Solution>Analysis Type>Sol'n Controls
!
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!
NSUBST,100,1000,100
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
```

Fonte: Autor (2018)

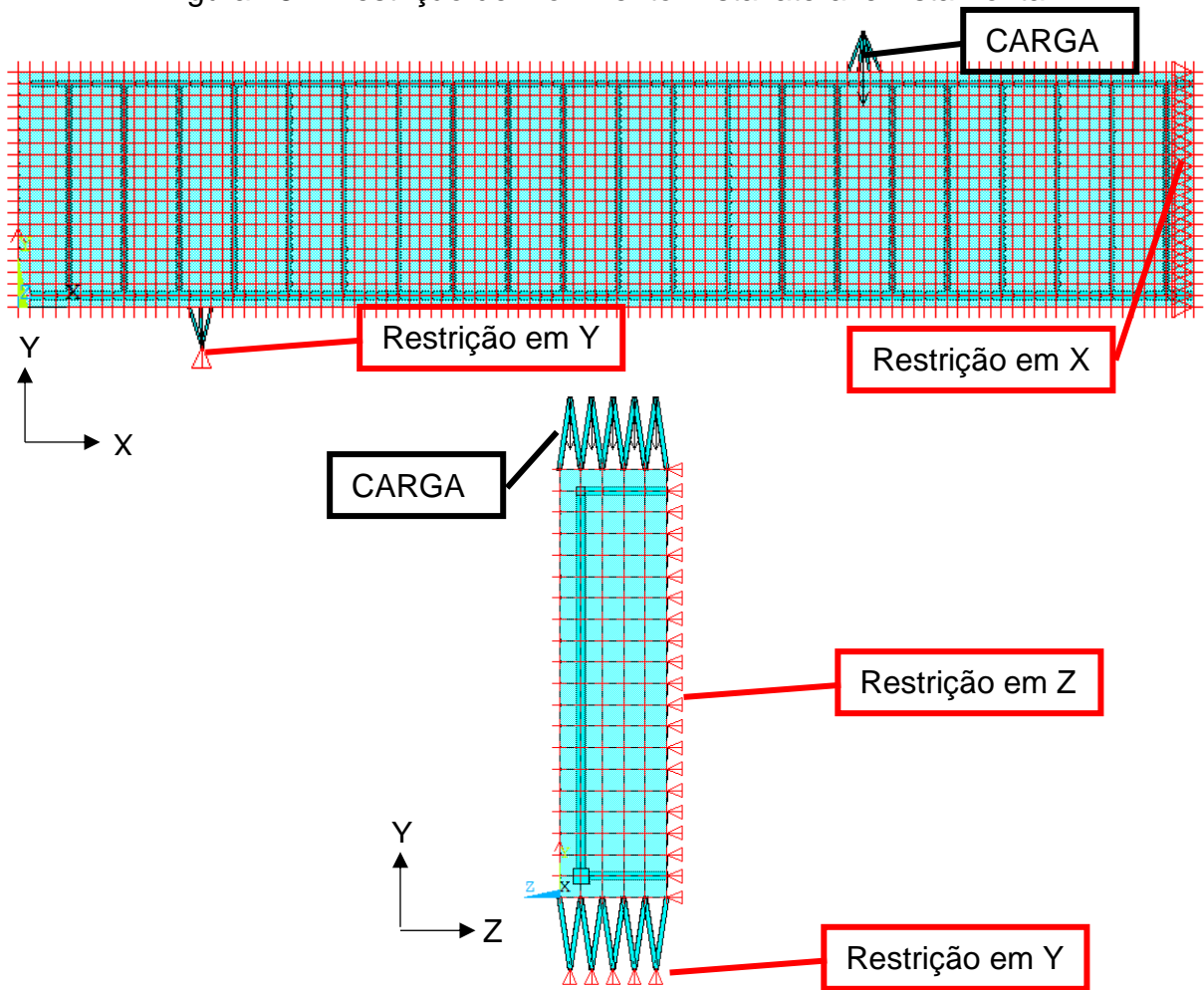
Na Figura 46, na aba *Nonlinear* é possível definir o número máximo de iterações de cálculo que é feita para cada passo, para a solução avançar. Nem sempre é necessário utilizar o máximo de iterações para a solução convergir. Caso o *software* necessite mais que o número de iterações definida, a simulação não converge. Para definir este valor, basta adicionar ao *script* a linha “NQIT,100”, por exemplo, que estipula 100 iterações por passo.

4.3.5.2 Restrição de movimento e aplicação da carga

Nesta etapa são estipuladas as restrições de apoio, restrições de movimento em geral, carga a ser aplicada e aceleração da gravidade (peso próprio) nos nós do modelo.

Primeiramente, são feitas as restrições de movimento. Vale lembrar que o modelo numérico da V1_a é um quarto do modelo experimental por simetria. Portanto, é necessário restringir o movimento nas faces onde o modelo foi cortado. É restrito o movimento em Z na face lateral e em X na face frontal (Figura 48). Em Y é restrito o movimento no nó da fonte do apoio como pode ser visto na Figura 48.

Figura 48 – Restrição de movimento: vista lateral e vista frontal



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 49 são mostrados o caminho e os comandos utilizados para gerar as restrições de movimento. É observado que no eixo Z são selecionadas as áreas da face lateral, que automaticamente seleciona os nós que estão presentes nessa área. No eixo X e Y, são selecionados os nós específicos através das coordenadas destes.

Figura 49 – Restrição de movimento (*script*)

```
!Solution>Define Loads>Apply>Structural
DA,1,UZ,
DA,7,UZ,
DA,13,UZ,
DA,19,UZ,
DA,24,UX,
NSEL,S,LOC,Y,-6,36
NSEL,R,LOC,Z,-7.4,-7.6
D,ALL,UZ
NSEL,S,LOC,Y,-5
D,ALL,UY
ALLSEL,ALL
```

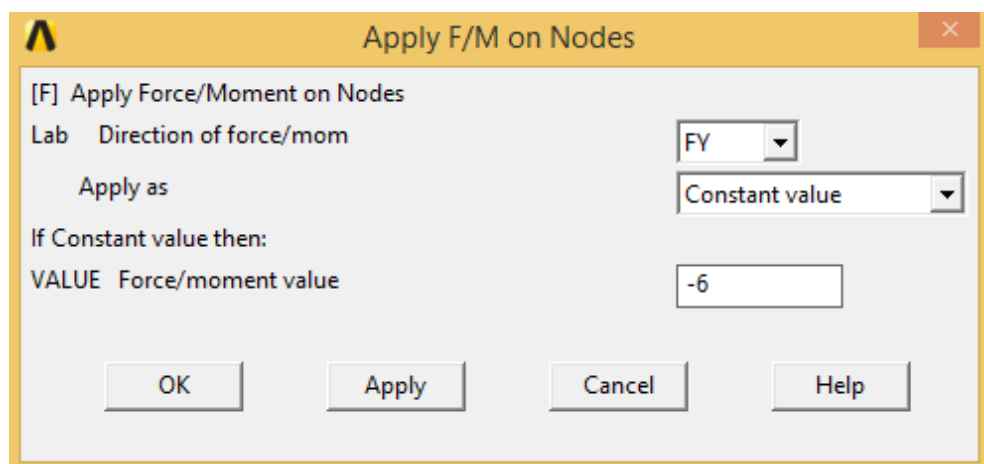
Fonte: Autor (2018)

A primeira etapa do cálculo é aplicação do peso próprio. Neste caso é necessário apenas um passo de cálculo, pois não terá problemas de convergência no modelo. O caminho para inserir os dados de aceleração é *Solution>Define Loads>Apply>Structural>Inertia>Gravity>Global*. Ou com a simples linha de *script* “ACEL,0,981,0”. Neste caso a aceleração é colocada no eixo Y, em cm/s^2 . É necessário selecionar todos os elementos pertinentes (concreto e aço) antes de adicionar a gravidade, de maneira semelhante a já mostrado em outras etapas de seleção.

Definido o número de passos como 1, e aplicado a aceleração nos elementos, o peso próprio é calculado separadamente da aplicação da carga. Então através do comando “LSWRITE,1,” é informado ao programa que esta é a etapa 1, ou seja, tudo que for gravado até o momento, será definido como primeira etapa.

A segunda etapa é a aplicação da carga. Nesta etapa é importante definir mais passos para realização dos cálculos, para uma melhor compreensão do comportamento do modelo frente a essa carga ou a um deslocamento. O caminho a ser seguido no *software*, após selecionar os nós onde será aplicada a carga é *Solution>Define Loads>Apply>Structural>Force/Moment>On Nodes*. Com a janela da Figura 50 aberta, são inseridos os valores. Como os nós da fonte da aplicação da força são 5 (Figura 35) e o modelo foi dividido em 4 partes por simetria, deve-se lembrar que a carga total será o valor inserido multiplicado por 20 (5x4). No caso da V1_a foi inserido 6 *kN* em cada um dos 5 nós de aplicação de carga, totalizando 120 *kN*.

Figura 50 – Aplicação de força (janela)



Fonte: Autor (2018)

Figura 51 – Aplicação de força (*script*)

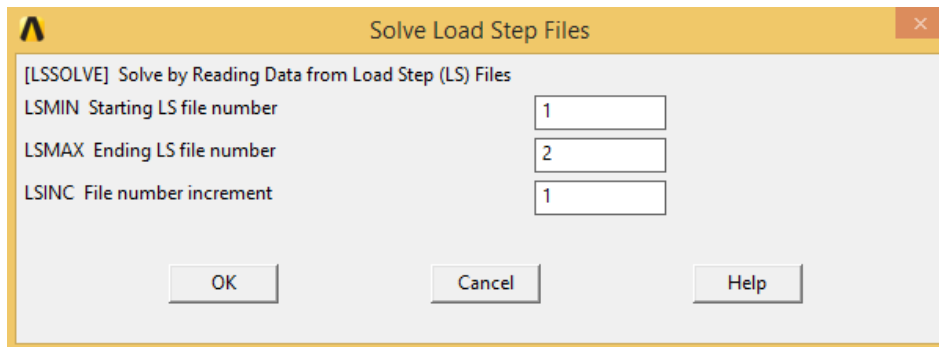
```
NSEL,S,LOC,Y,35
NSEL,R,LOC,X,107.85
F,ALL,FY,-6
ALLSEL
```

Fonte: Autor (2018)

Finalmente, é possível solucionar o problema e rodar a simulação para o *software* realizar os cálculos. Basta seguir o caminho *Solution>Solve>From LS Files*. A janela representada na Figura 52 irá se abrir.

A primeira opção diz qual etapa será resolvida de início. A segunda opção diz qual etapa será resolvida por último. A terceira opção diz ao programa qual o valor de incremento até chegar na última etapa. Pressiona-se OK e espera o *software* gerar os resultados.

Figura 52 – Etapas



Fonte: Autor (2018)

4.4 VIGAS DE BRESLER E SCORDELIS (1963)

As vigas de Bresler e Scordelis (1963), foram simuladas com os mesmos procedimentos apresentados no item 4.3. Em seu trabalho, Bresler e Scordelis (1963) modelaram em tamanho real 12 vigas em concreto armado, com diferentes geometrias e taxas de armadura. No presente trabalho, as vigas escolhidas para a simulação são as vigas do tipo A, das séries 1, 2 e 3.

As geometrias das seções das vigas, propriedades do concreto estão dispostas no Quadro 6. O E_{ci} é calculado através da Equação 5 com coeficiente de agregado igual a 1,0, que resulta no mesmo valor do Quadro 1.

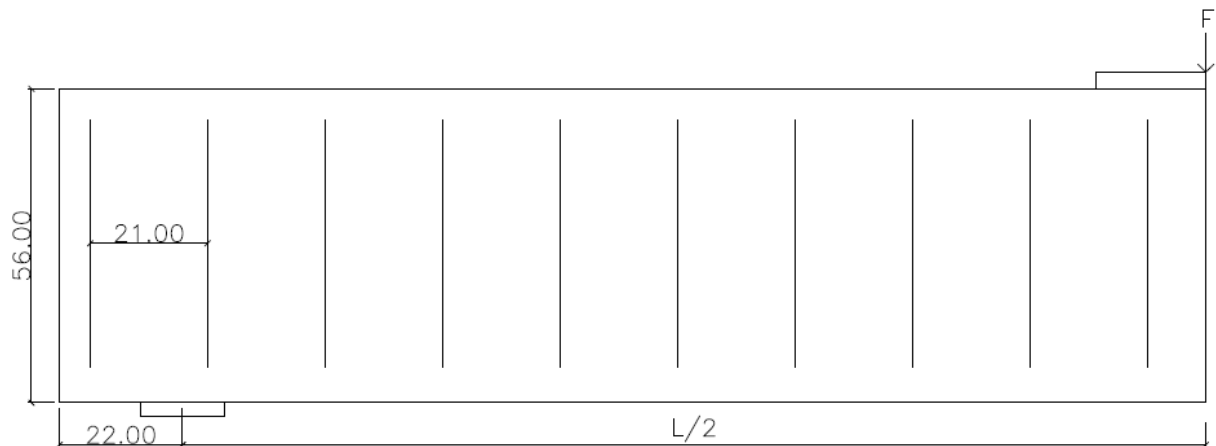
Quadro 6 – Propriedades do concreto Bresler e Scordelis (1963)

Viga	<i>b</i> (cm)	<i>h</i> (cm)	<i>L</i> (cm)	Vão (cm)	<i>f_c</i> (kN/cm ²)	<i>f_r</i> (kN/cm ²)	<i>E_{ci}</i> (kN/cm ²)
A1	31	56	410	366	2,41	0,39	2882,55
A2	31	56	501	457	2,43	0,37	2890,51
A3	31	56	684	640	3,50	0,43	3264,33

Fonte: Adaptado de Bresler e Scordelis (1963)

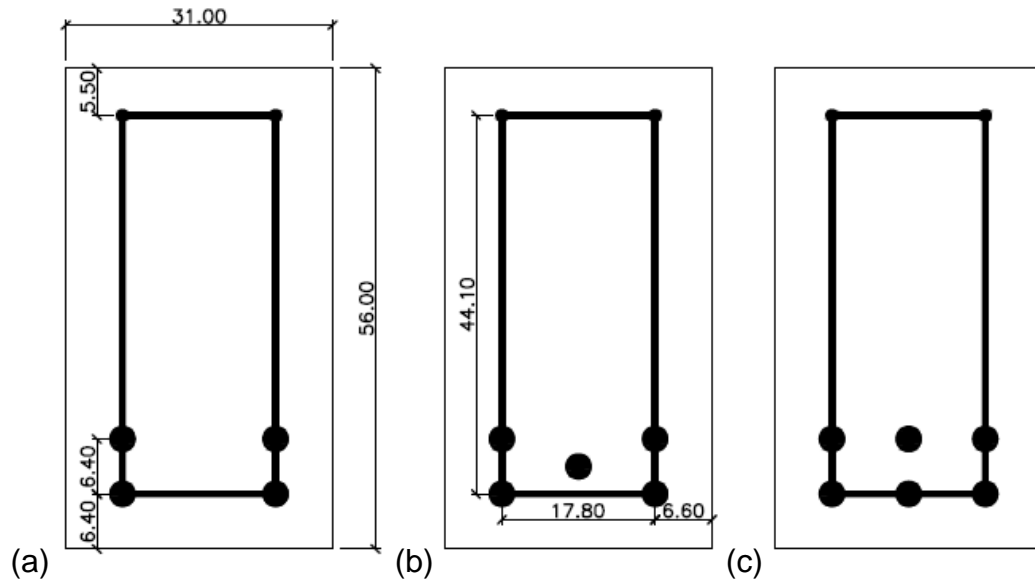
A dimensão longitudinal é mostrada na Figura 53. As vigas de Bresler e Scordelis (1963) foram modeladas pela metade, devido à simetria, como mostrado na Figura 53 e na Figura 54. Poderia ser feito como as vigas de Beber (2003), pois as vigas são simétricas na transversal também. Porém, como o *software* oferecia nós suficientes para modelagem da metade da viga, foi escolhido simular ela dessa maneira.

Figura 53 – Dimensão longitudinal



Fonte: Adaptado de Bresler e Scordelis (1963)

Figura 54 – Seção A1 (a); A2 (b); A3 (c)



Fonte: Adaptado de Bresler e Scordelis (1963)

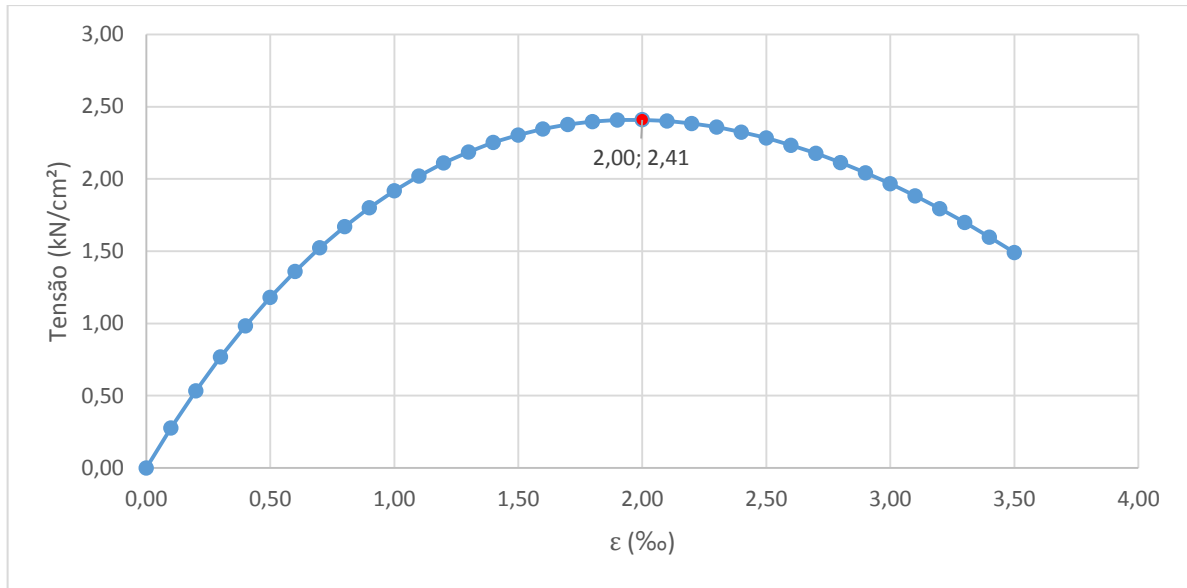
A curva tensão deformação do concreto foi calculada através da Equação 7, onde os valores de k foram interpolados de acordo com o Quadro 1. Os diagramas das vigas da série A são apresentados nas Figuras 55, 56 e 57. E os valores utilizados no traçado das curvas tensão x deformação estão indicados nos Quadros 8, 9 e 10.

Quadro 7 – Dados tensão deformação A1

ε (‰)	σ (kN/cm^2)	ε (‰)	σ (kN/cm^2)	ε (‰)	σ (kN/cm^2)
0,00	0,00	1,20	2,11	2,40	2,32
0,10	0,28	1,30	2,19	2,50	2,28
0,20	0,53	1,40	2,25	2,60	2,23
0,30	0,77	1,50	2,31	2,70	2,18
0,40	0,98	1,60	2,35	2,80	2,11
0,50	1,18	1,70	2,38	2,90	2,04
0,60	1,36	1,80	2,40	3,00	1,97
0,70	1,52	1,90	2,41	3,10	1,88
0,80	1,67	2,00	2,41	3,20	1,79
0,90	1,80	2,10	2,40	3,30	1,70
1,00	1,92	2,20	2,38	3,40	1,60
1,10	2,02	2,30	2,36	3,50	1,49

Fonte: Autor (2018)

Figura 55 – Tensão x Deformação do concreto viga A1



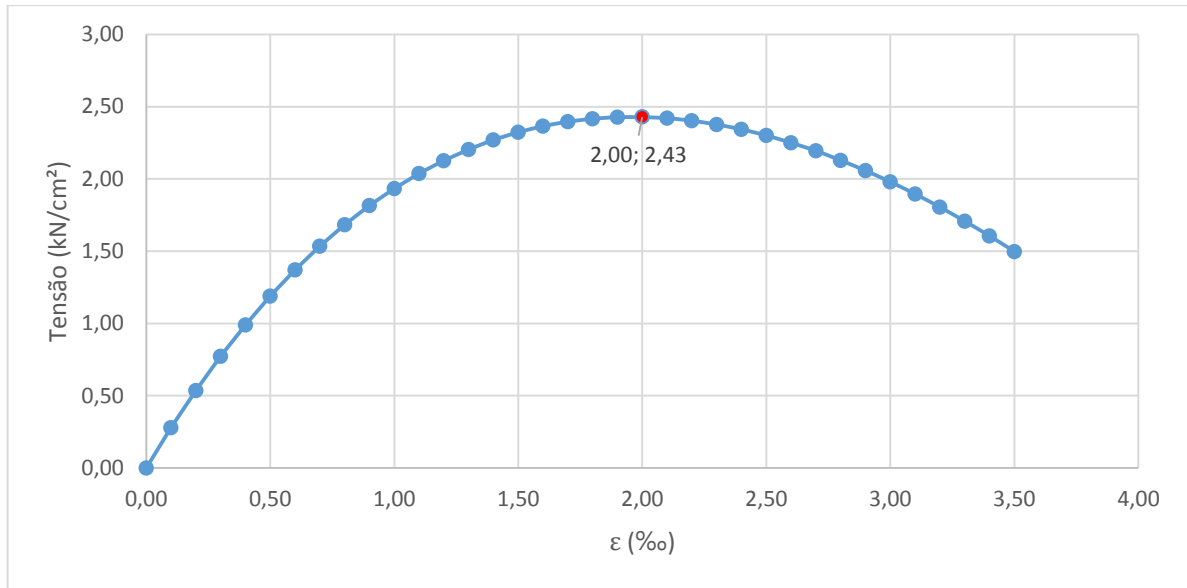
Fonte: Autor (2018)

Quadro 8 – Dados tensão deformação A2

ϵ (‰)	σ (kN/cm ²)	ϵ (‰)	σ (kN/cm ²)	ϵ (‰)	σ (kN/cm ²)
0,00	0,00	1,20	2,13	2,40	2,34
0,10	0,28	1,30	2,21	2,50	2,30
0,20	0,54	1,40	2,27	2,60	2,25
0,30	0,77	1,50	2,32	2,70	2,19
0,40	0,99	1,60	2,37	2,80	2,13
0,50	1,19	1,70	2,40	2,90	2,06
0,60	1,37	1,80	2,42	3,00	1,98
0,70	1,53	1,90	2,43	3,10	1,90
0,80	1,68	2,00	2,43	3,20	1,81
0,90	1,82	2,10	2,42	3,30	1,71
1,00	1,93	2,20	2,40	3,40	1,61
1,10	2,04	2,30	2,38	3,50	1,50

Fonte: Autor (2018)

Figura 56 – Tensão x Deformação do concreto viga A2



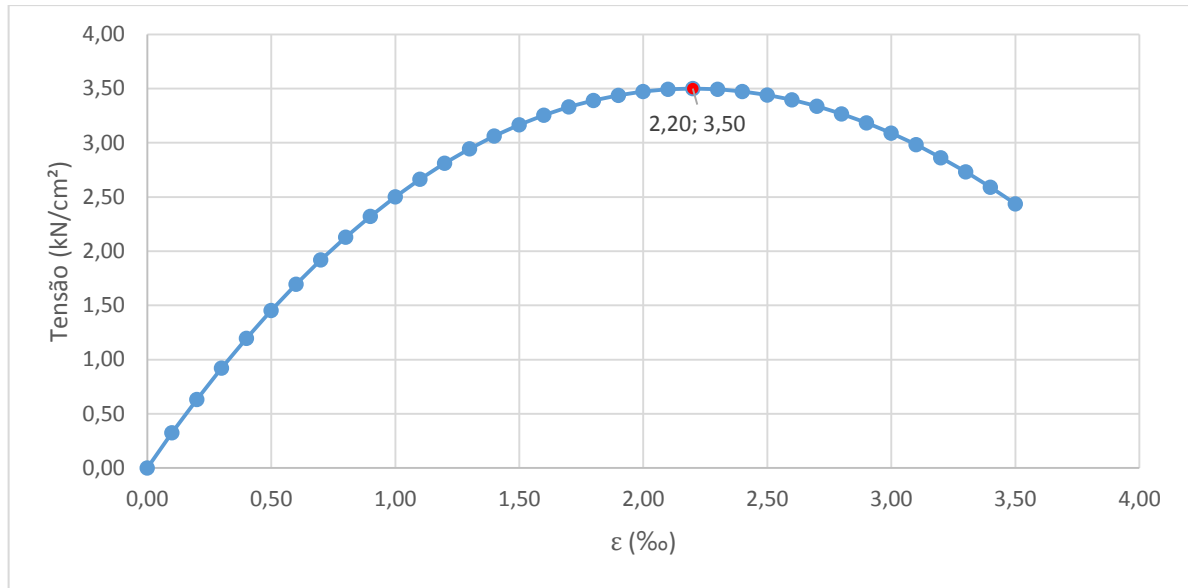
Fonte: Autor (2018)

Quadro 9 – Dados tensão deformação A3

ε (%)	σ (kN/cm ²)	ε (%)	σ (kN/cm ²)	ε (%)	σ (kN/cm ²)
0,00	0,00	1,20	2,81	2,40	3,47
0,10	0,32	1,30	2,95	2,50	3,44
0,20	0,63	1,40	3,06	2,60	3,40
0,30	0,92	1,50	3,17	2,70	3,34
0,40	1,20	1,60	3,26	2,80	3,27
0,50	1,45	1,70	3,33	2,90	3,18
0,60	1,69	1,80	3,39	3,00	3,09
0,70	1,92	1,90	3,44	3,10	2,98
0,80	2,13	2,00	3,47	3,20	2,86
0,90	2,32	2,10	3,49	3,30	2,73
1,00	2,50	2,20	3,50	3,40	2,59
1,10	2,66	2,30	3,49	3,50	2,44

Fonte: Autor (2018)

Figura 57 – Tensão x Deformação do concreto viga A3



Fonte: Autor (2018)

As propriedades do aço utilizado nas vigas estão dispostas no Quadro 10.

Quadro 10 – Propriedades do aço

Viga		A1	A2	A3
AS	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	6,47	6,47	6,47
	Quantidade	4	5	6
	$f_y \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	55,5	55,5	55,2
	$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	21787	21787	20546
AS'	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	1,27	1,27	1,27
	Quantidade	2	2	2
	$f_y \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	34,54	34,54	34,54
	$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	20133	20133	20133
ESTRIBOS	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	0,32	0,32	0,32
	$S \text{ (cm)}$	21	21	21
	$f_y \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	32,54	32,54	32,54
	$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	18961	18961	18961

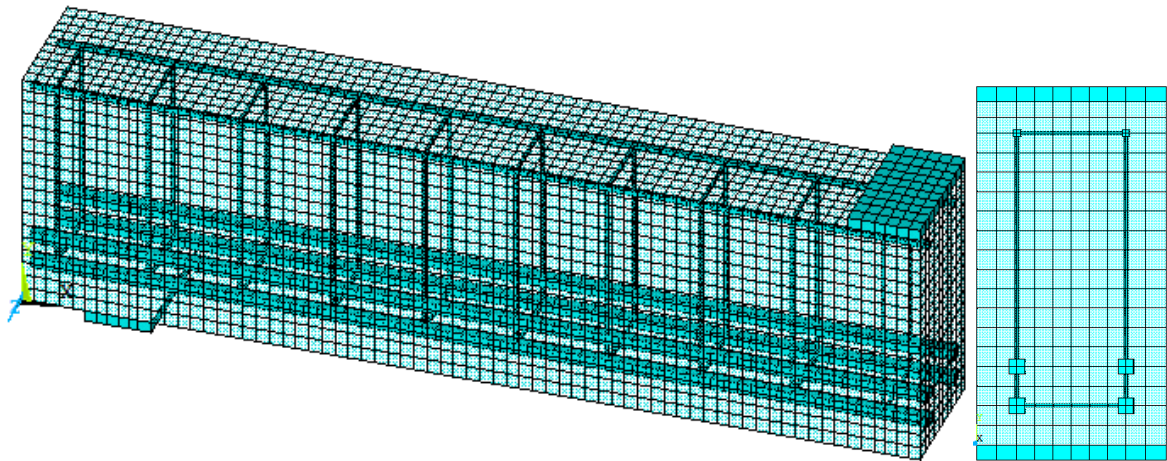
Fonte: Adaptado de Bresler e Scordelis (1963)

Para a densidade foi usado o valor padrão de 2500 kg/m^3 segundo a NBR 6118:2014 e Código Modelo da *fib* 2010 (2012). As vigas de Bresler e Scordelis (1963), foram simuladas através de deslocamento aplicados no apoio da carga. Os valores utilizados foram os deslocamentos finais do resultado experimental acrescido de $0,1 \text{ cm}$, pois a simulação pode convergir para deslocamentos maiores. Como a

intenção é a validação dos resultados, não são necessários deslocamentos maiores que os resultados experimentais. Para fissura fechada os valores de β_c foram 0,8 para viga A1 e 0,9 para as vigas A2 e A3. Para fissura aberta β_t , 0,3 para viga A1 e 0,6 para A2 e A3.

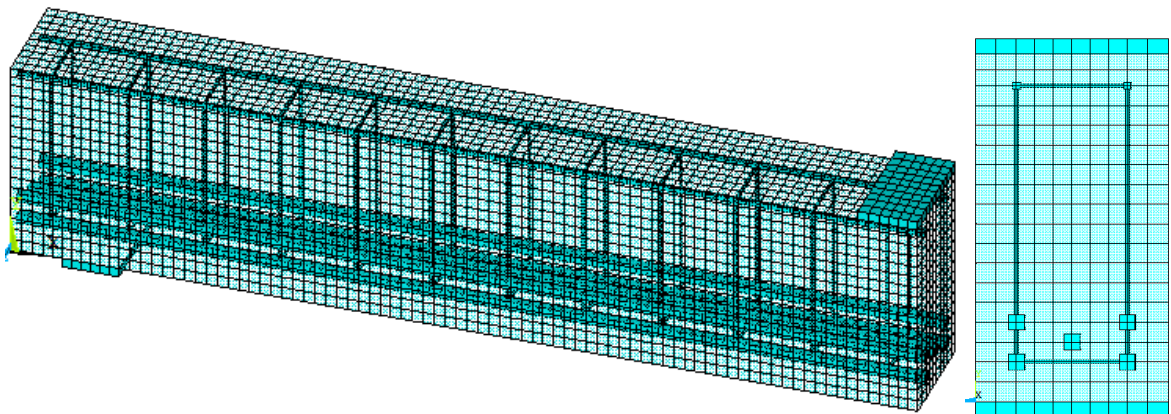
Na construção do modelo, como alternativa, foram utilizadas chapas para os pontos de apoio e aplicação de deslocamento ao invés de elementos unidimensionais, como no caso da viga V1_a. Essas chapas tem a função de evitar o acúmulo de tensões nos pontos da aplicação do deslocamento e na região do apoio. Para isso, foi utilizado no material dos elementos das chapas um módulo de elasticidade igual dos elementos de apoio e carga da V1_a, de 50 *GPa*. O modelo final das vigas A1, A2 e A3 é mostrada nas Figuras 58, 59 e 60.

Figura 58 – Modelo Viga A1



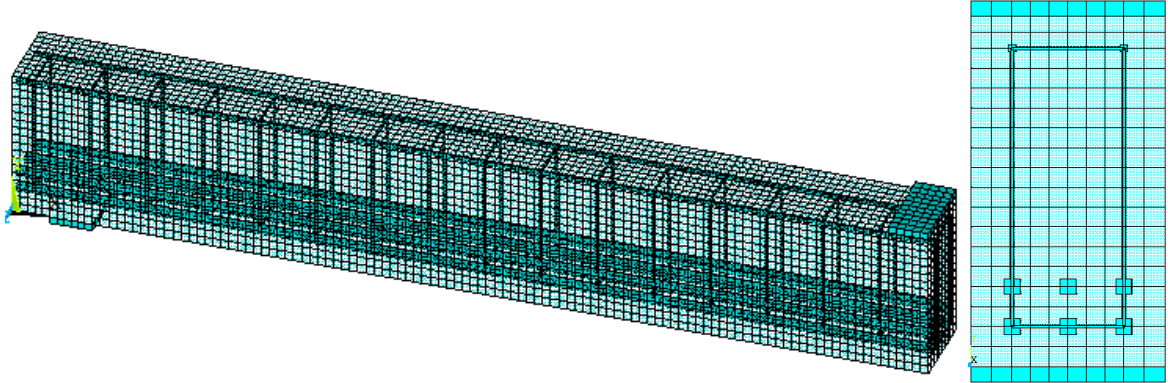
Fonte: Autor (2018)

Figura 59 – Modelo Viga A2



Fonte: Autor (2018)

Figura 60 – Modelo Viga A3



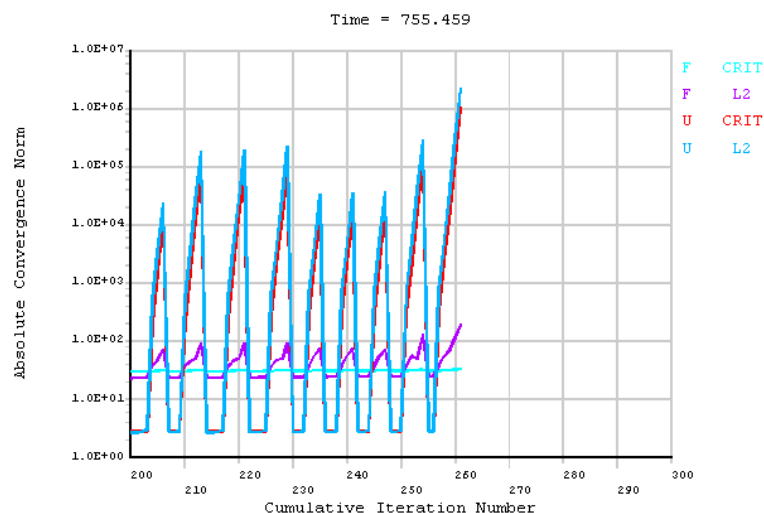
Fonte: Autor (2018)

5 RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados do trabalho de simulação de vigas em concreto armado. Foram comparados os modelos numéricos com os experimentais e feita as análises específicas do modelo de concreto do ANSYS.

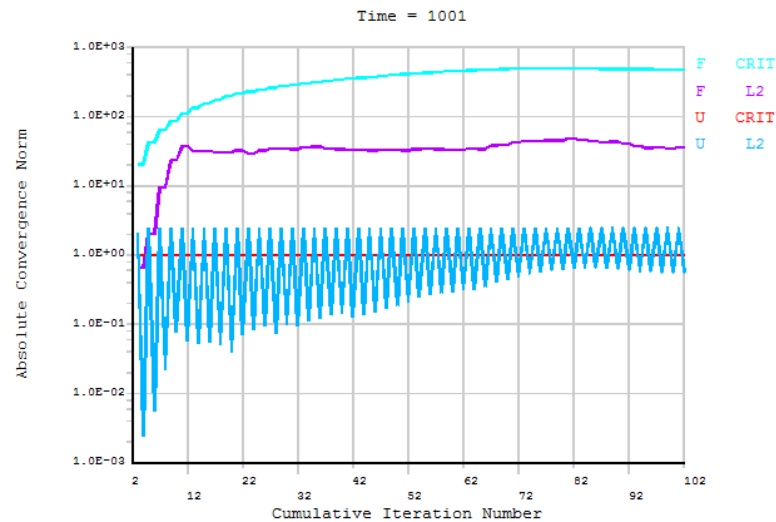
O primeiro ponto a ser analisado foi em relação à convergência das simulações das vigas. Após realizados os cálculos, chegou-se à conclusão que a viga V1_a foi mais difícil de conseguir sucesso na convergência, quando comparado com as vigas da simulação de Bresler e Scordelis (1963). No momento dos cálculos, o ANSYS gera um gráfico dinâmico de controle de convergência, que relaciona força e deslocamento do modelo e número de iterações. A cada passo as curvas U L2 e F L2 devem estar abaixo dos valores das curvas U crit e F crit para convergir. Percebe-se a diferença no comportamento nos Gráficos apresentados nas Figuras 61 e 62.

Figura 61 – Controle de Convergência ANSYS na viga V1_a



Fonte: Autor (2018)

Figura 62 – Controle de Convergência ANSYS na viga A1



Fonte: Autor (2018)

Observando os gráficos acima, notou-se que a viga V1_a mostrou-se mais instável para conversão dos cálculos, comparada com as modelagens das vigas de Bresler e Scordelis (1963), ou seja, demandou mais iterações avançar na simulação. Na Figura 62 foi mostrada apenas a viga A1, pois A2 e A3 apresentam um comportamento muito semelhante.

Outro item a ser notado na Figura 61, é que o *software* não convergiu até o último passo, parando no *time* 755.459 de 1000. Lembrando que a etapa 2 de carregamento só termina quando o *time* for igual a 1000 para completar os 100 passos. Portanto a simulação atingiu em torno de 75,46% do carregamento total, antes da não convergência.

Nos próximos itens será apresentada a validação de resultado das vigas V1_a, A1, A2 e A3. Posteriormente será feita a análise dos resultados e comentários pertinentes ao trabalho.

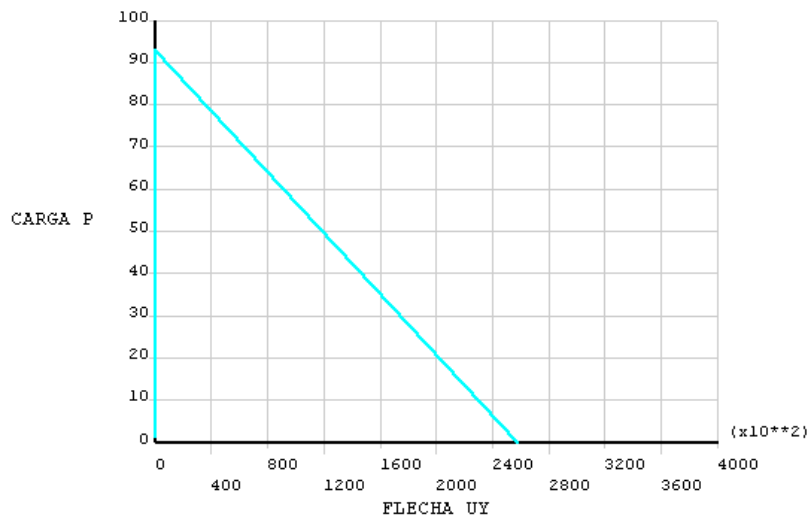
5.1 VIGA V1_A (BEBER, 2003)

A viga V1_a foi carregada em 100 passos, ou incrementos, de força, utilizado 6 kN nos nós de aplicação de carga. Com o total de 120 kN na peça, 100 incrementos de força resultam em 1,2 kN por incremento.

Para gerar a curva no ANSYS, foi utilizado o *script* apresentado no APÊNDICE B. O usuário deve fornecer a localização do nó central na extremidade inferior da viga

para retornar os valores de deslocamento. Os valores da força são extraídos da reação dos nós do apoio do modelo, os quais foram restringidos os deslocamentos verticais. Rodado o *script*, o *software* retorna o Gráfico indicado na Figura 63.

Figura 63 – Gráfico Força x Deslocamento ANSYS

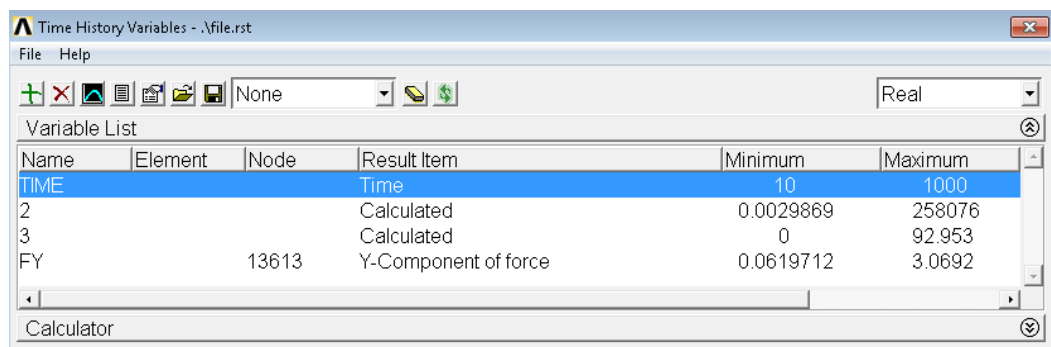


Fonte: Autor (2018)

Como os cálculos da viga V1_a não convergiram antes de chegar no incremento final de força, o último resultado gerou um deslocamento não verdadeiro. É, então, necessário excluir o último resultado para se ter um resultado compatível.

Quando se gera um gráfico no ANSYS, os dados ficam armazenados na aba *TimeHist Postpro*. Ao clicar nessa aba, a janela da Figura 64 abre e é possível acessar os dados de força e deslocamento, copiá-los e trabalhar com eles em outra plataforma, como Excel ou Bloco de Notas.

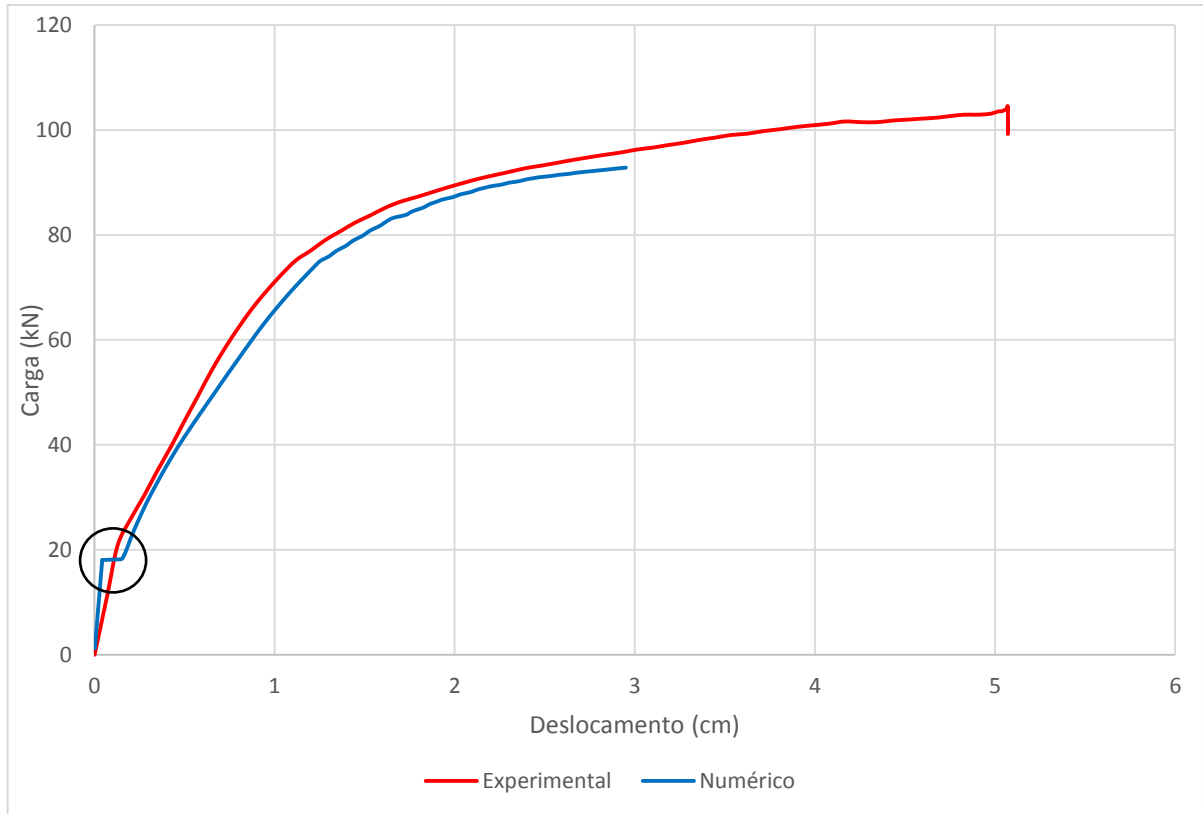
Figura 64 – Acesso de dados ANSYS



Fonte: Autor (2018)

Com os dados selecionados de maneira adequada, é possível gerar o gráfico Força x Deslocamento da viga V1_a, e compará-lo com os resultados do ensaio experimental, como apresentado na Figura 65.

Figura 65 – Força x Deslocamento viga V1_a

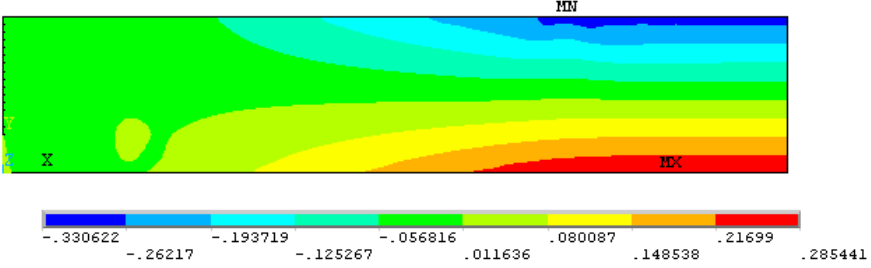
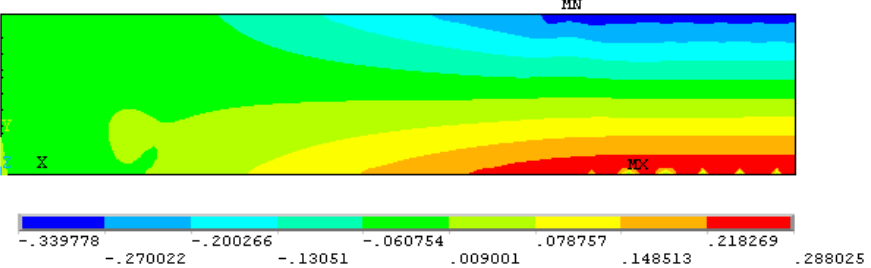
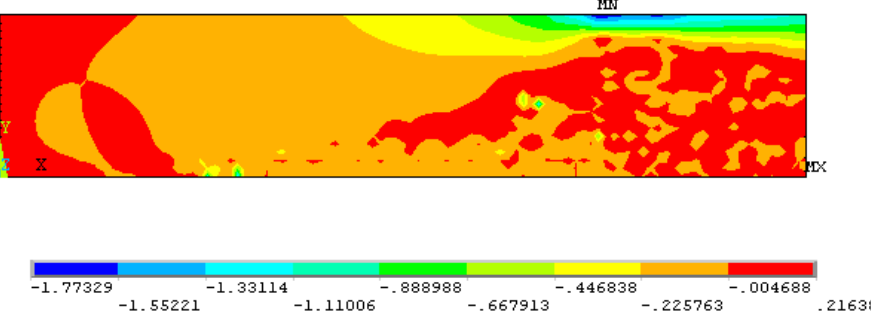
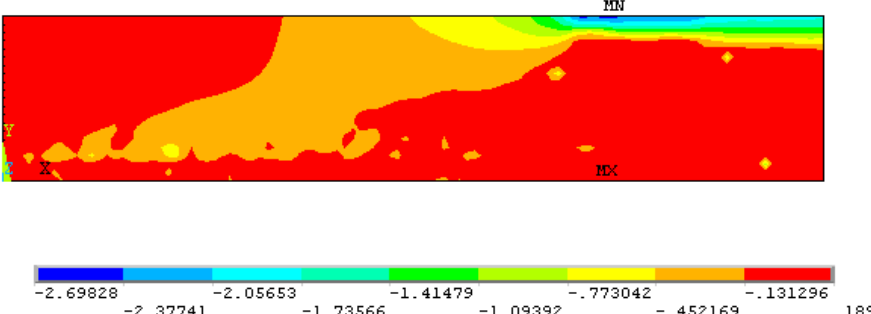
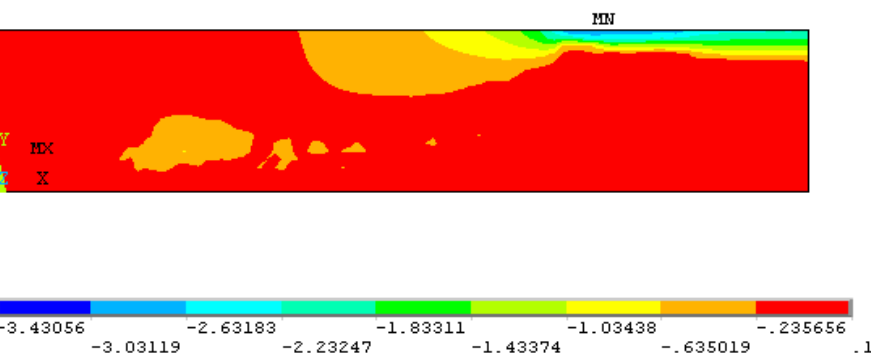


Fonte: Autor (2018)

Como se pode observar, o comportamento inicial das curvas é mais inclinado até perto de 20 kN. Nesta transição, é registrada a primeira fissura do concreto pela flexão da peça. A partir deste momento, as cargas aplicadas começam a ser transferidas com mais intensidade a armadura. A curva expressa o típico comportamento do concreto armado.

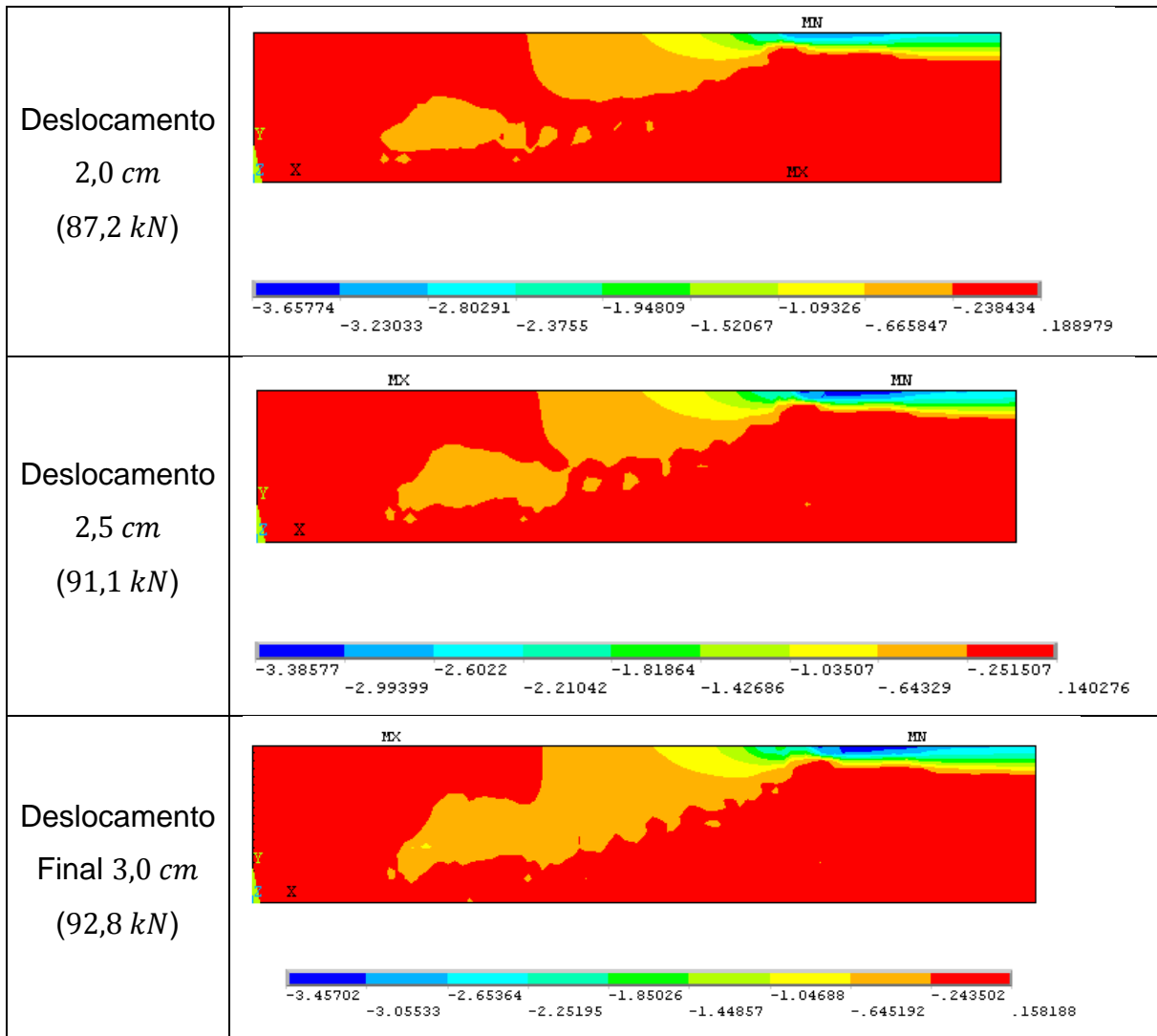
Nos Quadros 11, 12, 13 e 14 são apresentadas as distribuições de tensão no concreto, diagrama de fissuras, distribuição de tensão na armadura e nos estribos respectivamente. Foram feitos entre 7 a 8 registros dos diagramas de cada item de análise ao decorrer do deslocamento do modelo, para se ter uma boa noção do comportamento ao longo do processo.

Quadro 11 – Distribuição de tensões no concreto V1_a (kN/cm^2)

<p>Antes da fissura (17,2 kN)</p>	
<p>Primeira fissura do concreto (17,8 kN)</p>	
<p>Deslocamento 0,5 cm (41,7 kN)</p>	
<p>Deslocamento 1,0 cm (65,1 kN)</p>	
<p>Deslocamento 1,5 cm (79,9 kN)</p>	

Continua

Continuação



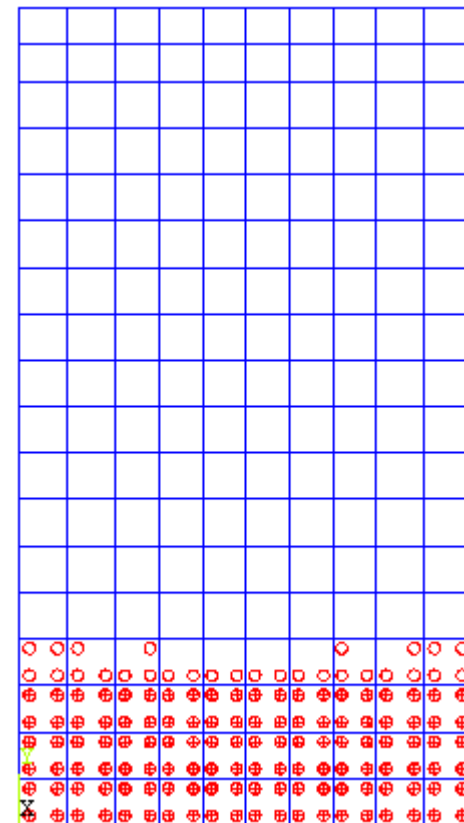
Fonte: Autor (2018)

Percebe-se no Quadro 11, que as tensões de compressão ultrapassam o valor máximo de resistência de $3,28 \text{ kN/cm}^2$. Isso se deve ao fato que foi definido como -1 o valor de compressão no *software*, fazendo com que seja ignorado os valores negativos de tensão no concreto. Por se tratar de um ensaio a flexão, é interessante analisar apenas os valores de tração no concreto. Este fato também acontecerá nas simulações das vigas de Bresler e Scordelis (1963), apresentadas no item 5.2.

O diagrama de fissura no Quadro 12 é uma particularidade do elemento tipo SOLID65, onde o *software* procura descrever como se desenvolvem as fissuras por tração nas fibras inferiores do concreto e por compressão (ou esmagamento) nas fibras superiores. A fissura é representada por um círculo enquanto o esmagamento

é representado por um octaedro, ambos posicionados de maneira perpendicular a tensão que gerou a falha. Se a fissura se abre e depois se fecha, um “X” é inserido dentro do círculo como indicado na Figura 66. Há também a distinção por cores, onde o vermelho representa a primeira fissura ou esmagamento, o verde a segunda fissura e o azul a terceira fissura no mesmo nó.

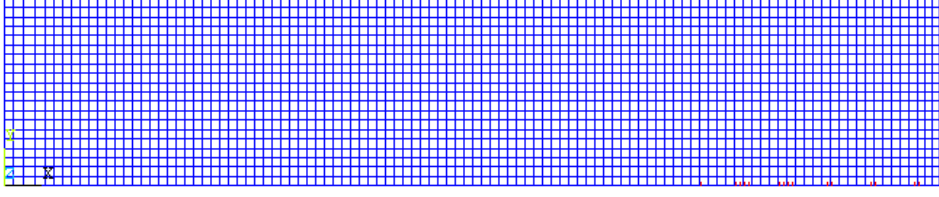
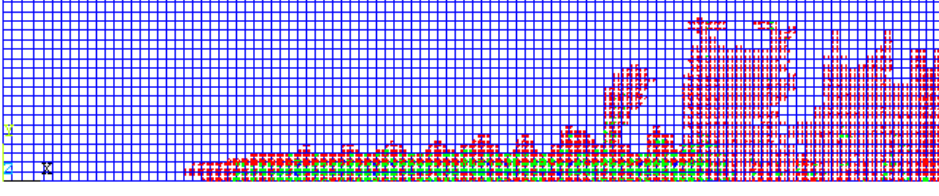
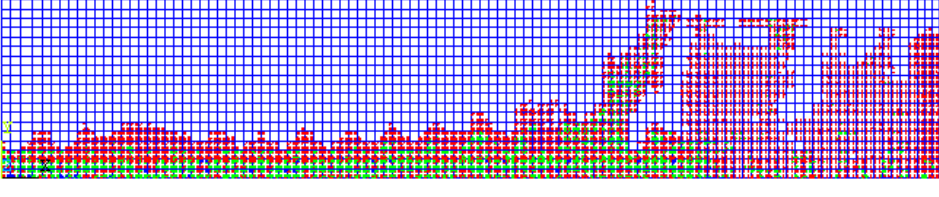
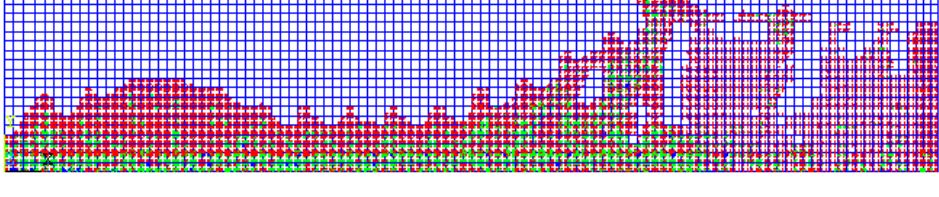
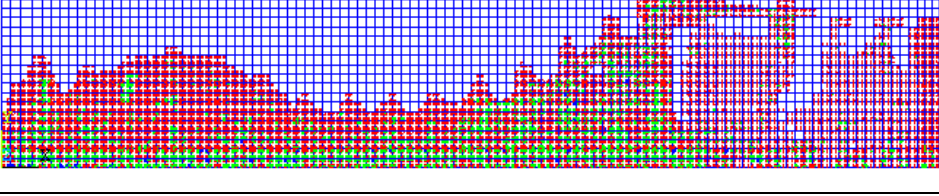
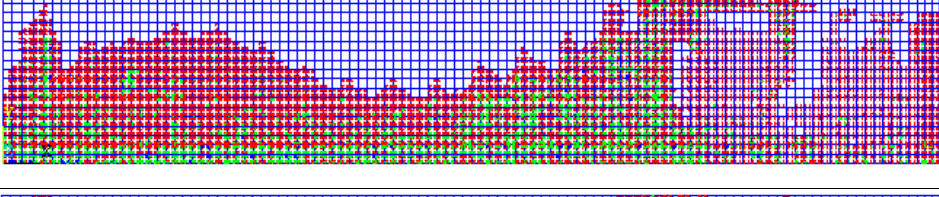
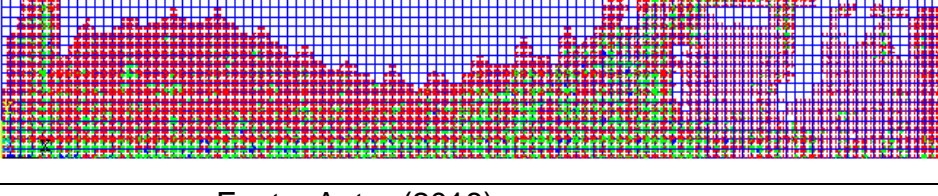
Figura 66 – Plano da fissura



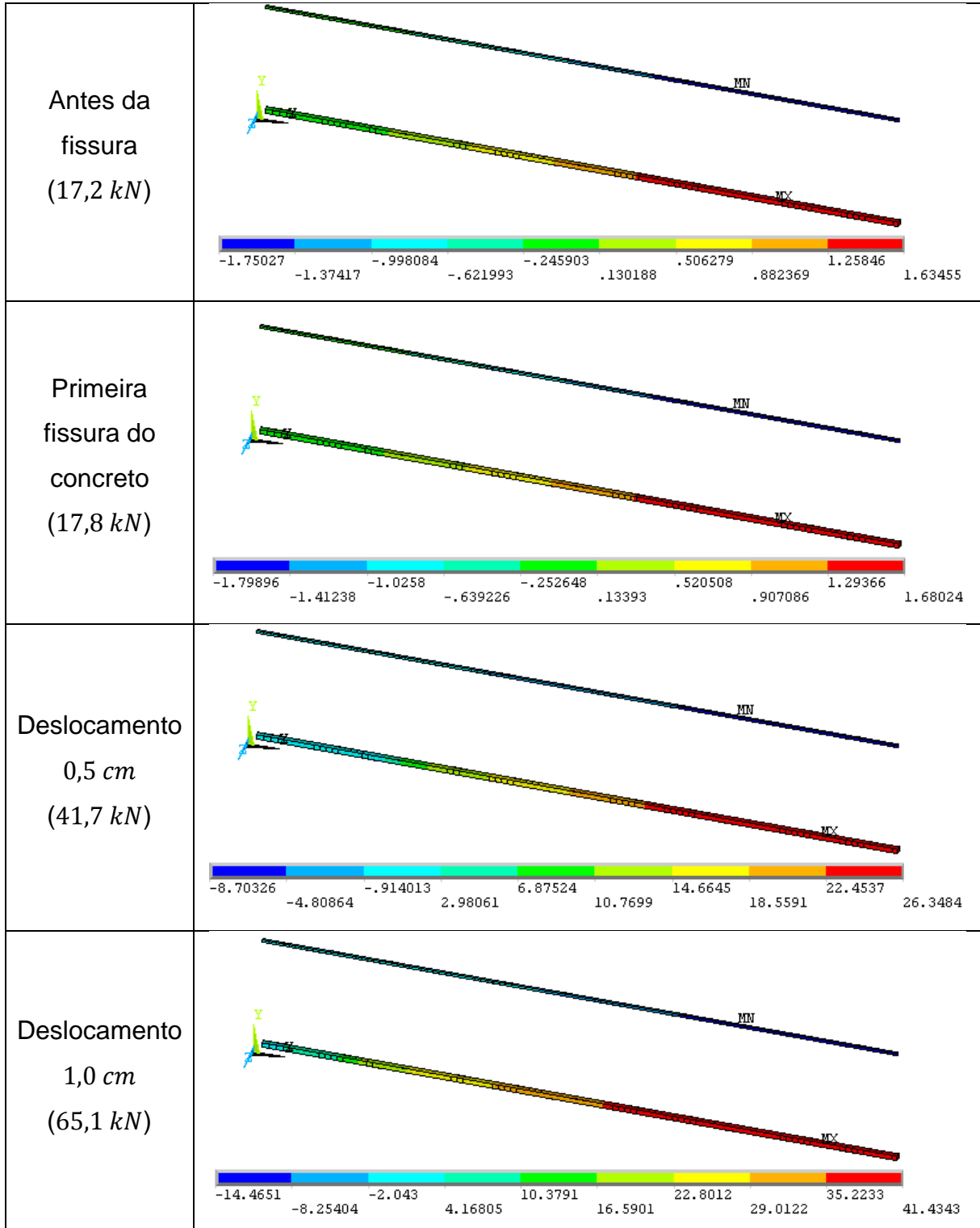
Fonte: Autor (2018)

Nota-se que quando há uma fissura, há um alívio de tensão no local onde ela ocorre. Isto fica bem visível no Quadro 11 no momento da primeira fissura. Após este evento, a tensão máxima de tração e compressão presentes no concreto ficam praticamente fixadas nos valores de resistência a tração e compressão do concreto. Quando este limite é superado, ocorre a fissura, que se espalha ao longo da peça. Neste momento, é também perceptível a atuação da armadura para resistir os esforços de tração da peça como apresenta o Quadro 13.

Quadro 12 – Diagrama de fissuras V1_a

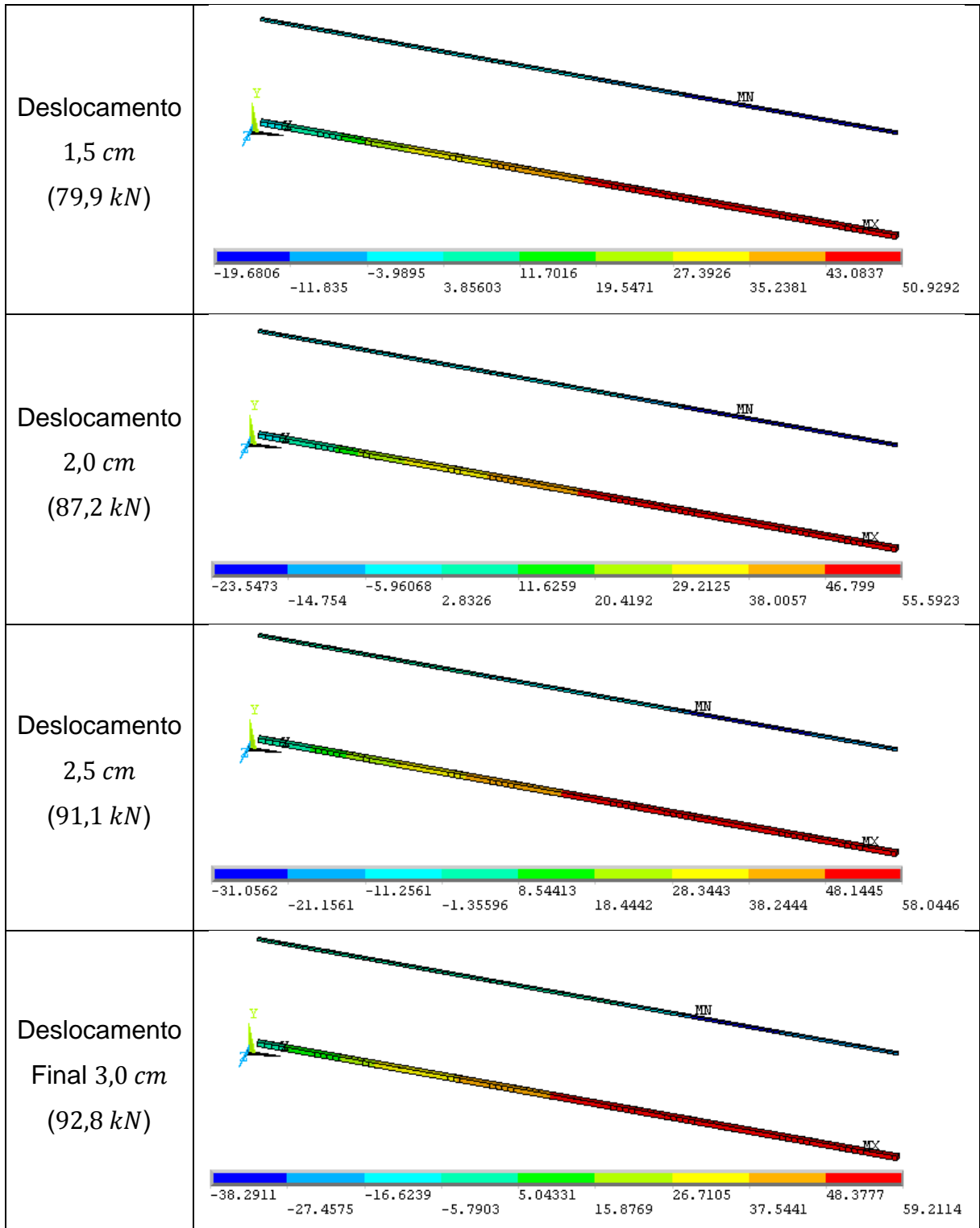
Primeira fissura do concreto (17,8 kN)	
Deslocamento 0,5 cm (41,7 kN)	
Deslocamento 1,0 cm (65,1 kN)	
Deslocamento 1,5 cm (79,9 kN)	
Deslocamento 2,0 cm (87,2 kN)	
Deslocamento 2,5 cm (91,1 kN)	
Deslocamento Final 3,0 cm (92,8 kN)	

Fonte: Autor (2018)

Quadro 13 – Distribuição de tensões na armadura V1_a (kN/cm^2)

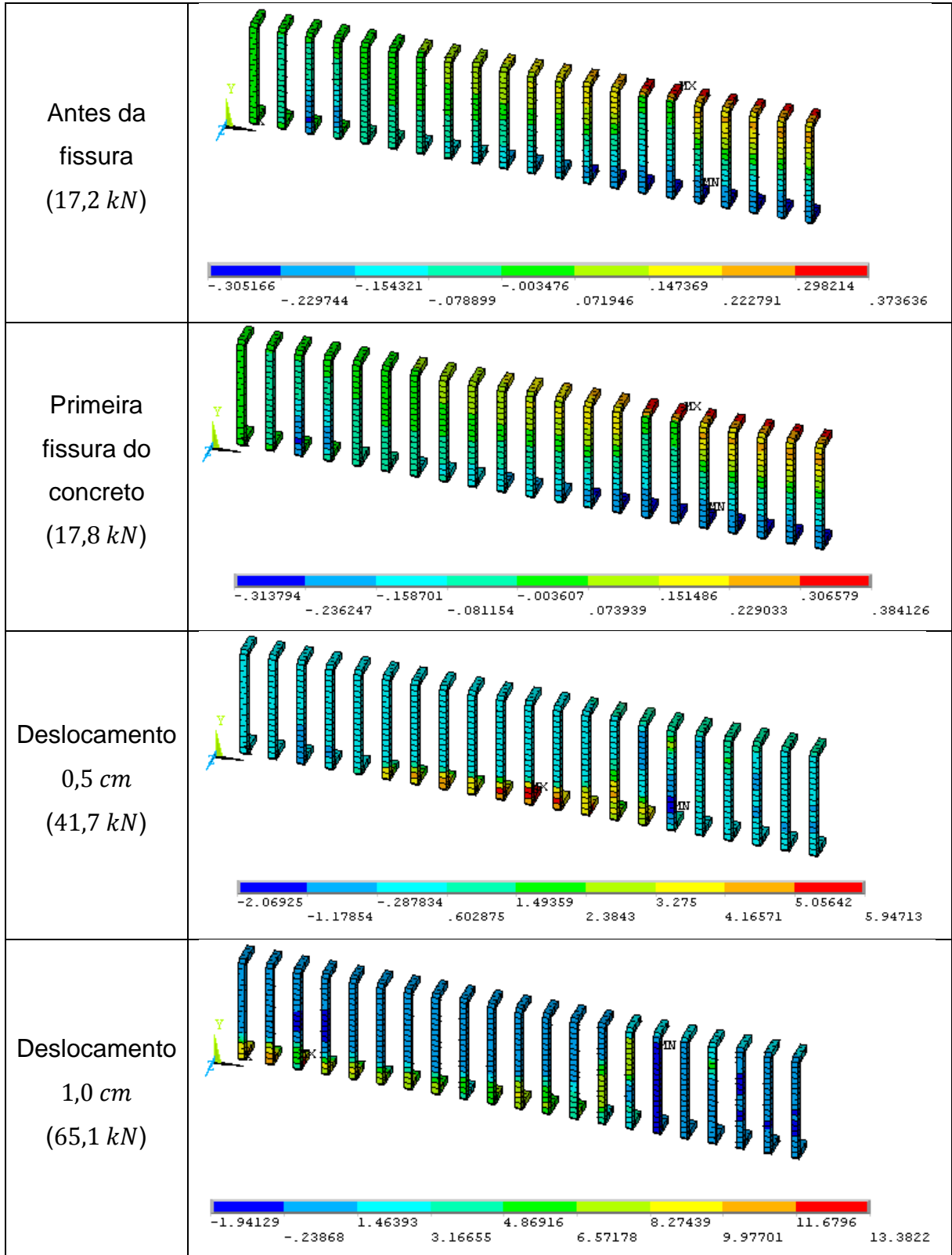
Continua

Continuação



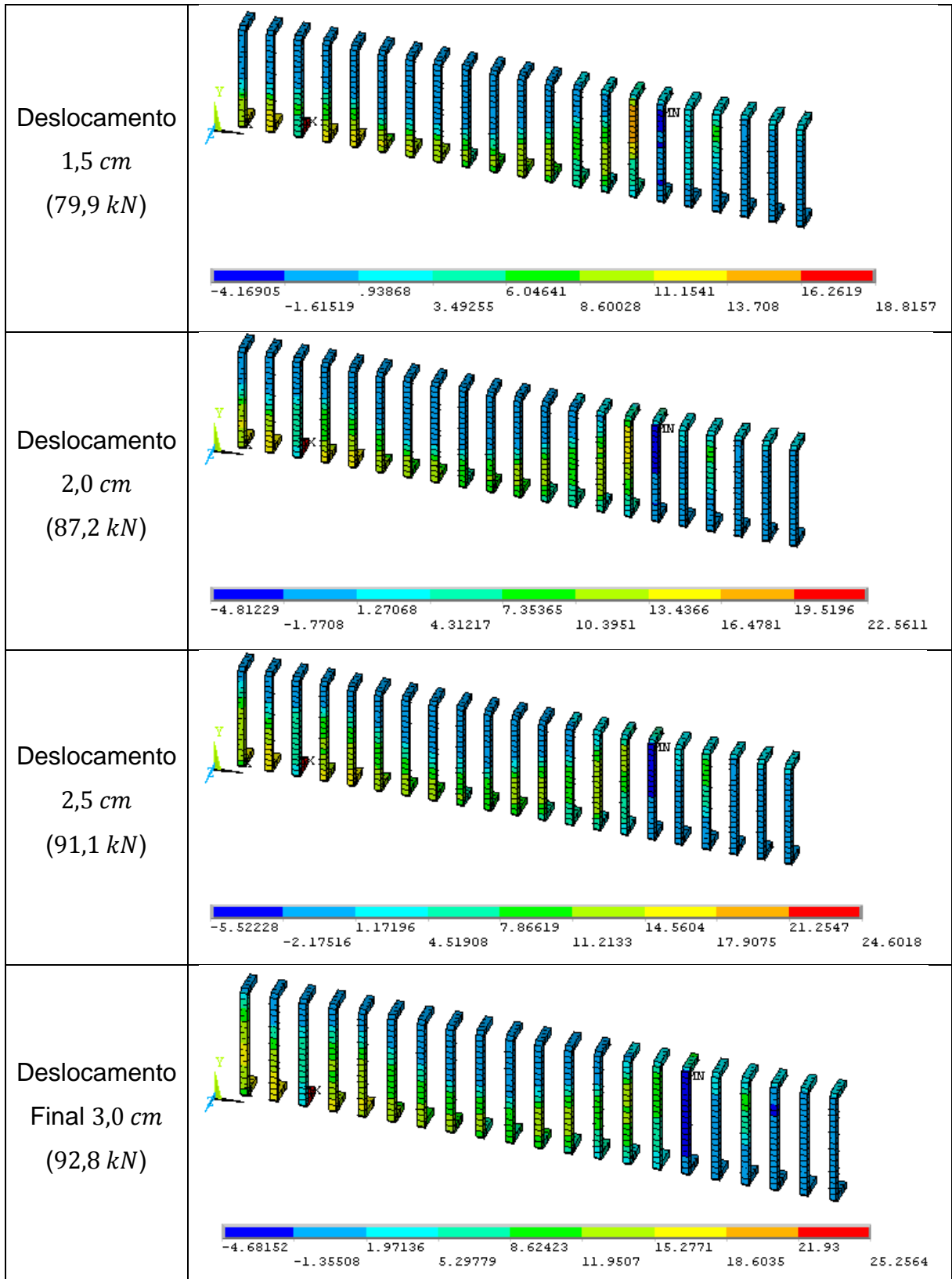
Fonte: Autor (2018)

Quadro 14 – Distribuição de tensões nos estribos V1_a (kN/cm^2)



Continua

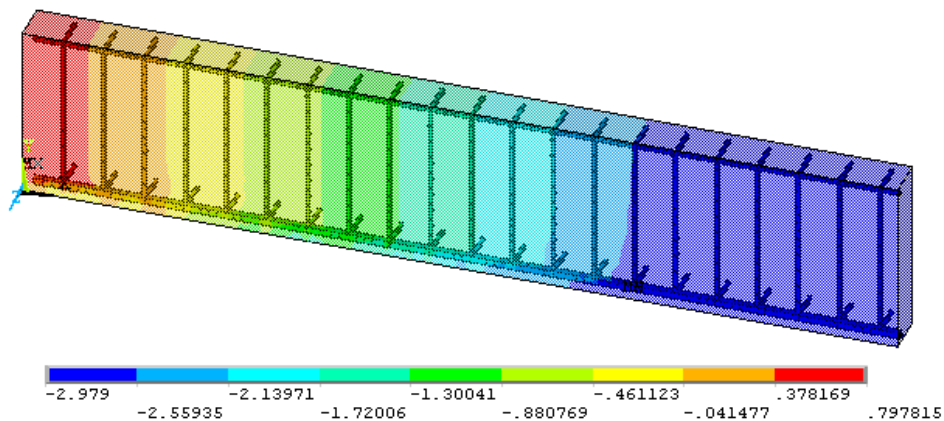
Continuação



Fonte: Autor (2018)

No Quadro 14, nota-se que os estribos não atingiram a tensão de escoamento do aço utilizado, caracterizando a ruptura da viga por flexão, e não cisalhamento. Na Figura 67, é mostrado o deslocamento vertical ao longo da peça. As extremidades do modelo têm deslocamento positivo no eixo Y, e na região central há deslocamento negativo, devido a flexão.

Figura 67 – Deslocamento Final V1_a (cm)



Fonte: Autor (2018)

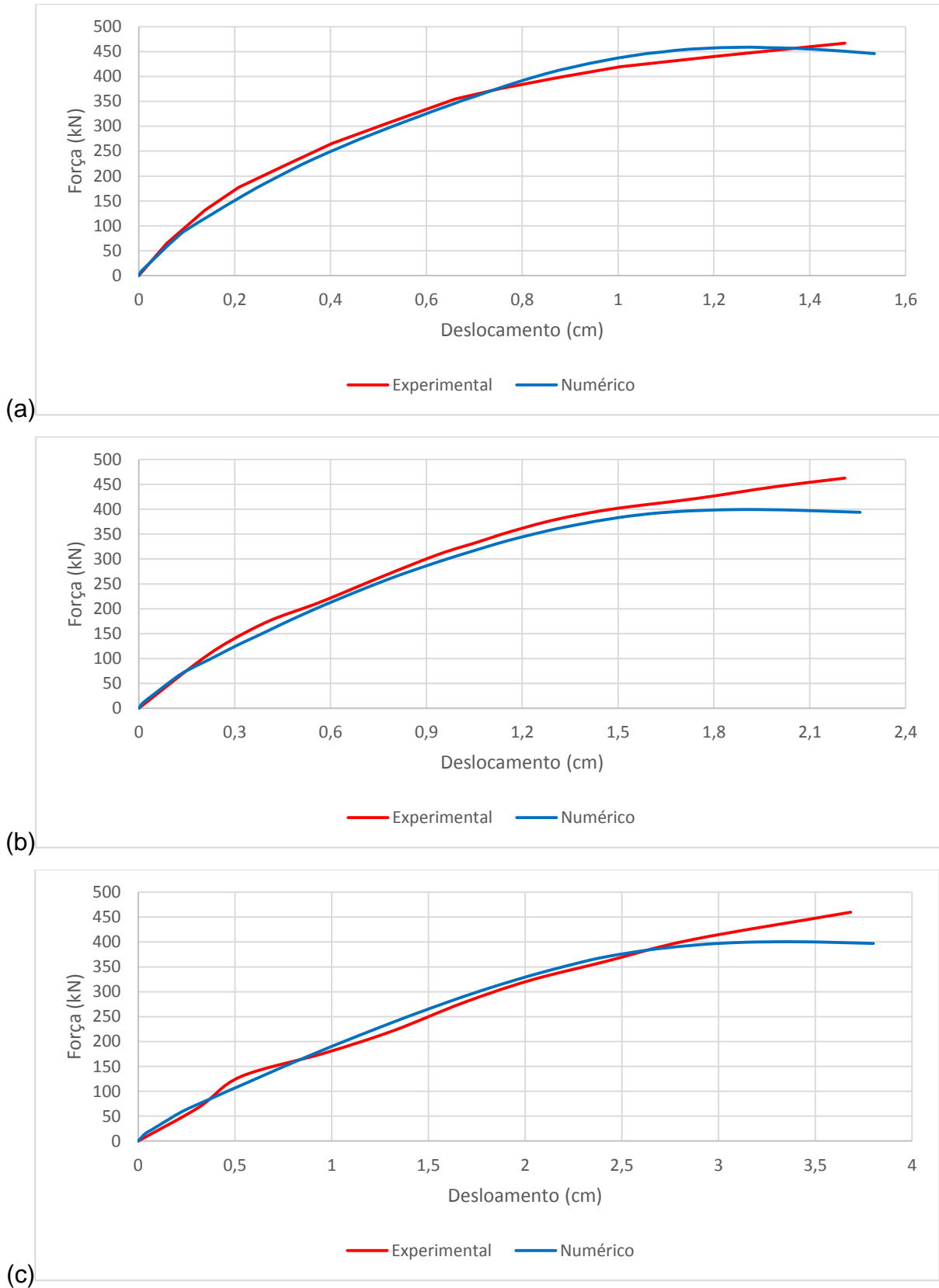
5.2 VIGAS A1, A2 E A3 (BRESLER E SCORDELIS, 1963)

As vigas A1, A2 e A3 foram simuladas utilizando 50 incrementos de deslocamento ao invés de 100 incrementos de força como na V1_a. Foi utilizado menos passos pelo fato de apresentarem melhor convergência, e pelo mesmo motivo, foi utilizado deslocamento ao invés de carga.

Como comentado anteriormente, o valor de deslocamento na simulação foi escolhido como valor do deslocamento final do experimental acrescido de 0,1 cm. Portanto, na viga A1 cada incremento tem 0,032 cm, na A2 0,046cm e na A3 0,076 cm. Todas as simulações das vigas de Bresler e Scordelis (1963), convergiram até o final, não necessitando mais de 50 passos.

A Figura 68 mostra que as curvas do modelo experimental e numérico estão bem próximas. Desta maneira, é validada a simulação executada. Os resultados detalhados da simulação estão presentes nos quadros na sequência.

Figura 68 – Diagrama Força x Deslocamento: A1 (a); A2 (b); A3 (c)

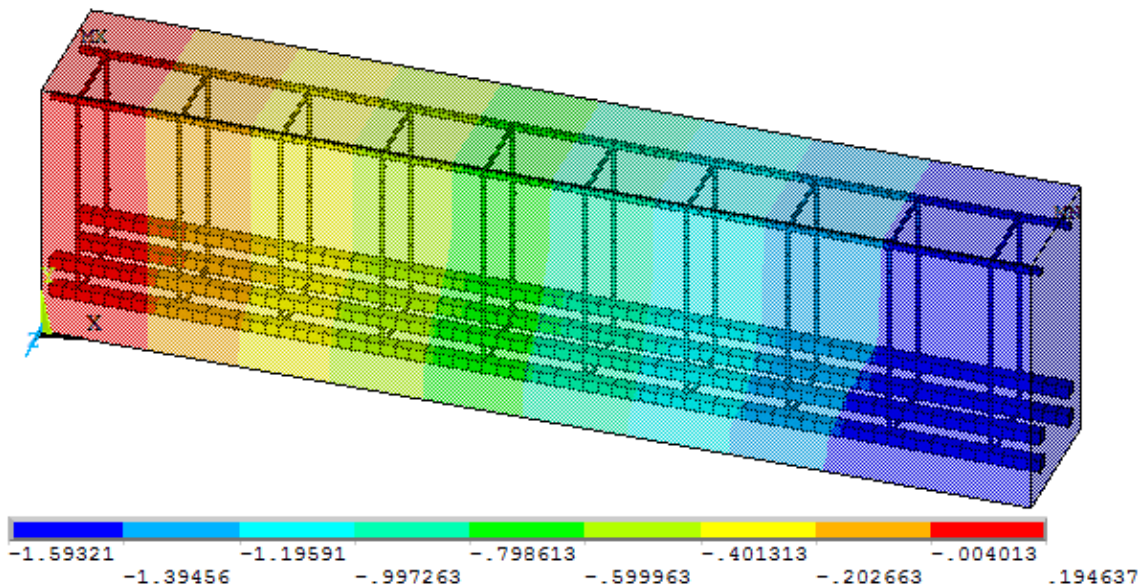


Fonte: Autor (2018)

Nos Quadros 15, 19 e 23 são apresentadas as distribuições de tensões no concreto das vigas A1, A2, e A3 respectivamente. Nos Quadros 16, 20 e 24 pode-se observar o diagrama de fissuras das vigas A1, A2, e A3, respectivamente. A distribuição de tensões nas armaduras está indicada nos Quadros 17, 21 e 25. E, por último, apresenta-se a distribuição de tensões apenas nos estribos nos Quadros 18, 22 e 26.

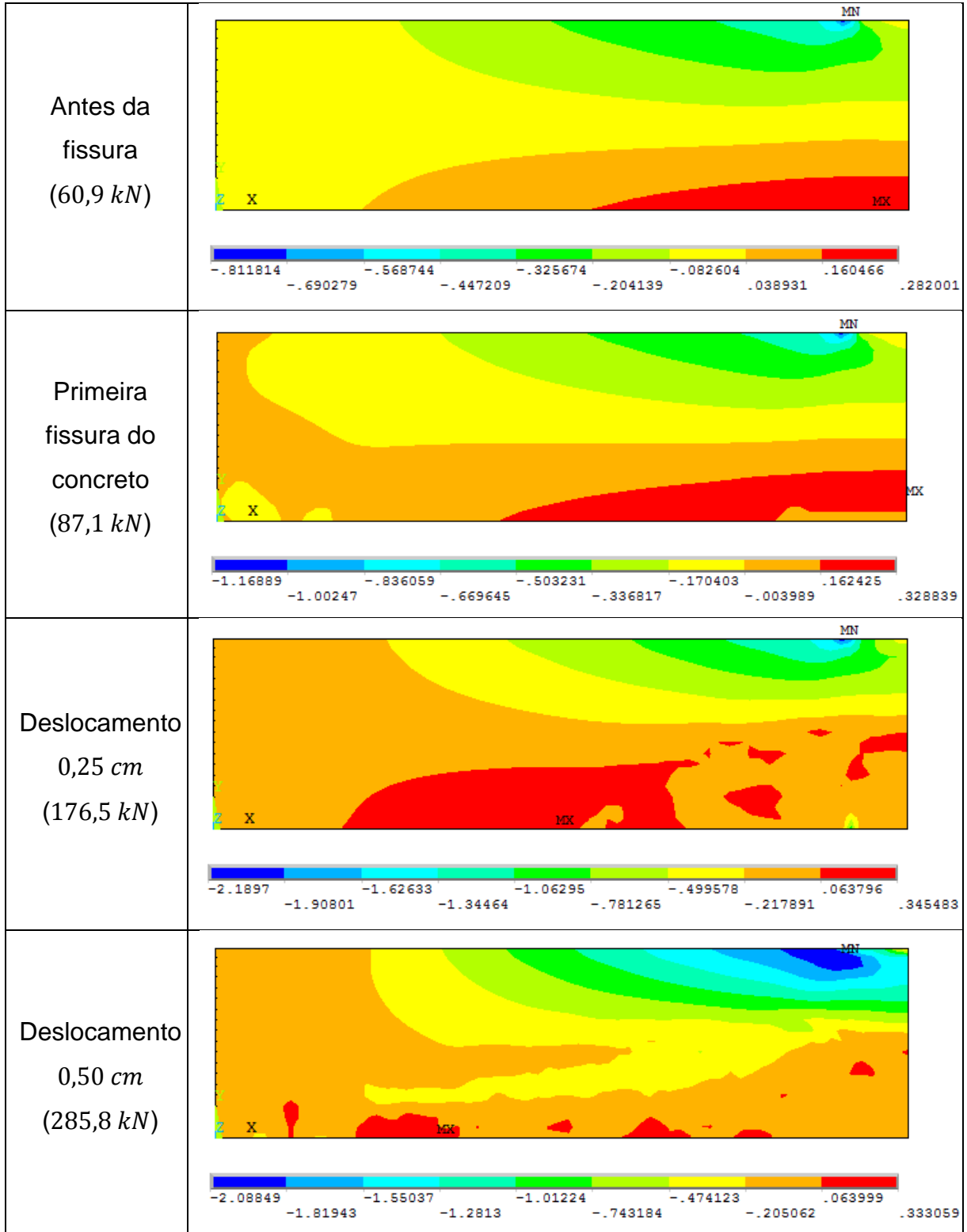
Nas Figuras 69, 70 e 71, são apresentados os deslocamentos verticais ao longo das vigas A1, A2 e A3 respectivamente. Nota-se o comportamento esperado para o modelo frente ao ensaio de flexão imposto. Há um deslocamento negativo no eixo Y no vão central, e um deslocamento positivo na extremidade da viga no mesmo eixo.

Figura 69 – Deslocamento vertical do modelo viga A1



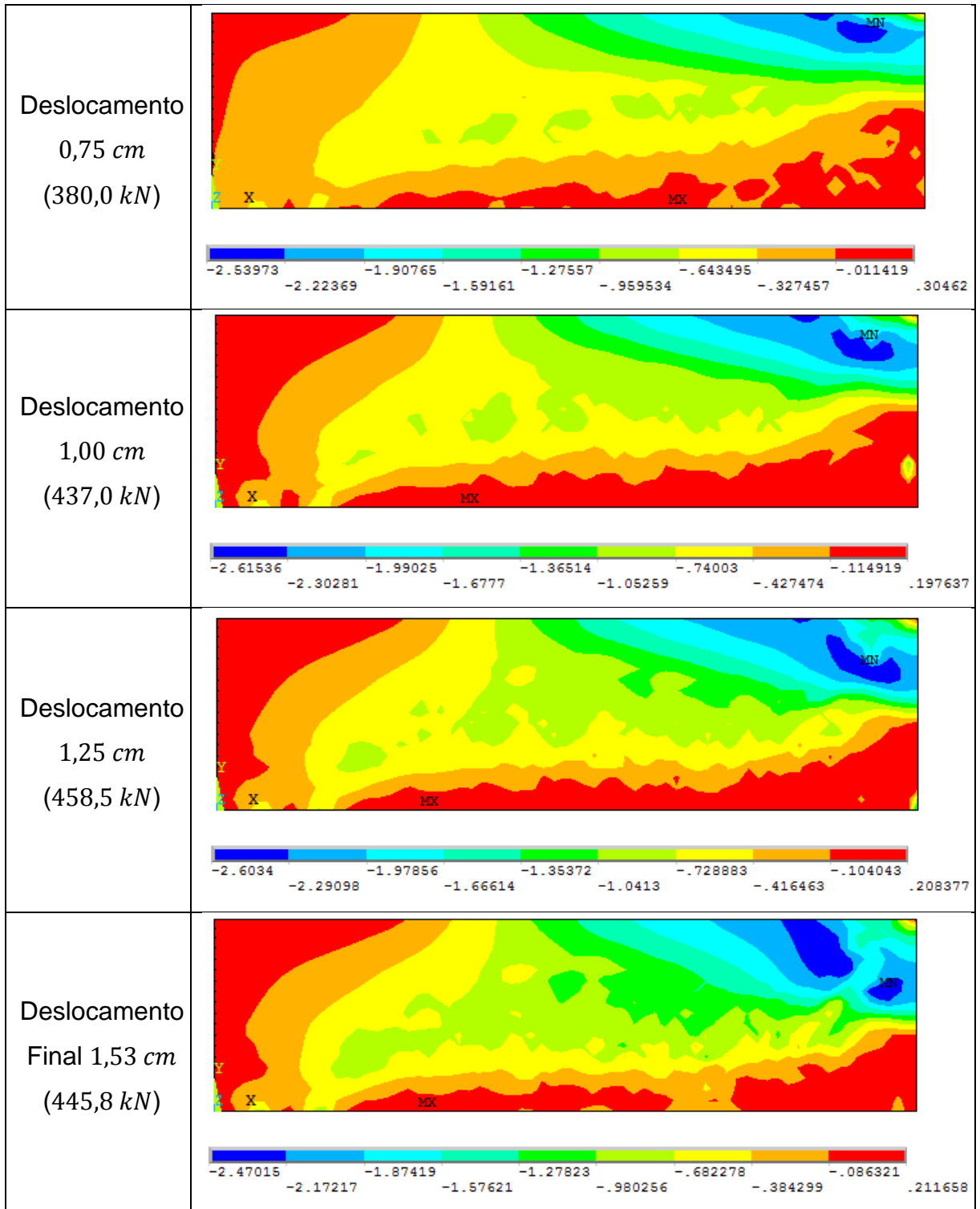
Fonte: Autor (2018)

Quadro 15 – Distribuição de tensões (σ_x) no concreto viga A1 (kN/cm^2)



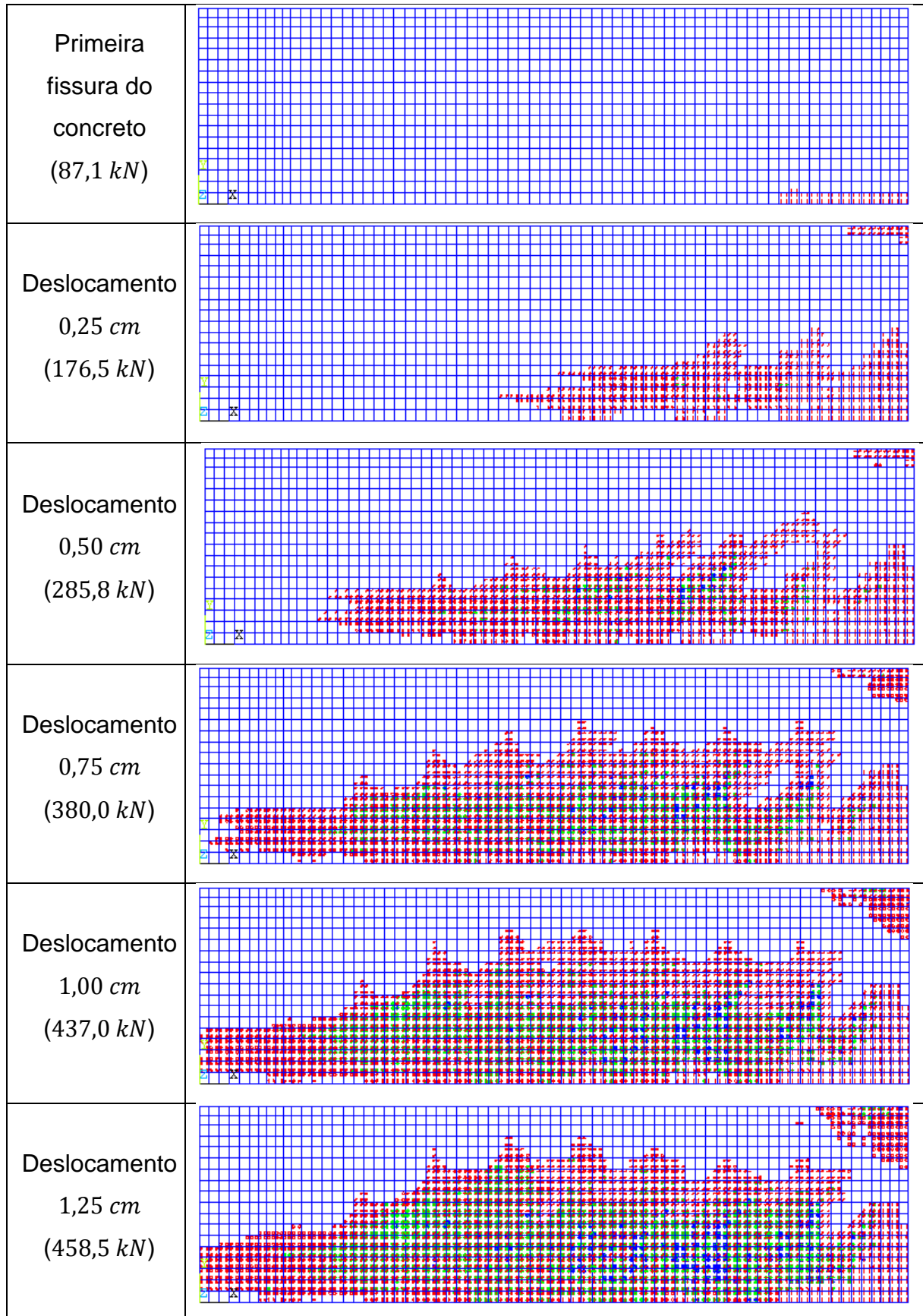
Continua

Continuação



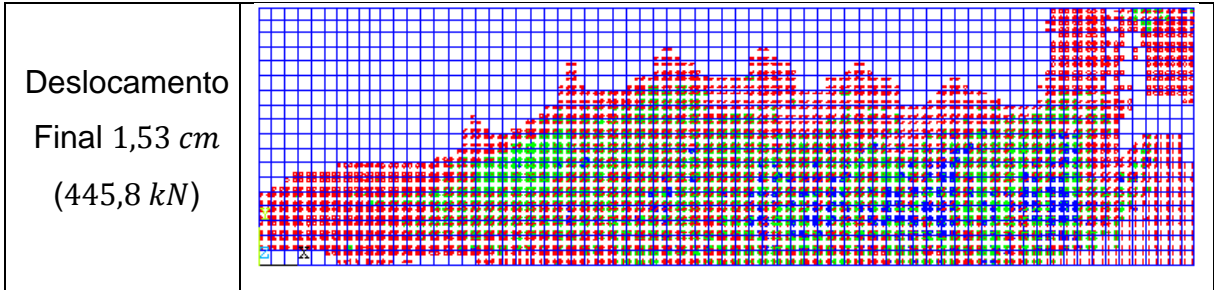
Fonte: Autor (2018)

Quadro 16 – Diagrama de fissuras no concreto viga A1



Continua

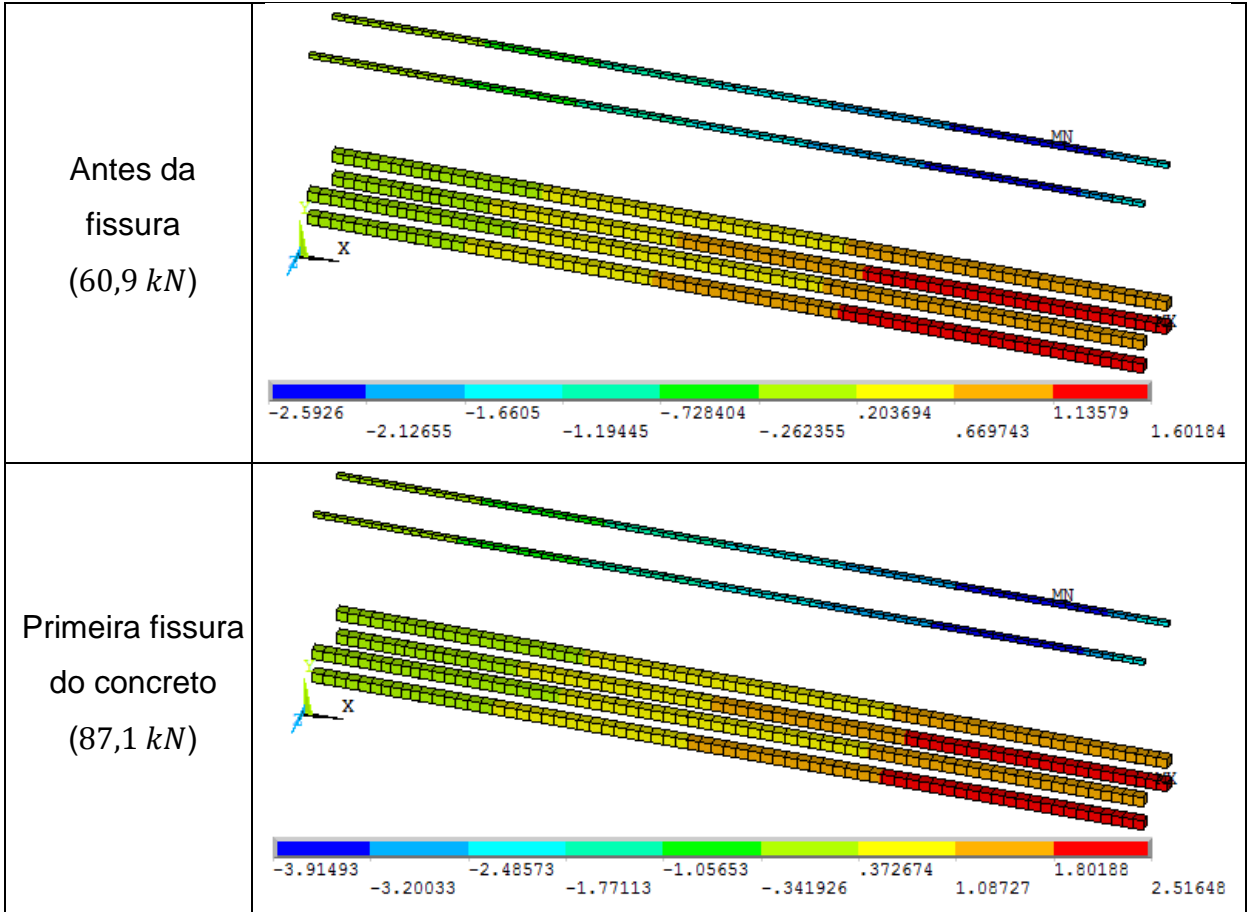
Continuação



Fonte: Autor (2018)

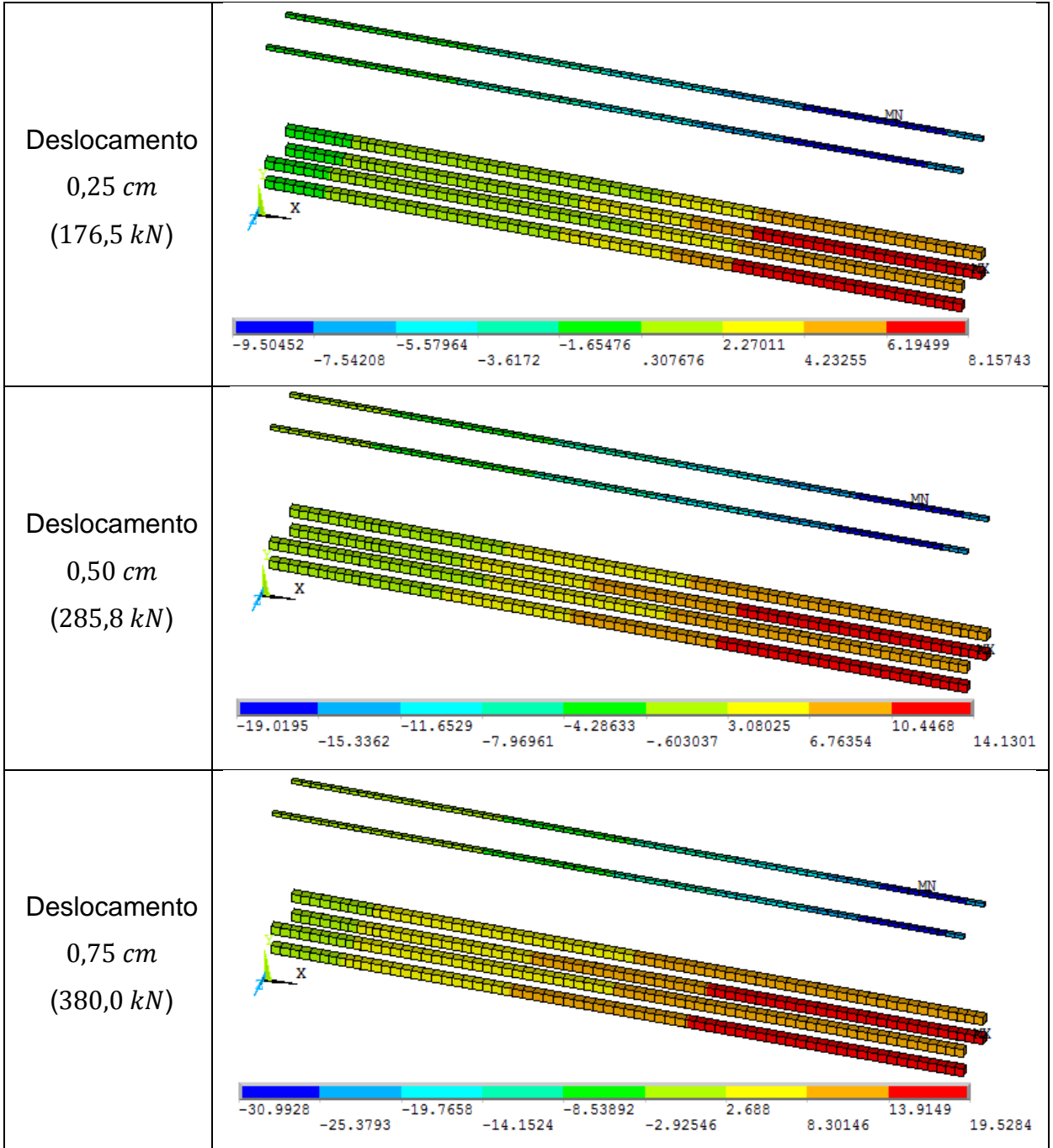
Percebe-se no diagrama do Quadro 16, que as fissuras apontam sempre na direção da aplicação da carga (ou deslocamento imposto) no modelo. Este comportamento é típico nas vigas de concreto ensaiadas a flexão. Além disso, como dito antes, as fissuras estão interligadas aos resultados de distribuição de tensões no concreto. Quando o concreto atinge o limite de tração ou compressão, este fissura ou esmaga respectivamente.

Quadro 17 – Distribuição de tensões nas barras longitudinais viga A1 (kN/cm^2)



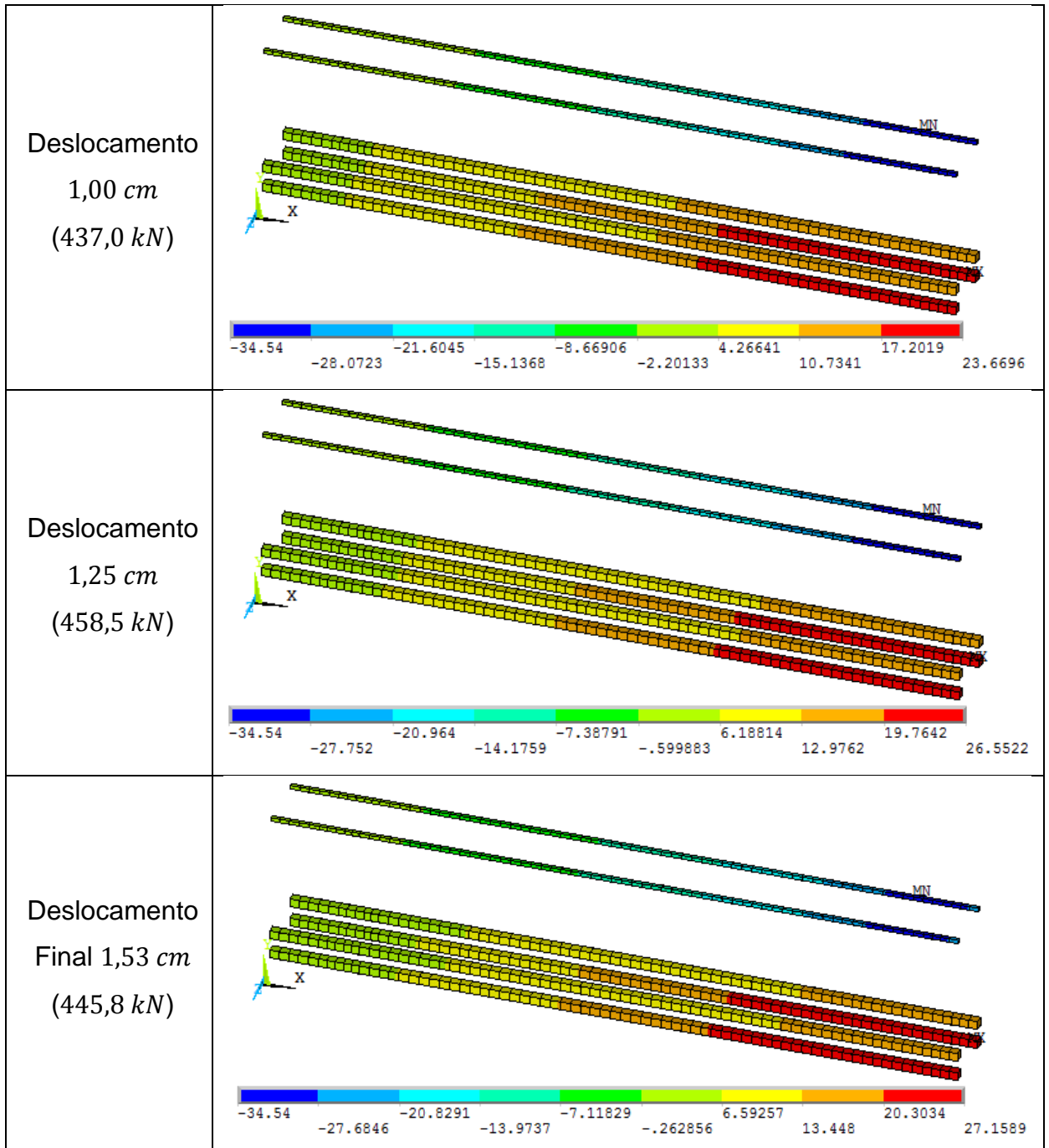
Continua

Continuação



Continua

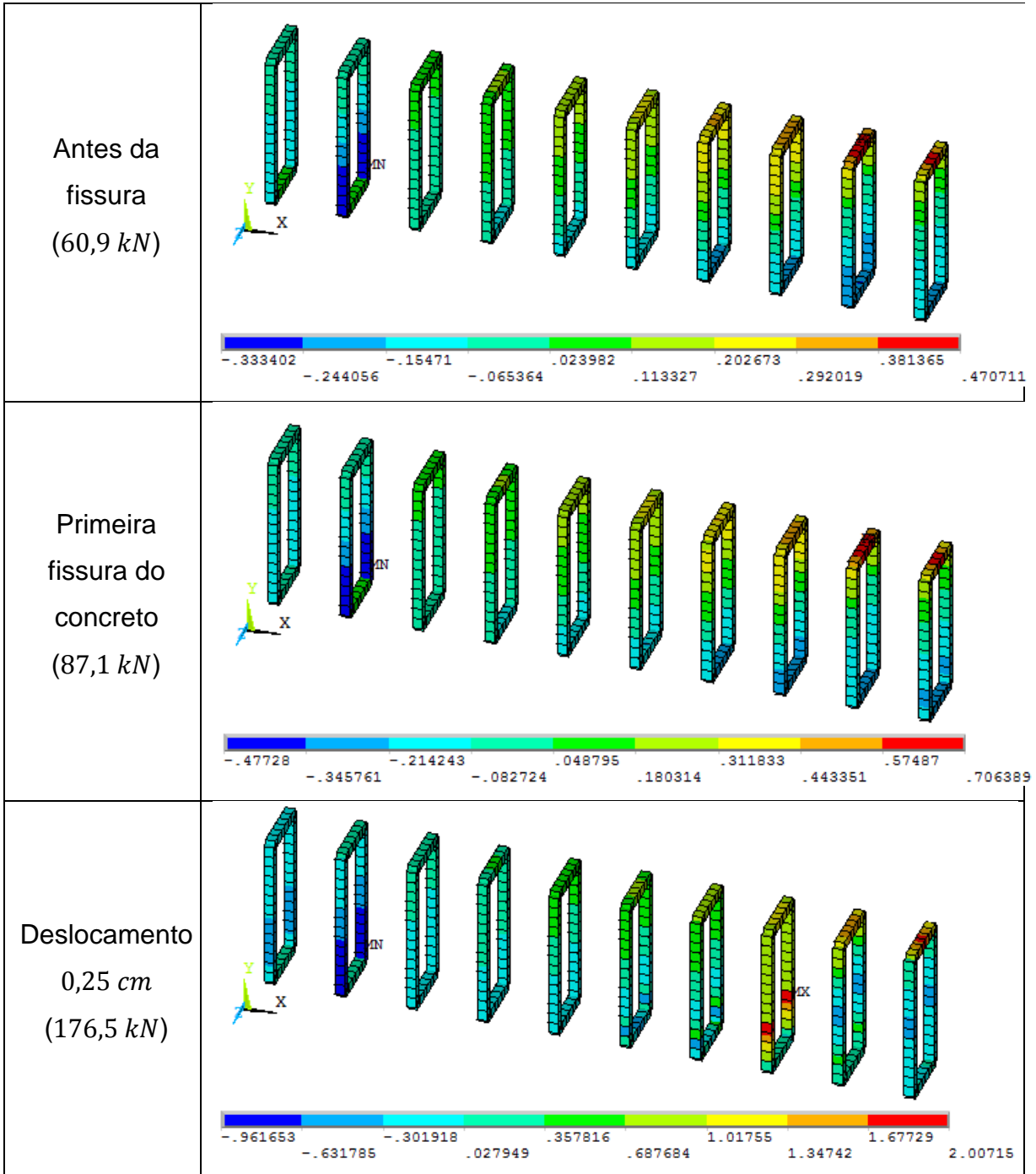
Continuação



Fonte: Autor (2018)

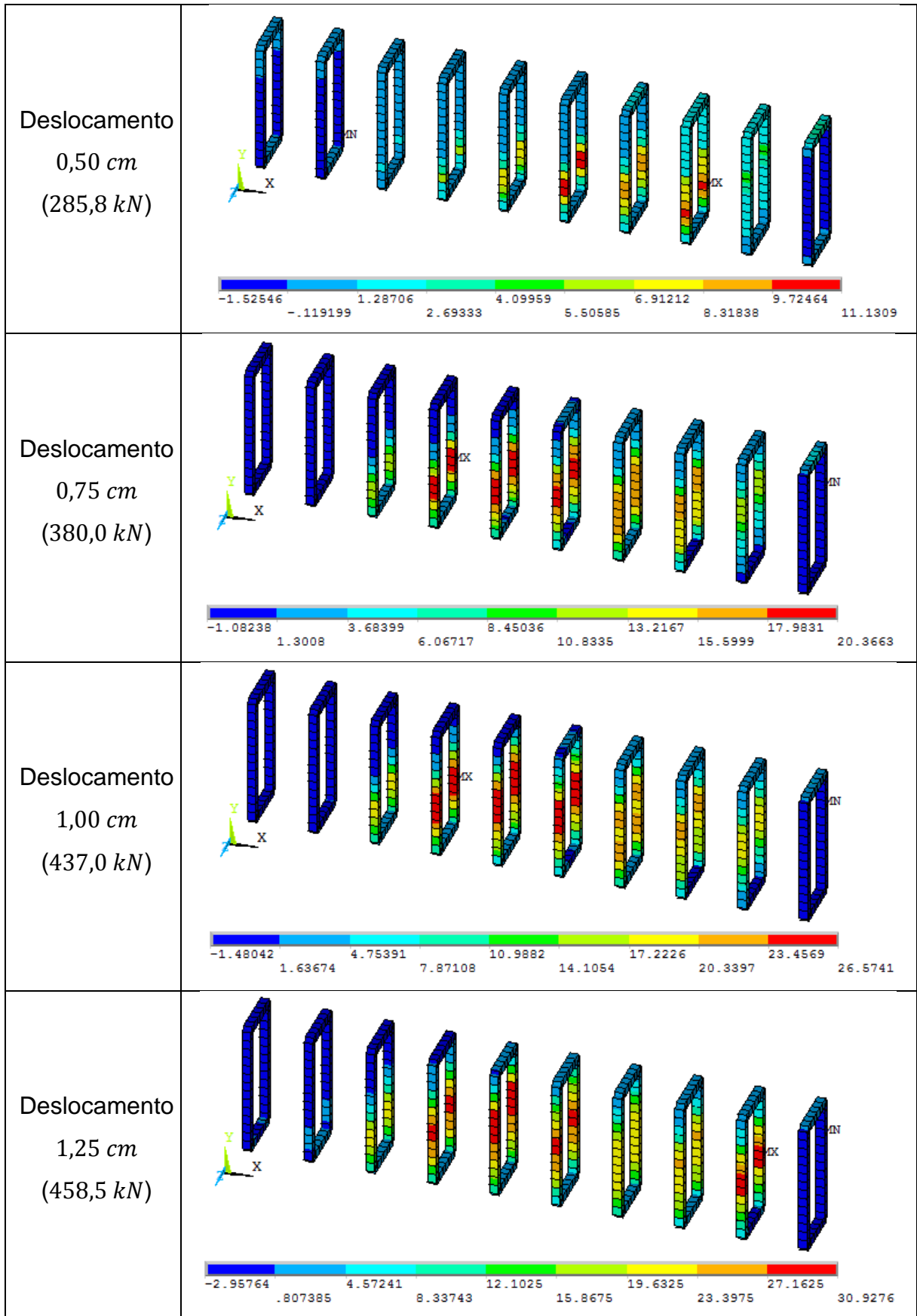
Pelos resultados apresentados no Quadro 17, é possível observar que a solicitação do aço aumenta quando há maior deslocamento imposto na região central. Nota-se que as tensões no aço da viga A1, não atingem o valor máximo de tensão de $55,5 \text{ kN/cm}^2$ no deslocamento máximo imposto.

Quadro 18 – Distribuição de tensões nos estribos viga A1 (kN/cm^2)



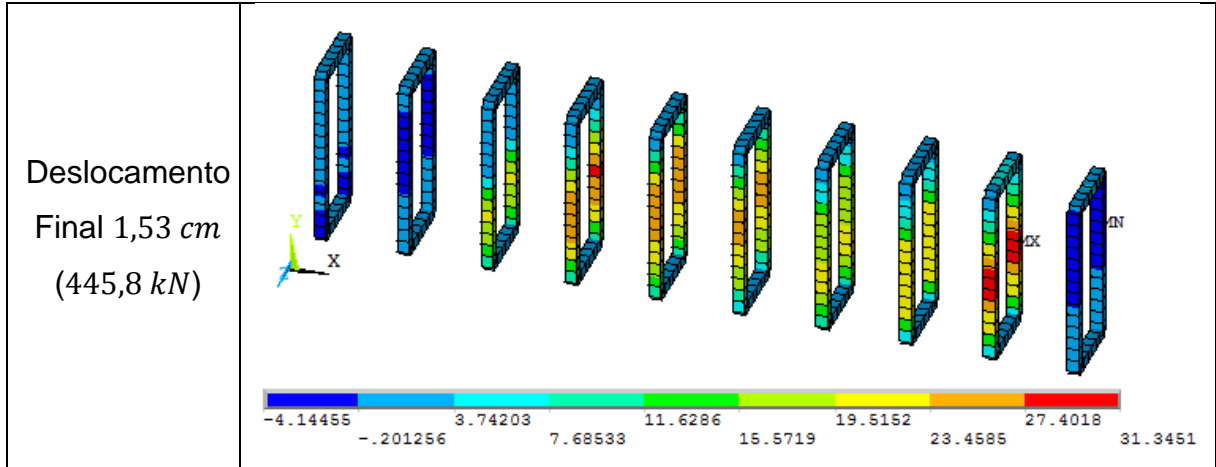
Continua

Continuação



Continua

Continuação

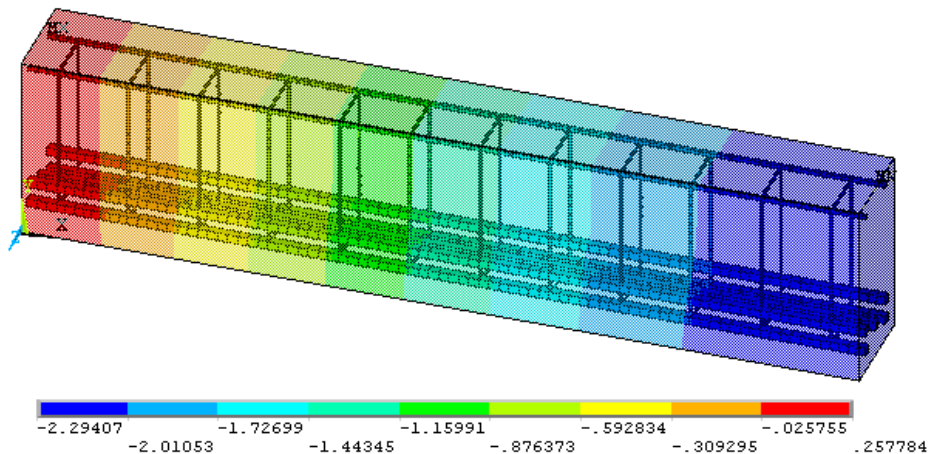


Fonte: Autor (2018)

Nota-se a partir dos resultados indicado no Quadro acima, que a solicitação dos estribos após a fissura aumenta, e é concentrada na região central entre o ponto de aplicação da carga e o apoio. Este resultado caracteriza o comportamento dos estribos para resistir ao esforço cisalhante nas vigas. No ponto onde há concentração de tensões é onde é gerado maior esforço cisalhante na peça.

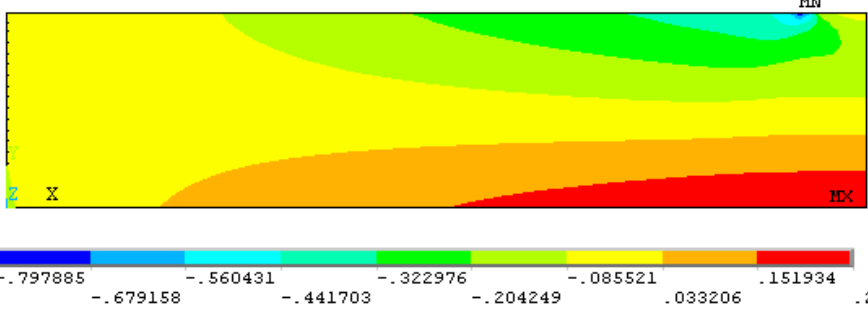
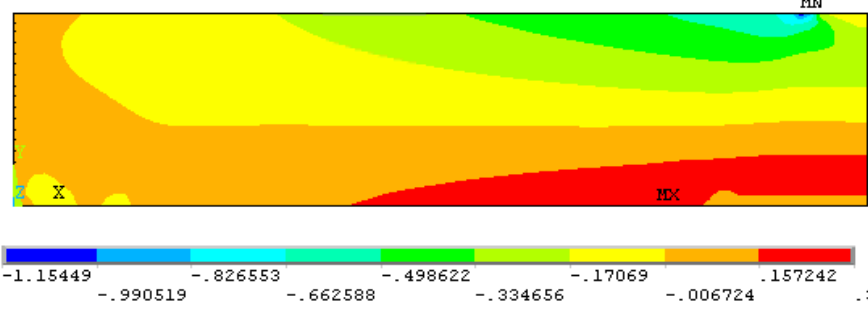
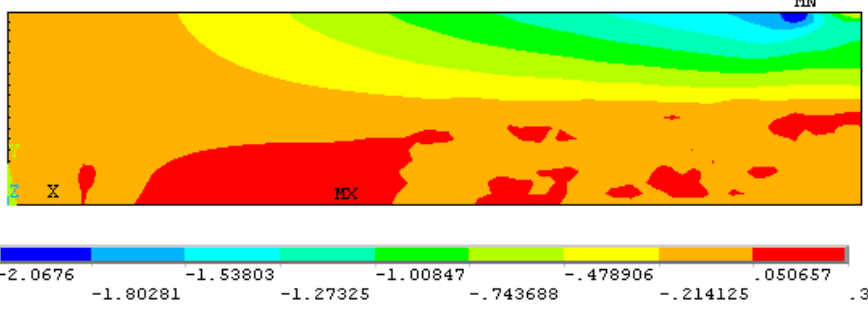
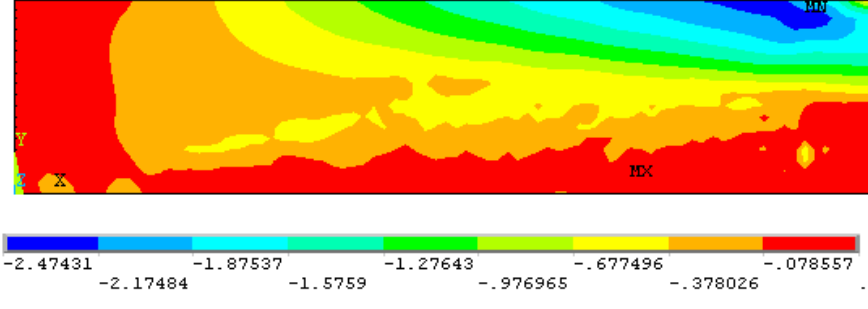
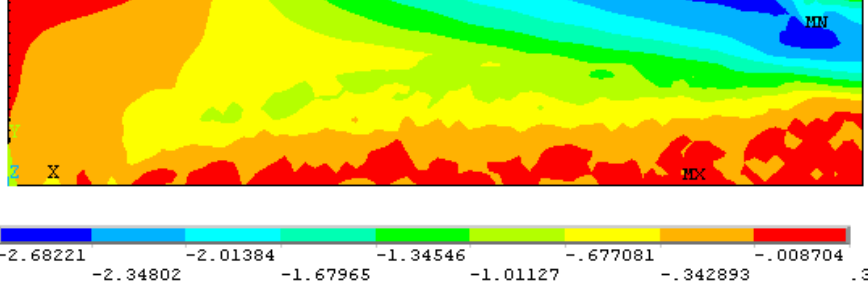
No deslocamento final, os estribos atingem uma tensão máxima de aproximadamente $31,35 \text{ kN/cm}^2$, atingindo 96% da tensão de escoamento do aço utilizado ($32,54 \text{ kN/cm}^2$). No Quadro 17, a tensão máxima indicada no deslocamento está nos estribos também, ou seja, a tensão da armadura principal não passou dos $31,35 \text{ kN/cm}^2$ (56% da tensão de escoamento), isso demonstra que a viga A1 rompe por cisalhamento.

Figura 70 – Deslocamento vertical no modelo viga A2 (cm)



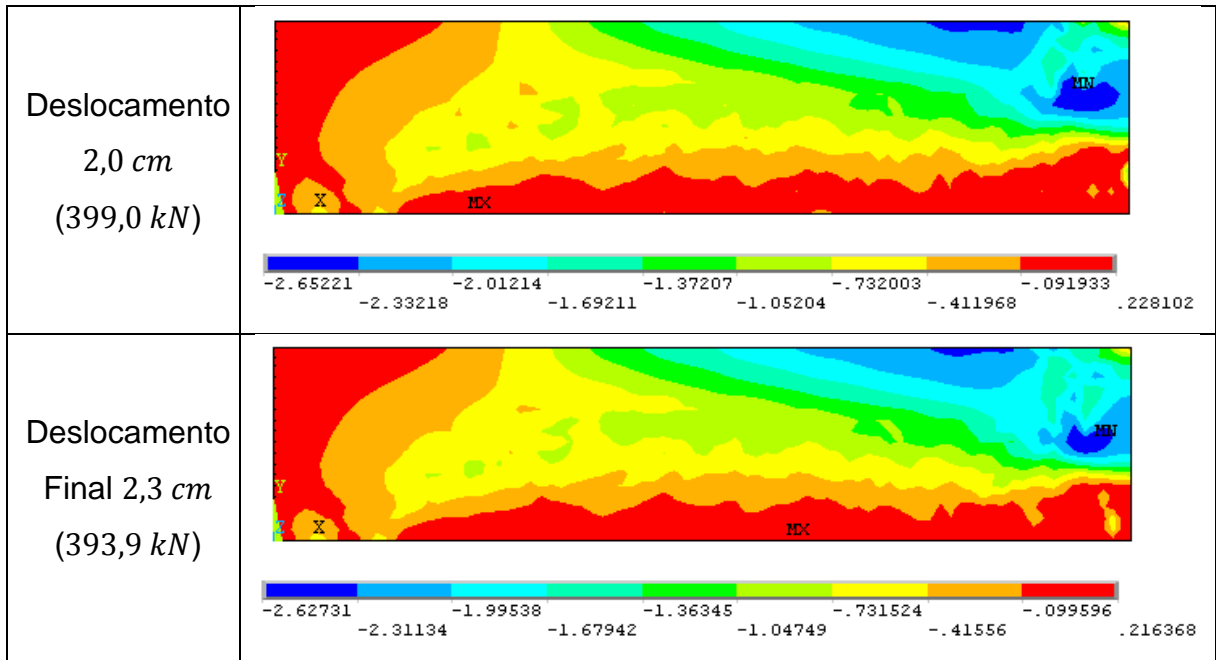
Fonte: Autor (2018)

Quadro 19 – Distribuição de tensões (σ_x) no concreto viga A2 (kN/cm^2)

<p>Antes da fissura (49,4 kN)</p>	
<p>Primeira fissura do concreto (70,1 kN)</p>	
<p>Deslocamento 0,5 cm (183,6 kN)</p>	
<p>Deslocamento 1,0 cm (305,4 kN)</p>	
<p>Deslocamento 1,5 cm (381,1 kN)</p>	

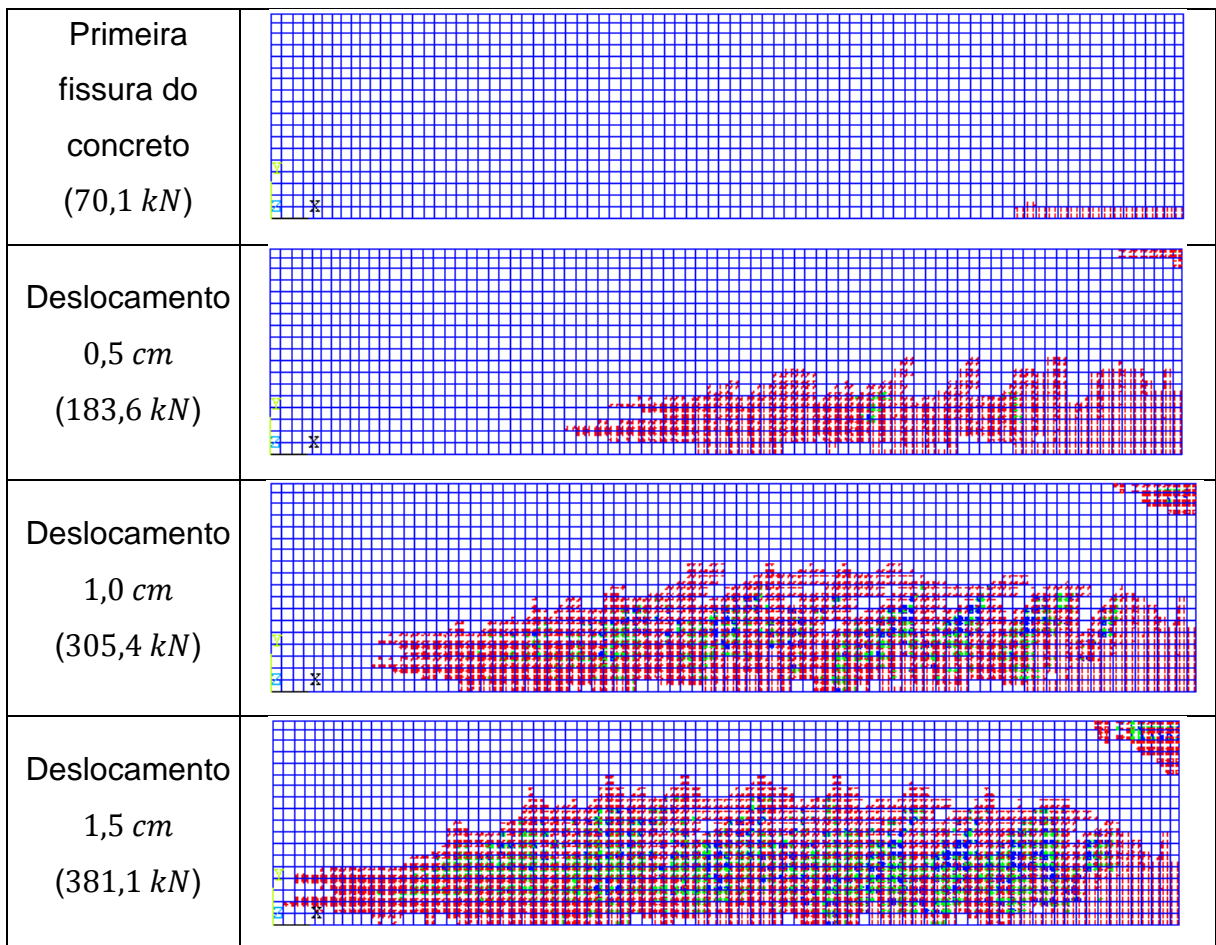
Continua

Continuação



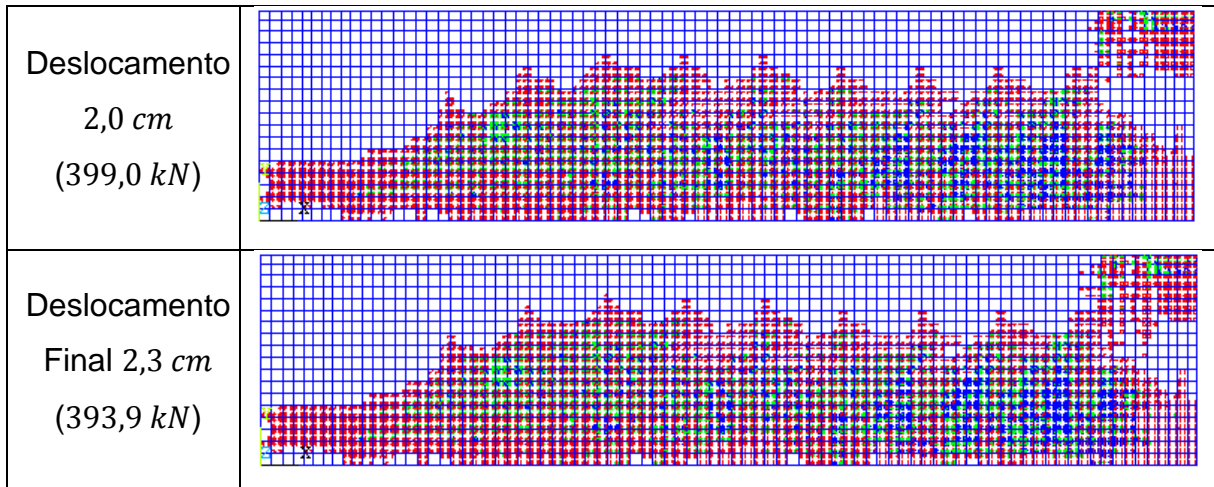
Fonte: Autor (2018)

Quadro 20 – Diagrama de fissuras no concreto viga A2



Continua

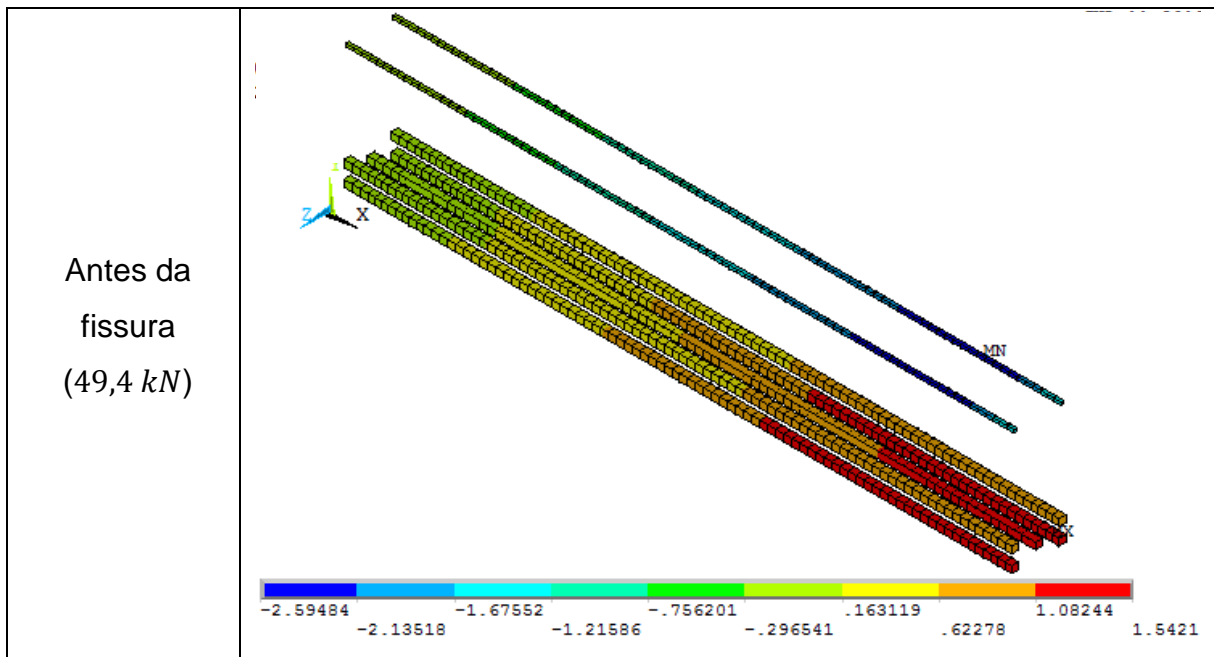
Continuação



Fonte: Autor (2018)

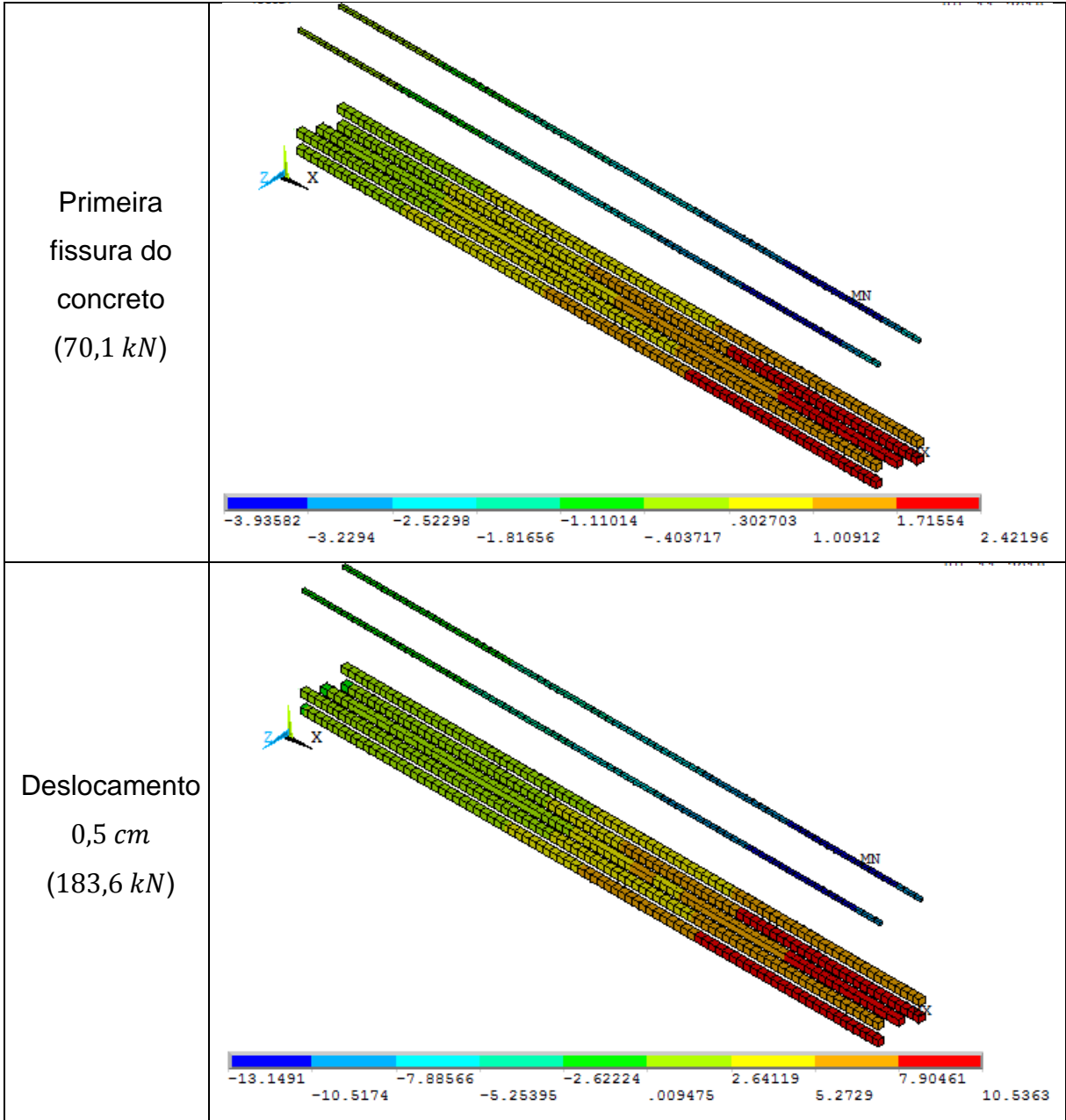
Como observado novamente pelos Quadros 19 e 20, há conexão entre a distribuição de tensões no concreto e o aparecimento de fissuras. Também é observado, em comparação ao Quadro 16, que as fissuras na viga A2 são menos inclinadas em direção a aplicação de deslocamento no modelo. Isso indica que a viga está menos propensa ao rompimento por cisalhamento.

Quadro 21 – Distribuição de tensões na armadura viga A2 (kN/cm^2)



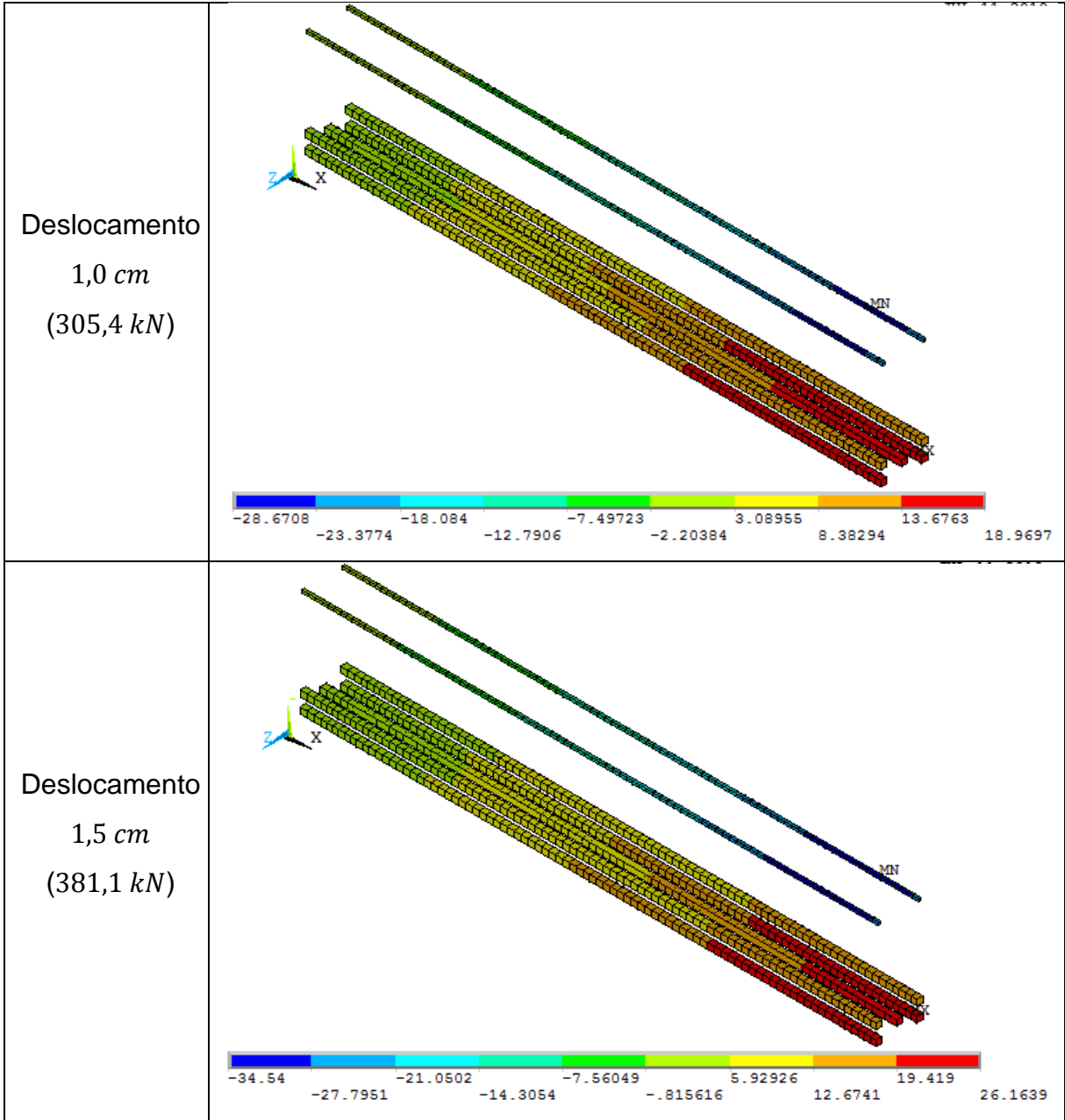
Continua

Continuação



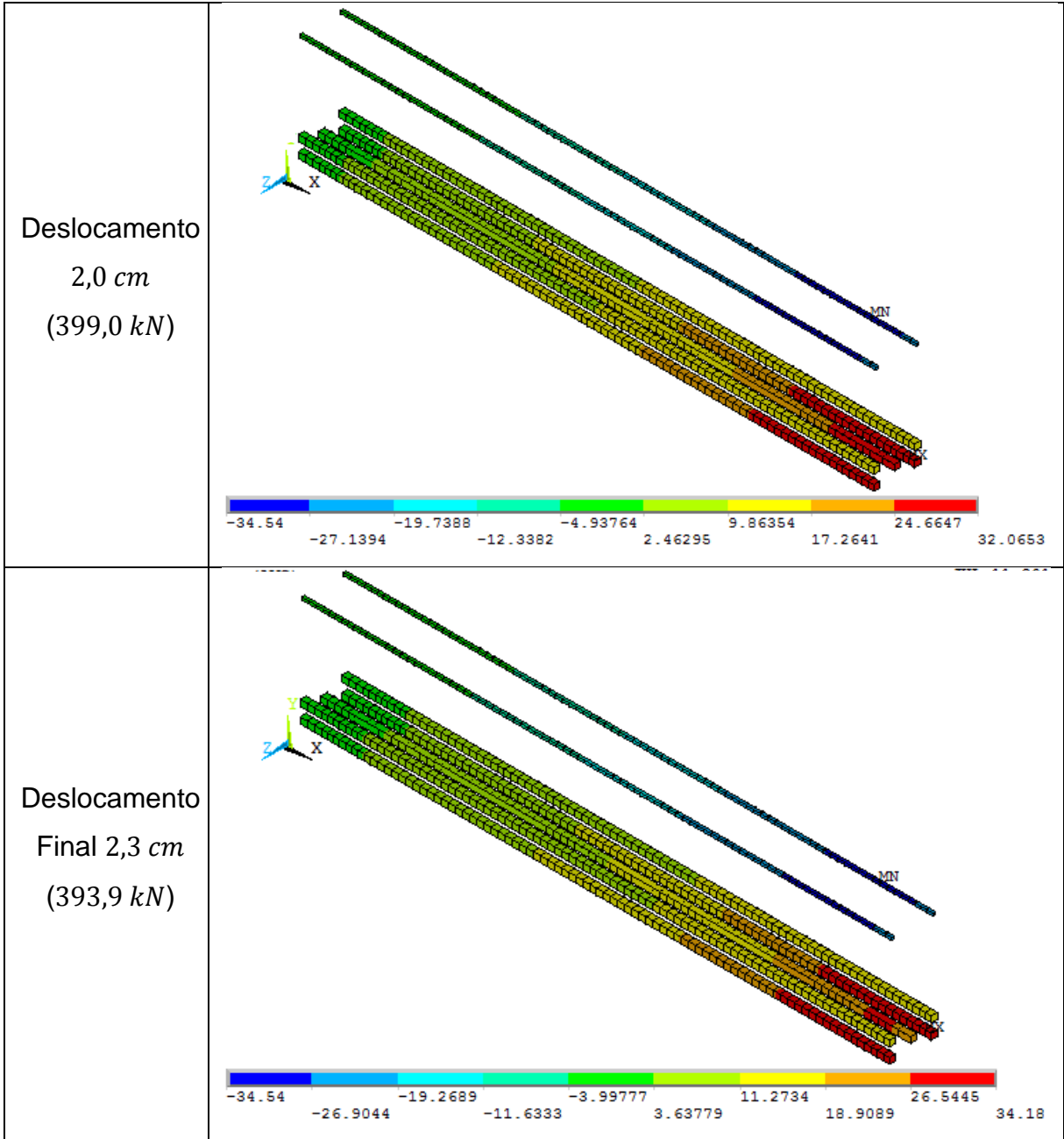
Continua

Continuação



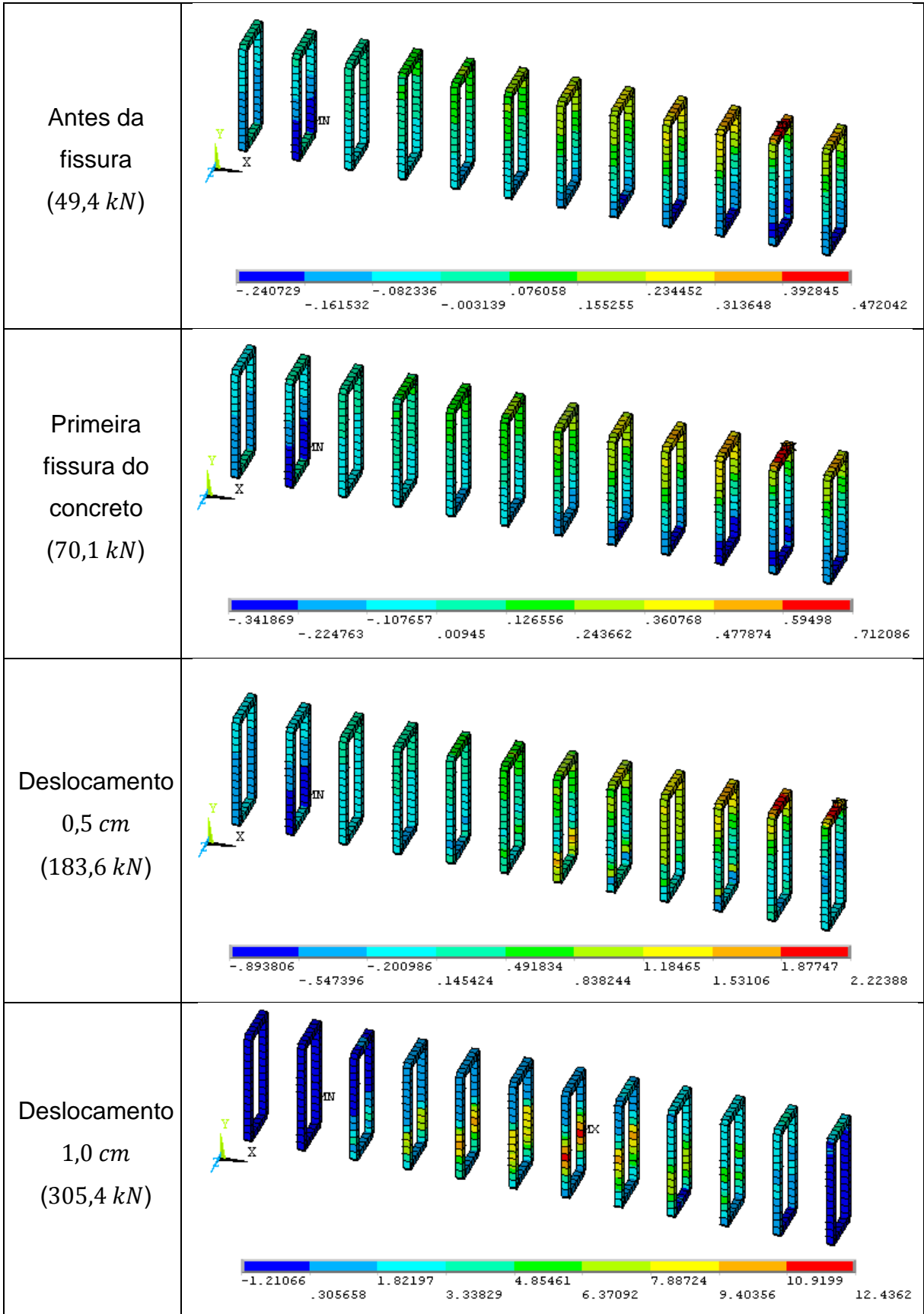
Continua

Continuação



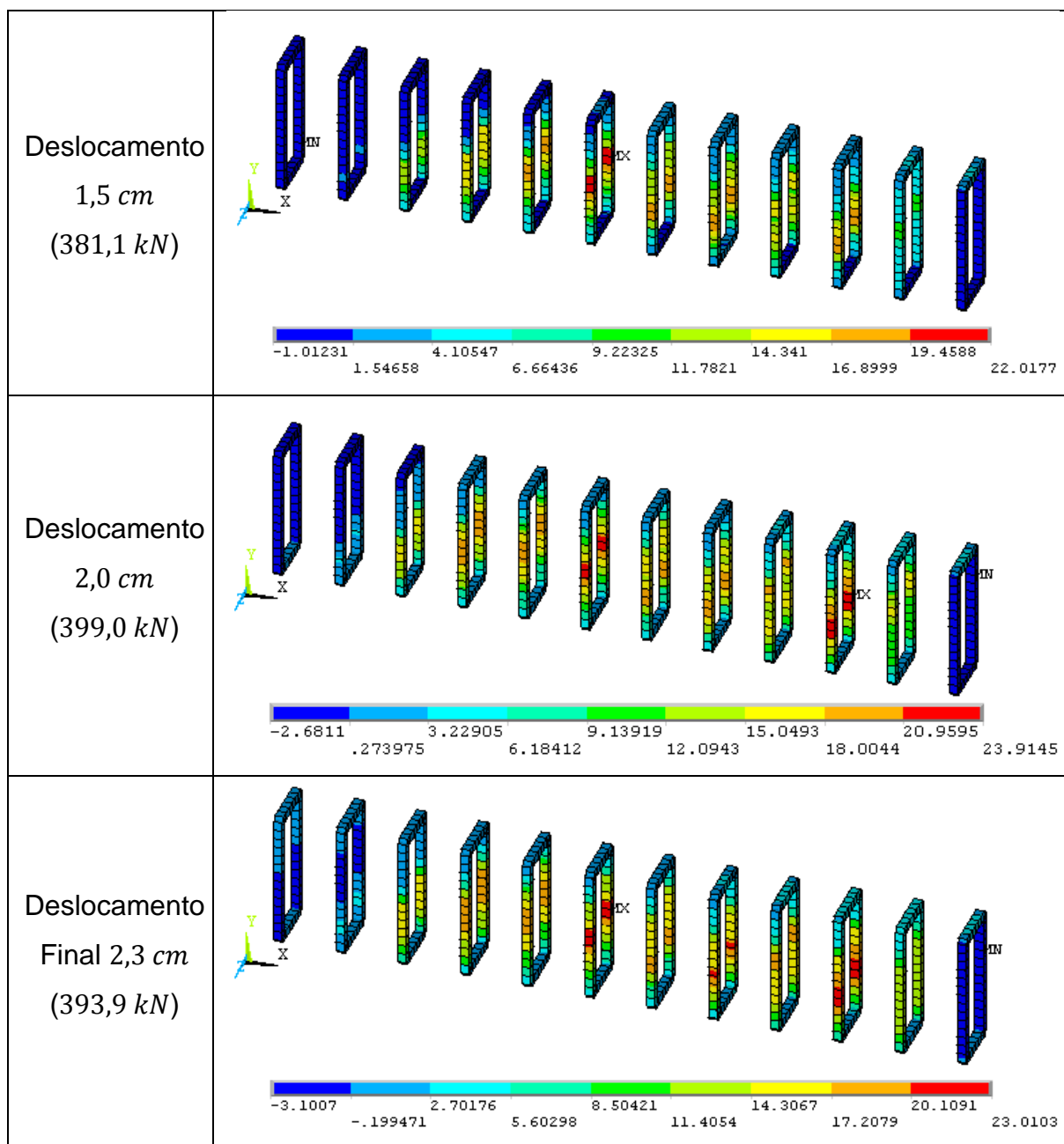
Fonte: Autor (2018)

Quadro 22 – Distribuição de tensões nos estribos viga A2 (kN/cm^2)



Continua

Continuação

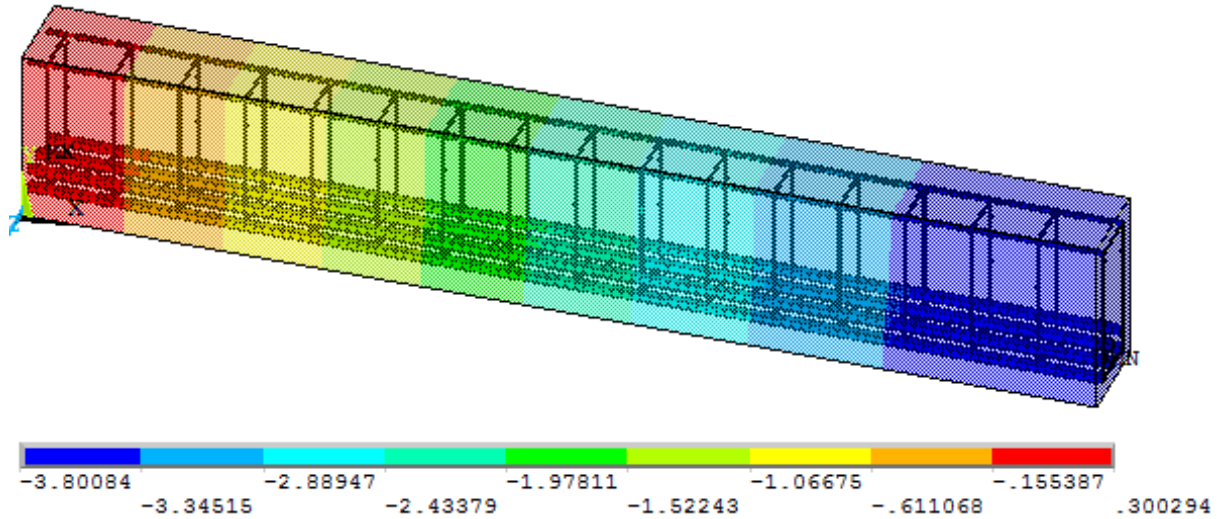


Fonte: Autor (2018)

No Quadro 21 a tensão no deslocamento final está presente na armadura principal da viga com $34,18 \text{ kN/cm}^2$, atingindo cerca de 62% da tensão de escoamento. Adiante é feita a análise dos estribos da viga A2. No Quadro 22, nota-se que a tensão nos estribos atinge $23,01 \text{ kN/cm}^2$, representando 70% da tensão de escoamento. Diferente da viga A1, na viga A2 a tensão nas barras inferiores e nos estribos, no deslocamento final, estão mais próximos proporcionalmente, tendo como

parâmetro a tensão de escoamento. Portanto, pode-se dizer que a viga A2 terá um rompimento por cisalhamento e flexão.

Figura 71 – Deslocamento vertical no modelo viga A3 (cm)



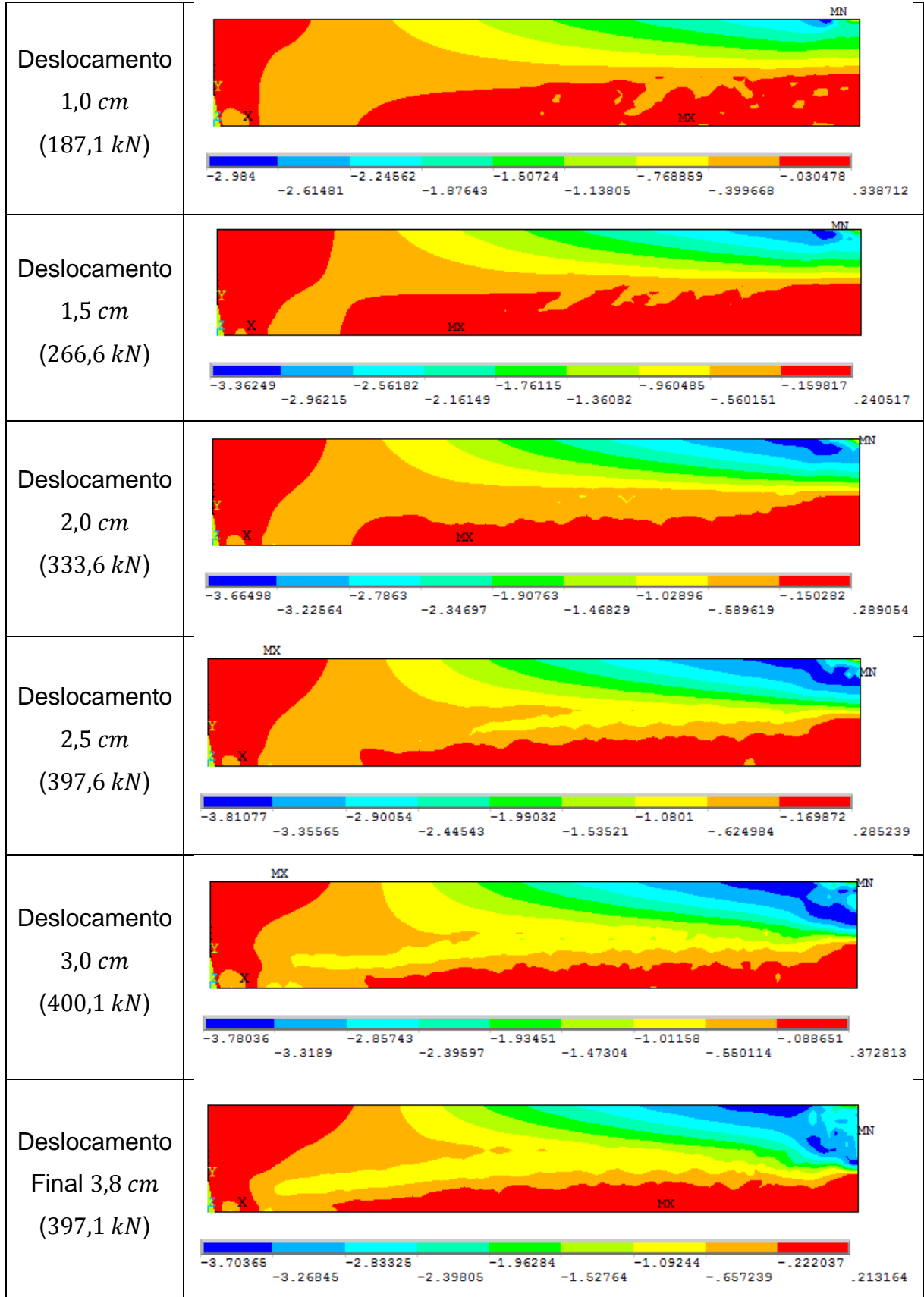
Fonte: Autor (2018)

Quadro 23 – Distribuição de tensões (σ_x) no concreto viga A3 (kN/cm^2)

<p>Antes da fissura (41,8 kN)</p>	<p>Color scale values: -1.850459, -.717837, -.585216, -.452595, -.319974, -.187352, -.054731, .07789, .210511, .343133.</p>
<p>Primeira fissura do concreto (59,0 kN)</p>	<p>Color scale values: -1.26886, -1.08316, -.897448, -.711741, -.526034, -.340326, -.154619, .031089, .216796, .402504.</p>
<p>Deslocamento 0,5 cm (111,4 kN)</p>	<p>Color scale values: -2.55219, -2.22874, -1.90529, -1.58184, -1.25839, -.934939, -.611489, -.288039, .035411, .358861.</p>

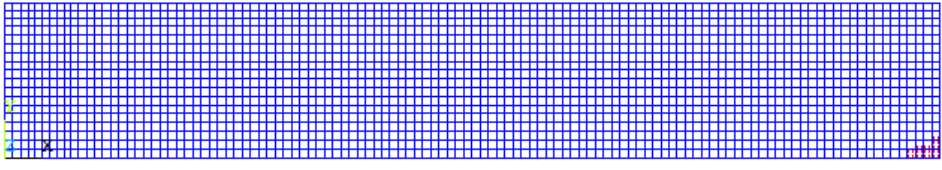
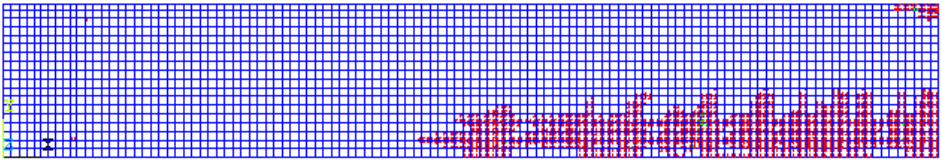
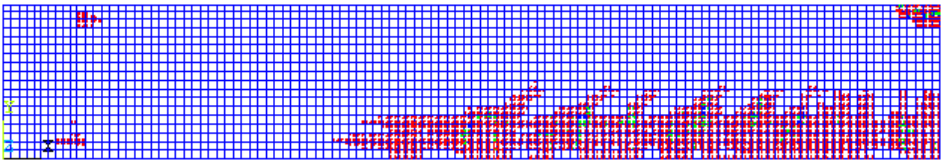
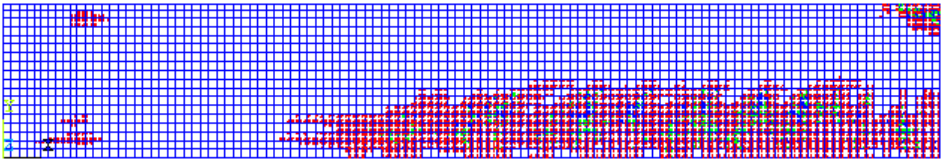
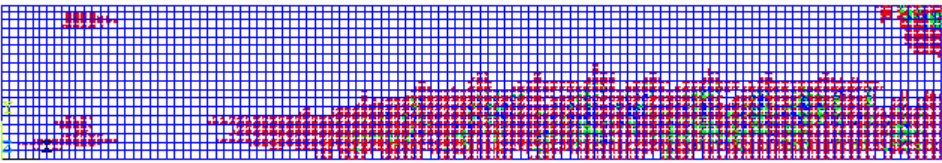
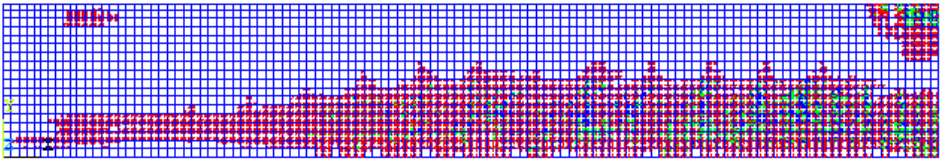
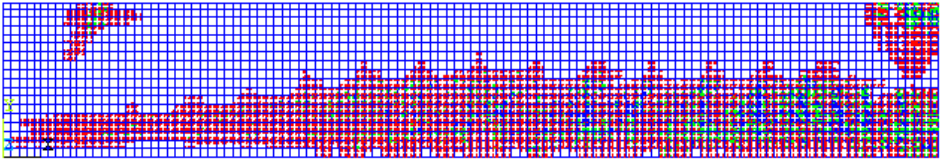
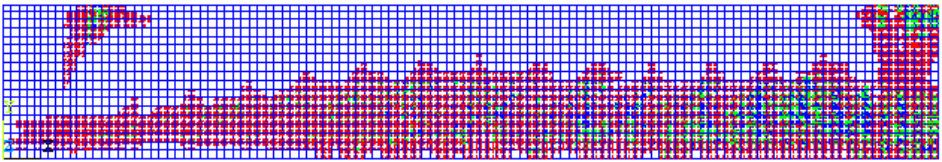
Continua

Continuação



Fonte: Autor (2018)

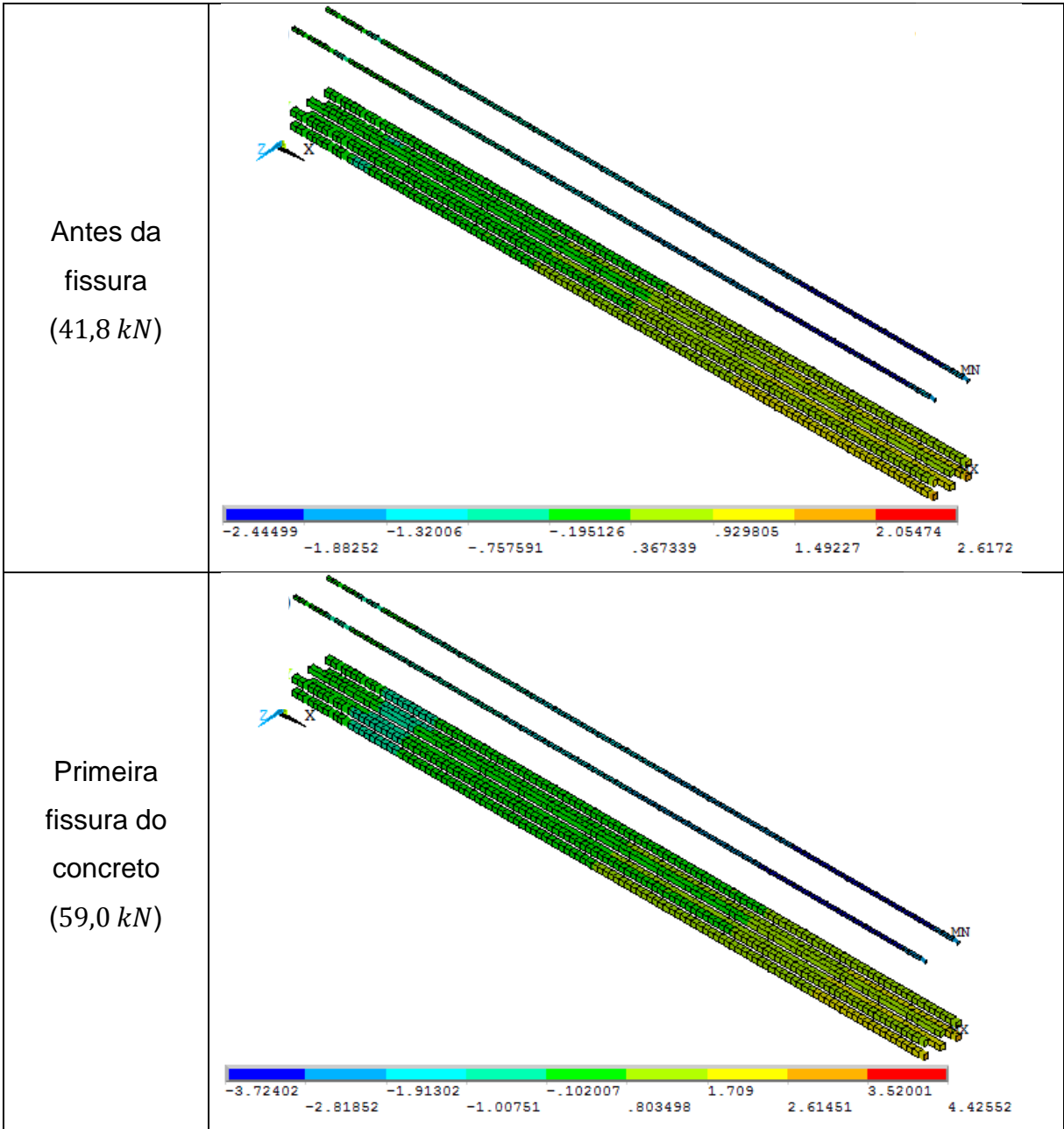
Quadro 24 – Diagrama de fissuras no concreto viga A3

Primeira fissura do concreto (59,0 kN)	
Deslocamento 0,5 cm (111,4 kN)	
Deslocamento 1,0 cm (187,1 kN)	
Deslocamento 1,5 cm (266,6 kN)	
Deslocamento 2,0 cm (333,6 kN)	
Deslocamento 2,5 cm (397,6 kN)	
Deslocamento 3,0 cm (400,1 kN)	
Deslocamento Final 3,8 cm (397,1 kN)	

Fonte: Autor (2018)

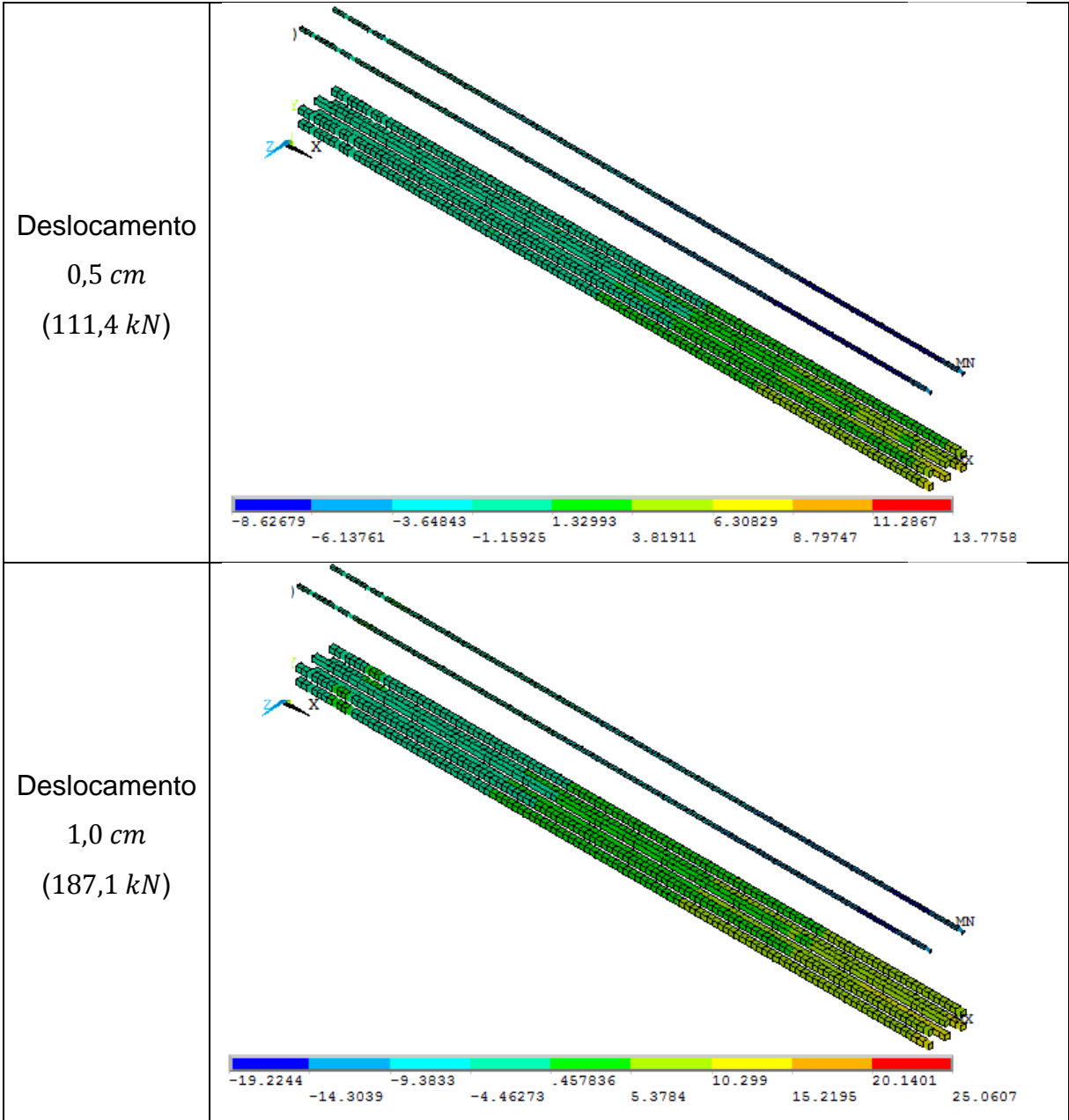
Percebe-se nos diagramas do Quadro 24, que as fissuras estão mais verticais, se comparado com os diagramas das vigas A1 e A2. Esse fato já pode indicar que o rompimento da viga A3 é dado por flexão.

Quadro 25 – Distribuição de tensões na armadura viga A3 (kN/cm^2)



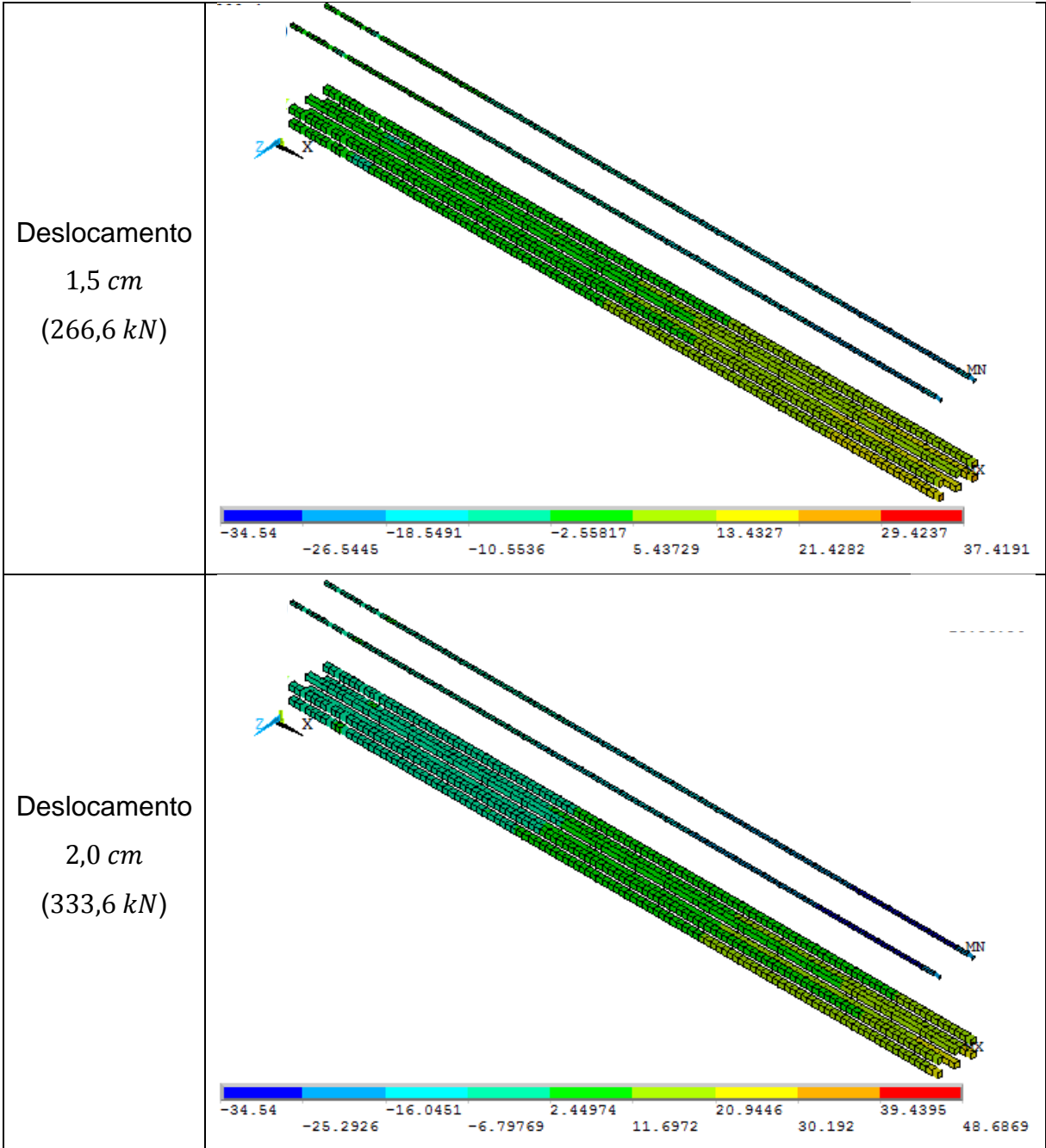
Continua

Continuação



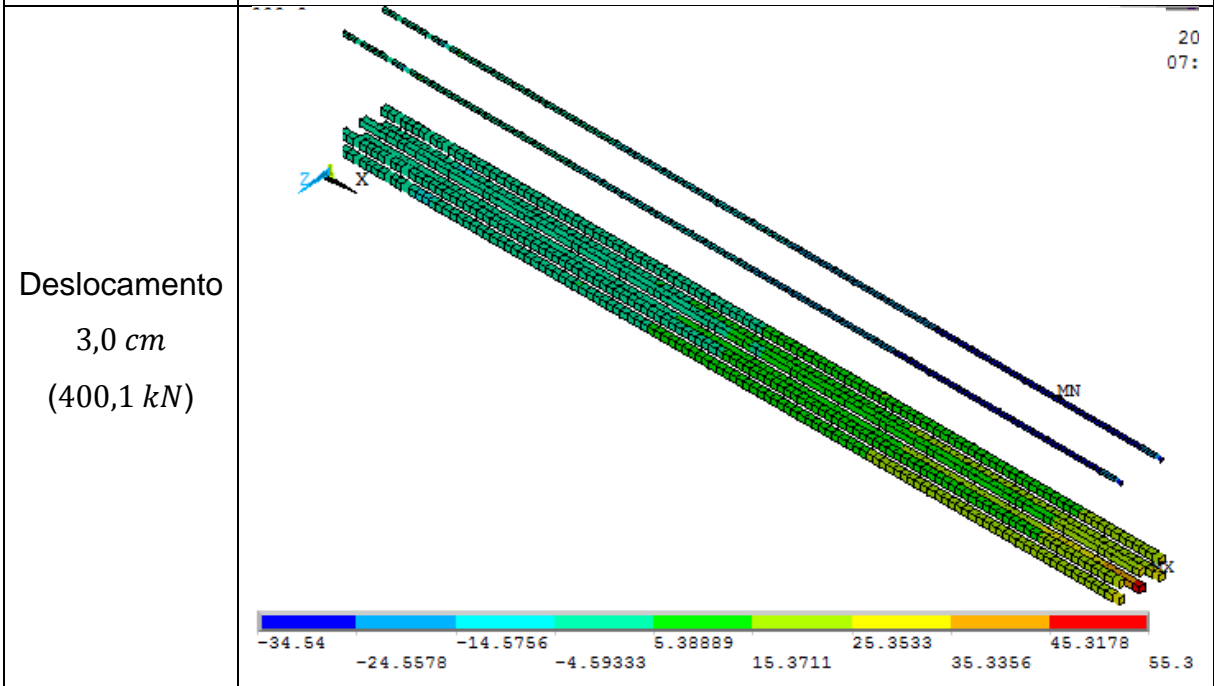
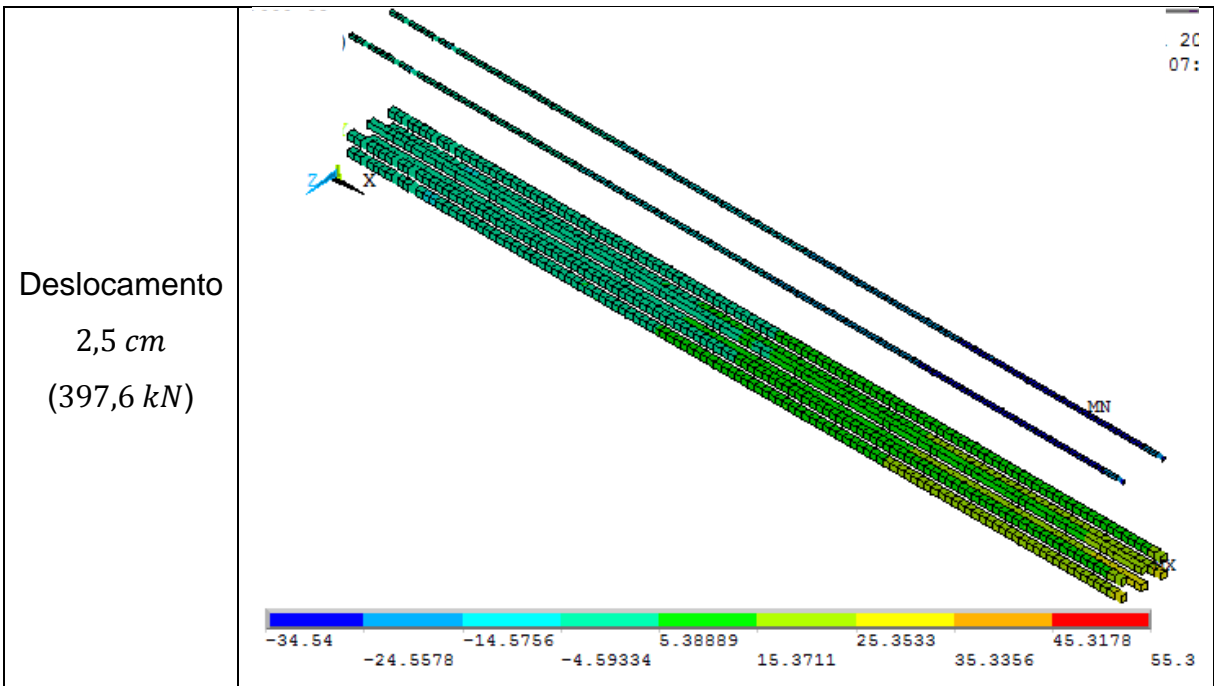
Continua

Continuação



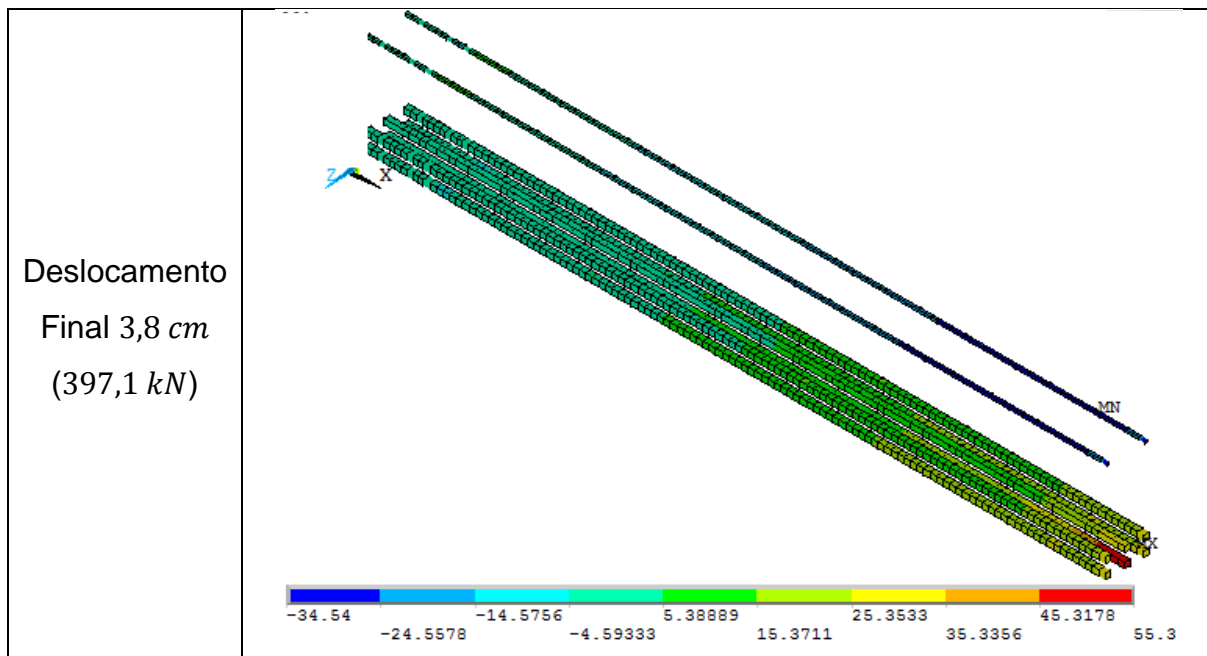
Continua

Continuação



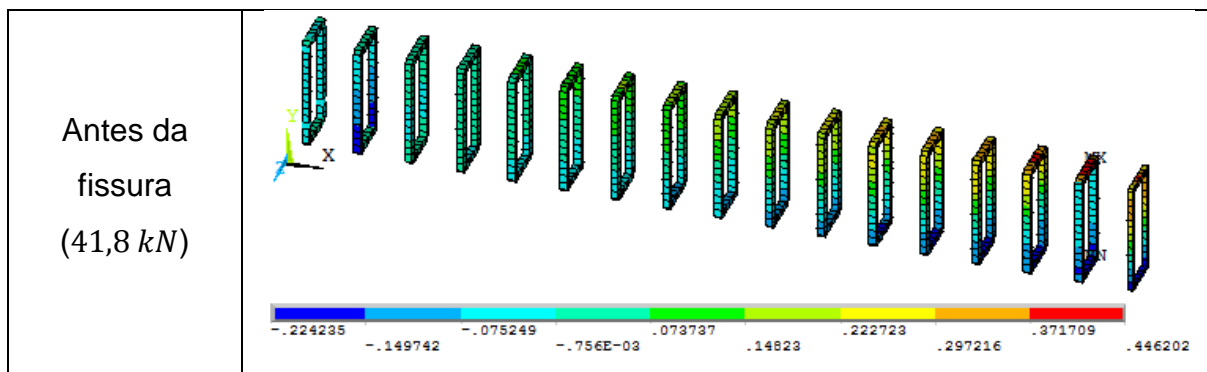
Continua

Continuação

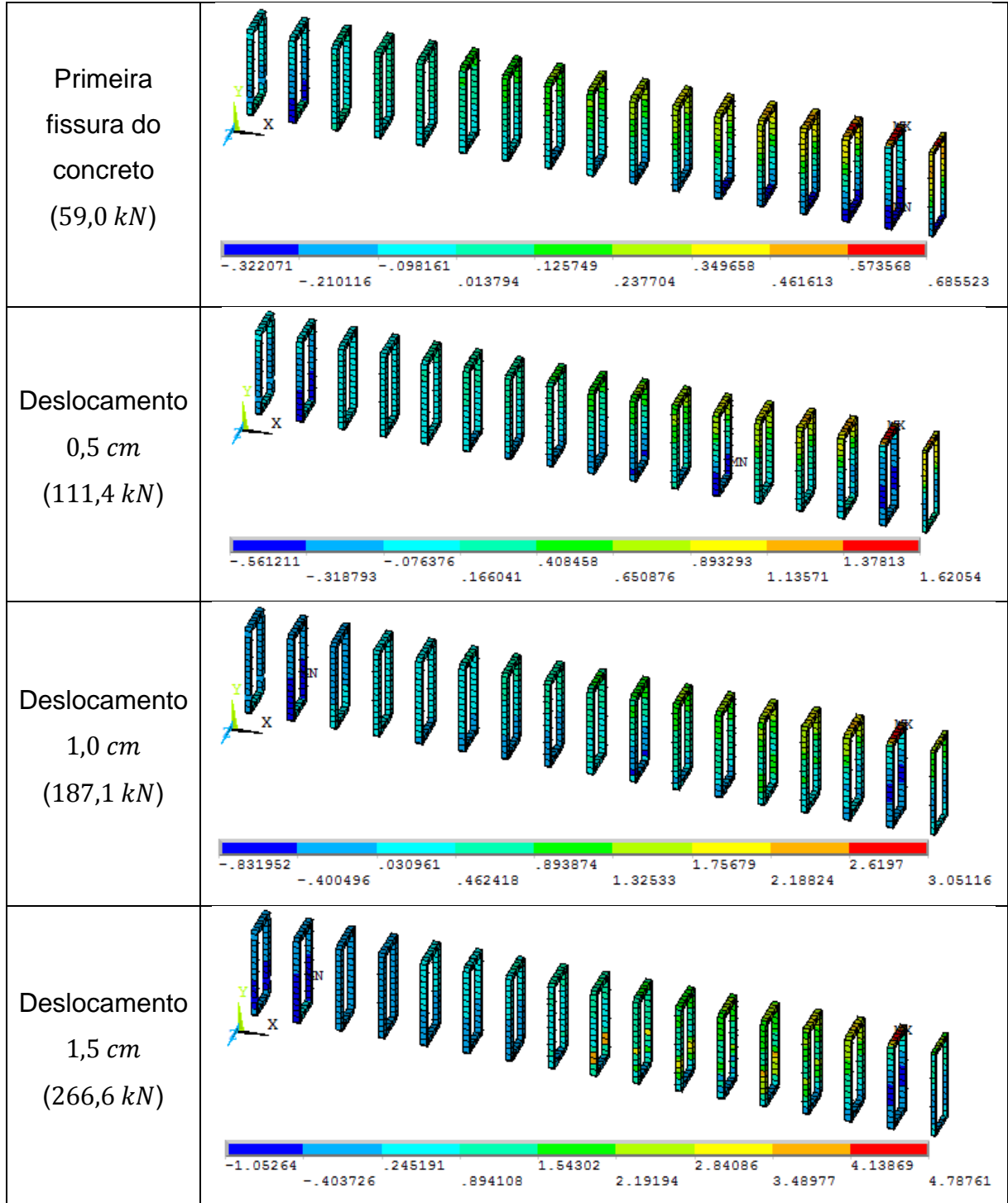


No Quadro 25, a tensão máxima está nas barras inferiores da armadura, e além disso, atingem a tensão de escoamento a partir do deslocamento de 2,0 cm, antes do deslocamento final. Percebe-se a diferença no comportamento da armadura quando os vãos dos modelos são aumentados, onde as barras inferiores são mais solicitadas frente ao deslocamento imposto.

Quadro 26 – Distribuição de tensões nos estribos viga A3 (kN/cm^2)

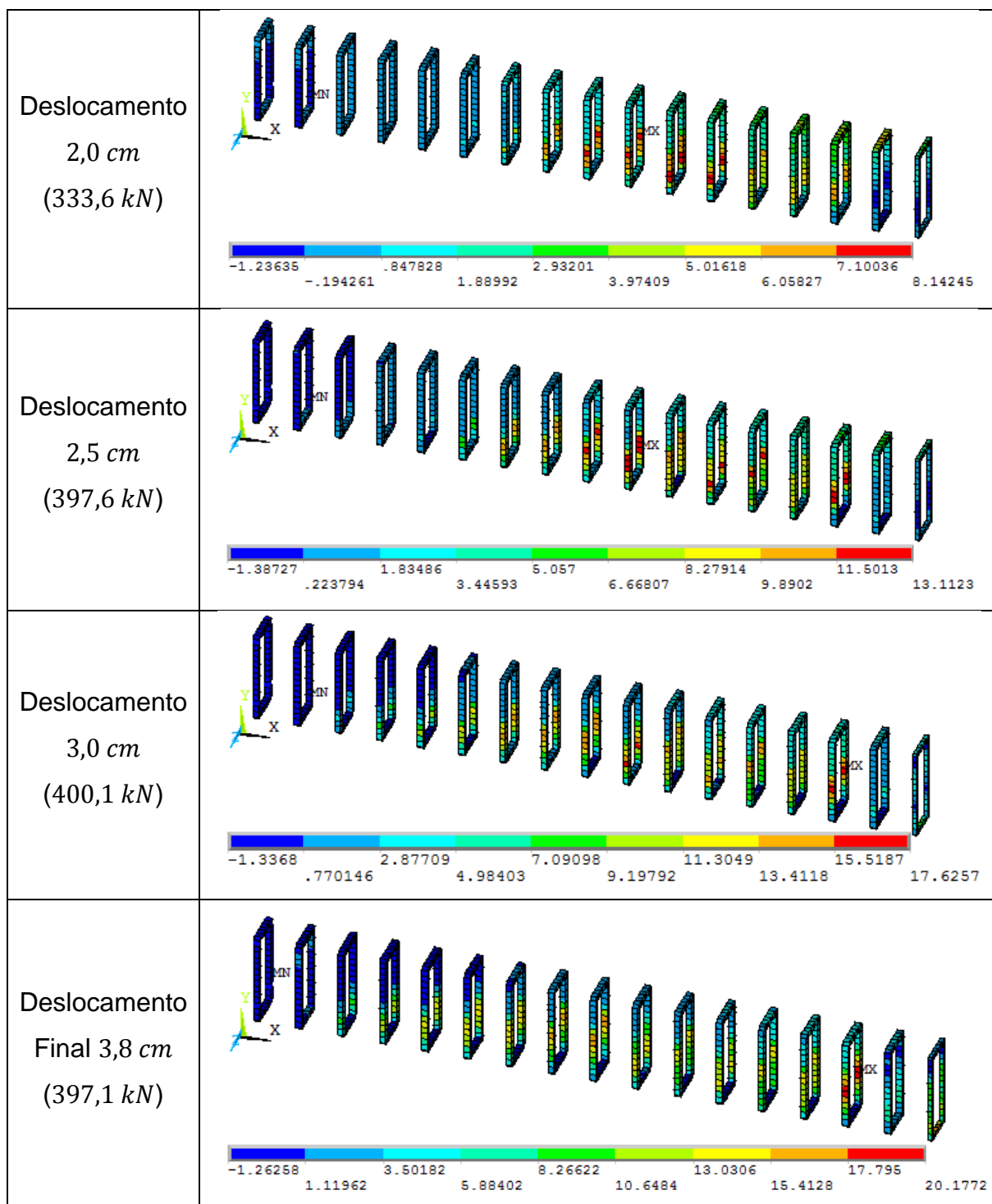


Continuação



Continua

Continuação



Fonte: Autor (2018)

No Quadro 26 é indicado que os estribos atingem $20,17 \text{ kN/cm}^2$, representando 62% da tensão de escoamento. Fica evidente que a viga A3 rompe por

flexão, tendo em vista que as barras inferiores atingiram a tensão de escoamento. Apesar de haver esforços cisalhantes, eles são menos intensos na viga A3, proporcionalmente.

6 CONCLUSÃO

Como proposto, este trabalho procurou mostrar a análise de vigas em concreto armado com a ajuda da ferramenta computacional ANSYS, através do método dos elementos finitos. Foram feitas as validações necessárias e gerados os resultados pertinentes à análise estrutural das vigas.

A viga V1_a foi a primeira a ser construída através do ANSYS APDL, onde foi demandado tempo para entender a linguagem de programação do *software* e resolver os problemas que foram surgindo. Apesar de ser a primeira viga desenvolvida pelo autor, a V1_a apresentou algumas anormalidades, como por exemplo os valores dos coeficientes de cisalhamento para fissuras fechada e aberta serem nulos. Outros trabalhos de simulação em vigas em concreto armado utilizado como referência, abordaram outros valores diferentes de 0. Outro fator observado, foi que o resultado não convergia com aplicação de incrementos de deslocamento ao invés de força, diferentemente dos trabalhos de referência que utilizam justamente o deslocamento, por alegarem melhor convergência. Tais fatos seguem na contramão de outros trabalhos de simulação numérica, como as próprias vigas A1, A2 e A3, que convergiram melhor com incrementos de deslocamento e os coeficientes de cisalhamento para fissura serem positivos.

A dificuldade de convergência na viga V1_a, fez com que fosse necessário também distribuir as aplicações de força e apoio através de vários nós, tendo que se criar vários elementos para cumprir a função. A soma desses fatores que não seguem o padrão de outros trabalhos de simulação numérica, fez com que se gerasse um aprendizado diferenciado, através de tentativas e erros até alcançar o resultado esperado.

Com a linguagem de programação do *software* dominada e com a experiência dos erros encontrados ao longo da construção da simulação da viga V1_a, as vigas A1, A2 e A3, foram rapidamente desenvolvidas, sem apresentar grandes problemas de convergência. Observou-se, também, que apesar dos dados utilizados para

alimentar o *software* tenham sido baseados nas expressões de normas e códigos, os resultados de validação das curvas de Força x Deslocamento apresentaram-se muito próximas ao modelo experimental.

Foi mostrado pelos resultados que vigas de concreto armado com grandes vãos, comparadas com vigas de menores vãos e mesma seção transversal, tendem a romper por flexão. As barras longitudinais inferiores da viga A3 por exemplo, atingiram a tensão de escoamento antes do deslocamento máximo imposto na viga. Nas vigas A1 e A2, as armaduras longitudinais nem chegaram a entrar em escoamento pela simulação. Houve maior solicitação dos estribos na viga A1 do que nas outras vigas, indicando que vigas de pequenos vãos estão sujeitas a romper por cisalhamento.

Os resultados obtidos da simulação demonstram que é possível obter respostas muito próximas aos modelos experimentais. Isso pode ser um fator decisivo, quando o tempo é um problema, tendo em vista que a cura do concreto leva 28 dias para se obter a resistência de cálculo. Também, dispensa uso de um espaço de laboratório, equipe e material de consumo para modelar vigas experimentais.

A simulação numérica foi feita através do Ansys APDL, que tem como vantagem, em relação ao WorkBench, a fácil parametrização e otimização de demanda de processos do computador. No APDL é possível mudar os dados no arquivo de texto, sem necessitar manusear a interface do *software*.

Uma outra grande vantagem da simulação numérica, é poder acompanhar resultados como a distribuição de tensões na peça ao longo dos incrementos de solicitação do modelo. É possível criar tantos passos quanto forem necessários, para acompanhar qualquer tipo de variação ao longo do ensaio.

Por ser o primeiro trabalho de conclusão de curso sobre simulação de vigas em concreto armado no campus da UFSC em Joinville, há muitas outras áreas a serem exploradas. Uma sugestão são outros elementos estruturais como pilares, estruturas de fundações, lajes que podem ser simuladas no *software* utilizando os mesmos elementos tipos. Outra sugestão é adição de novos materiais de reforço no modelo, como por exemplo chapas de fibra de carbono para auxiliar na resistência a flexão ou até mesmo fibras de carbono incorporados ao concreto. Outra opção para futuros trabalhos, é a implementação de um Macro, para otimizar ainda mais os processos de construção da simulação.

REFERÊNCIAS

ANSYS, Inc. **ANSYS Help Viwer** (Versão 18.2), 2018.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

AZEVEDO, Álvaro f. m. **Método dos elementos finitos**. Porto: Editado Pelo Autor, 2003.

AZEVEDO, Domingos Flávio. **Análise estrutural com ansys workbench**. Mogi das Cruzes: Editado pelo autor, 2016.

BARROS, Joaquim. **Materiais compósitos no reforço de estruturas**. 2004.

Disponível em:

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3140/1/JornadasCivil04_Barros_2004.pdf>. Acesso em 30 abr. 2017.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**: Notas de aula. Bauru: Editado pelo autor, 2006.

BEBER, Andriei José. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono**. 2003. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

BRESLER, b.; SCORDELIS, a.c. **Shear strength reinforced concrete beams**. ACI Journal, v. 60, n. 1, p. 51-72. Detroit: Editado pelo Autor, 1963.

CALLISTER, Willian d. **Materials science and engineering**: An introduction. 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2007.

COSSOLINO, Leiliane Cristina; PEREIRA, Antônio Henrique Alves. **Módulos elásticos**: visão geral e métodos de caracterização. Ribeirão Preto, disponível online em <<http://www.atcp.com.br/pt/produtos/caracterizacao-materiais.html>>.

DAHMANI, I.; KHENNANE, a.; KACI, s. **Crack identification in reinforced concrete beams using ANSYS software**. Strength of materials, v. 42, n. 2, p. 232-240, 2010.

FERREIRA, Débora Rodrigues de Sousa Macanjo. **PILARES DE BETÃO ARMADO REFORÇADOS COM LAMINADOS DE FIBRAS DE CARBONO**. 2000. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. Minho, 2000.

FREITAS JUNIOR, José de Almendra. **Materiais de Construção I: AÇOS PARA CONCRETO**. Curitiba: Editado pelo autor, 2016.

FIB, Fédération Internationale Du Béton. **Model code 2010**: first complete draft. Lausanne: Dcc, 2010.

HOLLAWAY, L. C. **Polymer composites for civil and structural engineering**. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1993.

IBRAHIM, Amer m.; MAHMOOD, Mohammed Sh. **Finite element modeling of reinforced concrete beams strengthened with FRP laminates**. European Journal of Scientific Research, v. 30, n. 4, p. 526-541, 2009.

JONES, Robert m. **Mechanics of composite materials**. 2. ed. Philadelphia: Taylor & Francis, 1999.

JUVANDES, Luís Filipe Pereira. **REFORÇO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO USANDO MATERIAIS COMPÓSITOS DE "CFRP"**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 1999.

MACHADO, Ari de Paula. **Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. Caçapava: Viapol, 2010.

MCCORMAC, Jack c.; BROWN, Russel h. **Design of reinforced concrete**. 9. ed. Hoboken: Wiley, 2013.

NAVY, Edward g. **Reinforced concrete: a fundamental approach**. 6. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008.

NEVILLE, Adam m. **Properties of concrete**. 5. ed. Londres: Pearson Education Limited, 2011.

PADMARAJAIAH, S. K.; RAMASWAMY, Ananth. **A Finite Element Assessment of Flexural Strength of Prestressed Concrete Beams With Fiber Reinforcement**. Cement & Concrete Composites. Bangalore, p. 230-241. abr. 2002.

RU-DENG, L. U. O. **Values of shear transfer coefficients of concrete element Solid65 in Ansys**. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), v. 2, p. 018, 2008.

WIGHT, James k.; MACGREGOR, James g. **Reinforced concrete: mechanics and design**. 6. ed. New Jersey: Pearson Education, 2012.

Willam, k. j. and e. p. Warnke. **"Constitutive Models for the Triaxial Behavior of Concrete."** Seminar on Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses. International Association for Bridge and Structural Engineering. 19 (1975): 1-30

APÉNDICE A – *SCRIPTS* ANSYS APDL 18.2

A.1) VIGA V1_A

```

!
*****
! Programador: Bruno Galardinovic Rampinelli
! Data: 10/06/2018
! Nome arquivo: v1_a
! unidades: cm, kN
!*****
/NOPR ! Suppress printing of UNDO process
/PMACRO ! Echo following commands to log
FINISH ! Make sure we are at BEGIN level
/CLEAR,NOSTART ! Clear model since no SAVE found
! WE SUGGEST YOU REMOVE THIS LINE AND THE FOLLOWING STARTUP LINES
/PMETH,OFF,0 !ACTIVATES THE p-METHOD SOLUTION OPTIONS IN THE GUI
/TITLE, VIGA DE CONTROLE BEBER
!
WPSTYLE,,,,,,,,,0
/RGB,INDEX,100,100,100, 0
/RGB,INDEX, 80, 80, 80,13
/RGB,INDEX, 60, 60, 60,14
/RGB,INDEX, 0, 0, 0,15
/REPLOT
!
! -----
! DEFINIR TIPO DE ANALISE
! -----
!
! Caminho: Preferences> Structural> OK
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!
! -----
! DEFINIR ELEMENTOS
! -----
/PREP7
!*
ET,1,65
!*

```

```

ET,2,180
!*
ET,3,180
!*
KEYOPT,3,2,1
KEYOPT,3,12,0
!*
!
!*
! -----
! PROPRIEDADES DOS MATERIAIS
! -----
!
! -----
! MATERIAL 1: CONCRETO
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,3833.34
MPDATA,PRXY,1,,.2
!
! NONLINEAR>ELASTIC>MULTILINEAR ELASTIC
!
! DADOS DO EXCEL MANIPUALDOS NO BLOCO DE NOTAS
!
TB,MELA,1,1,35,0
TBTEMP,0
TBPT,,0,0
TBPT,,0.0001,0.327439013
TBPT,,0.0002,0.635311355
TBPT,,0.0003,0.92405427
TBPT,,0.0004,1.194092069
TBPT,,0.0005,1.44583661
TBPT,,0.0006,1.679687744
TBPT,,0.0007,1.896033755
TBPT,,0.0008,2.095251774
TBPT,,0.0009,2.277708174
TBPT,,0.001,2.443758955
TBPT,,0.0011,2.593750105
TBPT,,0.0012,2.728017951
TBPT,,0.0013,2.846889494
!...
TBPT,,0.0014,2.950682731
TBPT,,0.0015,3.03970696
TBPT,,0.0016,3.114263077
TBPT,,0.0017,3.174643861

```



```

TBPT,,0.0018,3.221134243
TBPT,,0.0019,3.254011568
TBPT,,0.002,3.273545848
TBPT,,0.0021,3.28
TBPT,,0.0022,3.273630078
TBPT,,0.0023,3.254685498
TBPT,,0.0024,3.223409248
TBPT,,0.0025,3.180038095
TBPT,,0.0026,3.124802786
TBPT,,0.0027,3.057928233
TBPT,,0.0028,2.9796337
TBPT,,0.0029,2.890132977
TBPT,,0.003,2.789634551
TBPT,,0.0031,2.678341771
TBPT,,0.0032,2.556453001
TBPT,,0.0033,2.424161774
TBPT,,0.0034,2.281656941
TBPT,,0.0035,2.129122807
!
! NONLINEAR>INELASTIC>NON-METAL PLASTICITY>CONCRETE
!
TB,CONC,1,1,9,
TBTEMP,0
TBDATA,,0,0,.29,-1,,
TBDATA,,,,,,,,
!
! DENSIDADE
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,1,,2.42e-8
!
!
! -----
! MATERIAL 2: ARMADURA INFERIOR (CA-50; 12,5mm)
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,21000
MPDATA,PRXY,2,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,2,1,2,
TBTEMP,0

```

```

TBDATA,,70.65,,,,,
!
!
! -----
! MATERIAL 3: ARMADURA SUPERIOR E ESTRIBOS (CA-50; 6,3mm)
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,3,,21000
MPDATA,PRXY,3,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,3,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,58.71,,,,,
!
! -----
! MATERIAL 4: APOIOS E PONTOS DE CARGA
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,4,,50000
MPDATA,PRXY,4,,.3
!
! -----
! GEOMETRIA
! -----
!
! -----
! VOLUME: CONCRETO
! -----
!
!Preprocessor>Modeling>Volume>By Dimensions
!
BLOCK,0,1.5,0,30,0,-7.5,
BLOCK,1.5,6.5,0,30,0,-7.5,
BLOCK,6.5,146.5,0,30,0,-7.5,
BLOCK,146.5,150,0,30,0,-7.5,
!
! -----

```

! APOIOS E CARGAS

! -----

!

!APOIOS

!

!Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active CS

!

K,1100,23.5,-5,-.75
 K,1200,23.5,-5,-2.25
 K,1300,23.5,-5,-3.75
 K,1400,23.5,-5,-5.25
 K,1500,23.5,-5,-6.76

!...

K,1110,21.9,0,0
 K,1210,21.9,0,-1.5
 K,1310,21.9,0,-3
 K,1410,21.9,0,-4.5
 K,1510,21.9,0,-6
 K,1610,21.9,0,-7.5
 K,1120,23.3,0,0
 K,1220,23.3,0,-1.5
 K,1320,23.3,0,-3
 K,1420,23.3,0,-4.5
 K,1520,23.3,0,-6
 K,1620,23.3,0,-7.5
 K,1130,24.7,0,0
 K,1230,24.7,0,-1.5
 K,1330,24.7,0,-3
 K,1430,24.7,0,-4.5
 K,1530,24.7,0,-6
 K,1630,24.7,0,-7.5

!

!LIGA OS PONTOS

!

!Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Straight Line

!

LSTR,1100,1110
 LSTR,1100,1120
 LSTR,1100,1130
 LSTR,1100,1210
 LSTR,1100,1220
 LSTR,1100,1230
 !...
 LSTR,1200,1210
 LSTR,1200,1220
 LSTR,1200,1230
 LSTR,1200,1310
 LSTR,1200,1320
 LSTR,1200,1330

LSTR,1300,1310
LSTR,1300,1320
LSTR,1300,1330
LSTR,1300,1410
LSTR,1300,1420
LSTR,1300,1430
LSTR,1400,1410
LSTR,1400,1420
LSTR,1400,1430
LSTR,1400,1510
LSTR,1400,1520
LSTR,1400,1530
LSTR,1500,1510
LSTR,1500,1520
LSTR,1500,1530
LSTR,1500,1610
LSTR,1500,1620
LSTR,1500,1630

!

!CARGA

!

K,2100,107.85,35,-.75
K,2200,107.85,35,-2.25
K,2300,107.85,35,-3.75
K,2400,107.85,35,-5.25
K,2500,107.85,35,-6.75
K,2110,107.3,30,0
K,2210,107.3,30,-1.5
K,2310,107.3,30,-3
K,2410,107.3,30,-4.5
K,2510,107.3,30,-6
K,2610,107.3,30,-7.5
K,2120,108.7,30,0
K,2220,108.7,30,-1.5
K,2320,108.7,30,-3
K,2420,108.7,30,-4.5
K,2520,108.7,30,-6
K,2620,108.7,30,-7.5
K,2130,110.1,30,0
K,2230,110.1,30,-1.5
K,2330,110.1,30,-3
K,2430,110.1,30,-4.5
K,2530,110.1,30,-6
K,2630,110.1,30,-7.5
K,2140,105.9,30,0
K,2240,105.9,30,-1.5
K,2340,105.9,30,-3
K,2440,105.9,30,-4.5
K,2540,105.9,30,-6

K, 2640, 105.9, 30, -7.5

!

! LIGA OS PONTOS

!

LSTR, 2100, 2110

LSTR, 2100, 2120

LSTR, 2100, 2130

LSTR, 2100, 2140

LSTR, 2100, 2210

LSTR, 2100, 2220

LSTR, 2100, 2230

LSTR, 2100, 2240

LSTR, 2200, 2210

LSTR, 2200, 2220

LSTR, 2200, 2230

LSTR, 2200, 2240

LSTR, 2200, 2310

LSTR, 2200, 2320

LSTR, 2200, 2330

LSTR, 2200, 2340

LSTR, 2300, 2310

LSTR, 2300, 2320

LSTR, 2300, 2330

LSTR, 2300, 2340

LSTR, 2300, 2410

LSTR, 2300, 2420

LSTR, 2300, 2430

LSTR, 2300, 2440

LSTR, 2400, 2410

LSTR, 2400, 2420

LSTR, 2400, 2430

LSTR, 2400, 2440

LSTR, 2400, 2510

LSTR, 2400, 2520

LSTR, 2400, 2530

LSTR, 2400, 2540

LSTR, 2500, 2510

LSTR, 2500, 2520

LSTR, 2500, 2530

LSTR, 2500, 2540

LSTR, 2500, 2610

LSTR, 2500, 2620

LSTR, 2500, 2630

LSTR, 2500, 2640

!

! -----

! ARMADURA LONGITUDINAL INFERIOR

! -----

!

K,3100,1.5,1.5,-1.5

K,3200,6.5,1.5,-1.5

K,3300,146.5,1.5,-1.5

K,3400,150,1.5,-1.5

!

! CRIA AS LINHAS LIGANDO OS PONTOS CRIADOS

!

LSTR,3100,3200

LSTR,3200,3300

LSTR,3300,3400

!

! -----

! ARMADURA LONGITUDINAL SUPERIOR

! -----

!

K,4100,1.5,28.5,-1.5

K,4200,6.5,28.5,-1.5

K,4300,146.5,28.5,-1.5

K,4400,150,28.5,-1.5

!

LSTR,4100,4200

LSTR,4200,4300

LSTR,4300,4400

!

! -----

! ARMADURA TRANSVERSAL - ESTRIBOS

! -----

!

! CRIA OS PONTOS INICIAIS DO PRIMEIRO ESTRIBO

!

K,5100,6.5,1.5,-7.5

K,5200,6.5,1.5,-1.5

K,5300,6.5,28.5,-1.5

K,5400,6.5,28.5,-7.5

!

! CRIA AS LINHAS LIGANDO OS PONTOS CRIADOS

!

LSTR,5100,5200

LSTR,5200,5300

LSTR,5300,5400

!

! COPIA AS LINHAS 21 VEZES ESPAÇADAS EM 7cm

!

FLST,3,3,4,ORDE,2

FITEM,3,125

FITEM,3,-127

LGEN,21,P51X, , ,7, , , ,0

!

! -----

```

! DEFINIÇÃO DA SEÇÃO
! -----
!
!Preprocessor>Sections>Link>Add
!
SECTYPE,2,LINK, ,2
SECDATA,1.227,
SECCONTROL,0,0
!
!ARMADURA SUPERIOR E ESTRIBOS (6.3mm, 0.312cm2)
!
SECTYPE,3,LINK, ,3
SECDATA,.312,
SECCONTROL,0,0
!
!BARRAS DE APOIO
!
SECTYPE,4,LINK, ,4
SECDATA,.1,
SECCONTROL,0,0
!
SECTYPE, 5, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,.5,.5,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
!
! -----
! MESH
! -----
! -----
! CONCRETO
! -----
!
LPLOT
/VIEW,1,1,1,1
/ANG,1
/REP,FAST
!
TYPE, 1
MAT, 1
REAL, 1
ESYS, 0
SECNUM, ,
!*
!DIVIDIR AS LINHAS DO EIXO Y E Z DO CONCRETO EM PARTES DE 1.5cm
!
/REPLOT,RESIZE
!
FLST,5,32,4,ORDE,32

```

```

FITEM,5,1
FITEM,5,3
FITEM,5,6
FITEM,5,8
FITEM,5,9
!...
FITEM,5,10
FITEM,5,11
FITEM,5,12
FITEM,5,13
FITEM,5,15
FITEM,5,18
FITEM,5,20
FITEM,5,21
FITEM,5,22
FITEM,5,23
FITEM,5,24
FITEM,5,25
FITEM,5,27
FITEM,5,30
FITEM,5,32
FITEM,5,33
FITEM,5,34
FITEM,5,35
FITEM,5,36
FITEM,5,37
FITEM,5,39
FITEM,5,42
FITEM,5,44
FITEM,5,45
FITEM,5,46
FITEM,5,47
FITEM,5,48
!
! Preprocessor>Meshing>Size Cntrl>
! ManualSize>Lines>Picked Lines>Pick All
!
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL, ,_Y
!*
LESIZE,_Y1,1.5, , , , , ,1
!*
!
!DIVIDIR AS LINHAS EM X, DEPENDENDO DA GEOMETRIA
!
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,2

```



```

FITEM,5,4
FITEM,5,-5
FITEM,5,7
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,1.5, , , , , ,1
!
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,14
FITEM,5,16
FITEM,5,-17
FITEM,5,19
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,3, , , , ,1
!
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,26
FITEM,5,28
FITEM,5,-29
FITEM,5,31
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,1.4, , , , , ,1
!
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,38
FITEM,5,40
FITEM,5,-41
FITEM,5,43
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,3, , , , ,1
!
!
!MESH HEX E MAPPED
!
```

```

MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
!*
FLST,5,4,6,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,-4
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!
! -----
! APOIOS E CARGAS
! -----
!
!DIVIDIR AS LINHAS EM 3 PARTES
!
FLST,5,100,4,ORDE,2
FITEM,5,49
FITEM,5,-118
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,1, , , , ,1
!
!MESH
!
TYPE, 3
MAT, 3
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 4
!*
FLST,2,100,4,ORDE,2
FITEM,2,49
FITEM,2,-118
LMESH,P51X
!
!*
!
```

```

! -----
! ARMADURA LONGITUDINAL
! -----
!
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,119
FITEM,5,122
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,3, , , , ,1
!
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,120
FITEM,5,123
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,1.4, , , , , , ,
!
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,121
FITEM,5,124
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,3, , , , ,
!
! MESH BARRAS INFERIORES
!
TYPE, 2
MAT, 2
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 2
!*
FLST,2,3,4,ORDE,2
FITEM,2,119
FITEM,2,-121
LMESH,P51X
!
!MESH BARRAS SUPERIORES
!

```

```

TYPE, 2
MAT, 3
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 3
!*
FLST,2,3,4,ORDE,2
FITEM,2,122
FITEM,2,-124
LMESH,P51X
!
! -----
! ESTRIBOS
! -----
!
FLST,5,63,4,ORDE,2
FITEM,5,125
FITEM,5,-187
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,1.5, , , , , ,1
!
TYPE, 2
MAT, 3
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 3
!*
FLST,2,63,4,ORDE,2
FITEM,2,125
FITEM,2,-187
LMESH,P51X
!
! MERGIR OS NÓS
!
NUMMRG,NODE, , , ,LOW
NUMCMP,NODE
!
! -----
! RESTRIÇÕES DE MOVIMENTO
! -----
!
!Solution>Define Loads>Apply>Structural
DA,1,UZ,
DA,7,UZ,

```

```

DA,13,UZ,
DA,19,UZ,
DA,24,UX,
NSEL,S,LOC,Y,-6,36
NSEL,R,LOC,Z,-7.4,-7.6
D,ALL,UZ
NSEL,S,LOC,Y,-5
D,ALL,UY
ALLSEL,ALL
!*
! -----
!   ETAPAS DE CARREGAMENTO
! -----
!
! -----
!   PESO PRÓPRIO
! -----
!
/SOL
!*
ALLSEL,ALL
!*ACEL,0,0,0,
ACEL,0,981,0,
!
ANTYPE,0
solcontrol,on
!
!USE AUTOMATIC TIME STEPPING (DEFAULT):
!
autots,on
!*
!STES CONVERGENCE VALUES FOR NONLINEAR ANALYSES:
!
CNVTOL,F, ,0.1,2, ,
CNVTOL,U, ,0.1,2, ,
!*
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!
NSUBST,1,1000,1
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
!
!SETS THE KEY TO TERMINATE AN ANALYSIS
!TERMINA, MAS NÃO SAI DO PROGRAMA
!
NCNV,2,0,0,0,0
!
!SPECIFIES THE MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM

```

```

!ITERATIONS FOR NONLINEAR ANALYSES
!
NEQIT,100
!
!CONTROLS FILE WRITING FOR MULTIFRAME RESTART.
!ESCREVE A CADA SUBSTEP
!
RESCONTRL,DEFINE,ALL,1,1
!
!TEMPO DA ANÁLISE
!
time,1000
LSWRITE,1,
!
! -----
!   1 ETAPA
! -----
!
!APLICANDO DESLOCAMENTO DE 1cm NO APOIO DA CARGA!
!
NSEL,S,LOC,Y,35
NSEL,R,LOC,X,107.85
F,ALL,FY,-6
ALLSEL
!*
FLST,4,10700,2,ORDE,2
FITEM,4,1
FITEM,4,-10700
/TRLCY,ELEM,0.5,P51X
ALLSEL,ALL
/SHRINK,0
/ESHAPE,1
/EFACET,1
/RATIO,1,1,1
/CFORMAT,32,0
/VIEW,1,1,1,1
/ANG,1
/REPLOT
!*
!
ANTYPE,0
solcontrol,on
!
!USE AUTOMATIC TIME STEPPING (DEFAULT):
!
autots,on
!*
!STES CONVERGENCE VALUES FOR NONLINEAR ANALYSES:
!

```

```
CNVTOL,F, ,0.4,2, ,
CNVTOL,U, ,0.4,2, ,
!*
!Solution>Analysis Type>Sol'n Controls
!
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!
NSUBST,100,1000,100
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
!
!SETS THE KEY TO TERMINATE AN ANALYSIS
!TERMINA, MAS NÃO SAI DO PROGRAMA
!
NCNV,2,0,0,0,0
!
!SPECIFIES THE MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM
!ITERATIONS FOR NONLINEAR ANALYSES
!
NEQIT,100
!
!CONTROLS FILE WRITING FOR MULTIFRAME RESTART.
!ESCREVE A CADA SUBSTEP
!
RESCONTRL,DEFINE,ALL,1,1
!
!TEMPO DA ANÁLISE
!
time,1000
LSWRITE,2,
!
!
FINISH
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE
/GO
FINISH
/POST1
```

A.2) VIGA A1

```

!
*****
! Programador: Bruno Galardinovic Rampinelli
! Data: 10/06/2018
! Nome arquivo: BRESLER A1
! unidades: cm, kN
!
*****
/NOPR ! Suppress printing of UNDO process
/PMACRO ! Echo following commands to log
FINISH ! Make sure we are at BEGIN level
/CLEAR,NOSTART ! Clear model since no SAVE found
! WE SUGGEST YOU REMOVE THIS LINE AND THE FOLLOWING STARTUP LINES
/PMETH,OFF,0 !ACTIVATES THE p-METHOD SOLUTION OPTIONS IN THE GUI
/TITLE, VIGA A1
!
WPSTYLE,,,,,,,,0
/RGB,INDEX,100,100,100, 0
/RGB,INDEX, 80, 80, 80,13
/RGB,INDEX, 60, 60, 60,14
/RGB,INDEX, 0, 0, 0,15
/REPLOT
!
! -----
! DEFINIR TIPO DE ANALISE
! -----
!
! Caminho: Preferences> Structural> OK
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!
! -----
! DEFINIR ELEMENTOS
! -----
/PREP7
!*
ET,1,65

```



```

!*
ET,2,180
!*
!*
!
!*
! -----
! PROPRIEDADES DOS MATERIAIS
! -----
!
! -----
! MATERIAL 1: CONCRETO
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,2882,55
MPDATA,PRXY,1,,.2
!
! NONLINEAR>ELASTIC>MULTILINEAR ELASTIC
!
! DADOS DO EXCEL MANIPUALDOS NO BLOCO DE NOTAS
!
TB,MELA,1,1,35,0
TBTEMP,0
TBPT,,0,0
TBPT,,0.0001,0.277354786
TBPT,,0.0002,0.533117813
TBPT,,0.0003,0.768376754
TBPT,,0.0004,0.984147432
TBPT,,0.0005,1.181379659
TBPT,,0.0006,1.360962511
TBPT,,0.0007,1.523729108
TBPT,,0.0008,1.670460947
TBPT,,0.0009,1.801891837
TBPT,,0.001,1.918711487
TBPT,,0.0011,2.021568765
TBPT,,0.0012,2.111074679
TBPT,,0.0013,2.187805101
TBPT,,0.0014,2.252303249
TBPT,,0.0015,2.30508198
TBPT,,0.0016,2.346625874
TBPT,,0.0017,2.377393157
TBPT,,0.0018,2.397817473
TBPT,,0.0019,2.408309507
TBPT,,0.002,2.409258484
TBPT,,0.0021,2.401033556

```

```

TBPT,,0.0022,2.383985076
TBPT,,0.0023,2.358445783
TBPT,,0.0024,2.324731892
TBPT,,0.0025,2.283144109
TBPT,,0.0026,2.233968569
TBPT,,0.0027,2.177477711
TBPT,,0.0028,2.113931083
TBPT,,0.0029,2.0435761
TBPT,,0.003,1.966648743
TBPT,,0.0031,1.88337421
TBPT,,0.0032,1.793967529
TBPT,,0.0033,1.698634124
TBPT,,0.0034,1.597570341
TBPT,,0.0035,1.490963953
!
! NONLINEAR>INELASTIC>NON-METAL PLASTICITY>CONCRETE
!
TB,CONC,1,1,9,
TBTEMP,0
TBDATA,,.3,.8,.38542,-1,,
TBDATA,,,,,,,,
!
! DENSIDADE
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,1,,2.5e-8
!
! -----
! MATERIAL 2: ARMADURA INFERIOR
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,21787
MPDATA,PRXY,2,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
! PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,2,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,55.5,,,,,,,,
!
! -----
! MATERIAL 3: ARMADURA SUPERIOR
! -----

```

```

!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,3,,20133
MPDATA,PRXY,3,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,3,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,34.54,,,,,
!
! -----
! MATERIAL 4: ESTRIBOS
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,4,,18961
MPDATA,PRXY,4,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,4,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,32.54,,,,,
!
! -----
! MATERIAL 5: APOIOS E PONTOS DE CARGA
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,5,,50000
MPDATA,PRXY,5,,.3
!
! -----
! GEOMETRIA
! -----

```

```

!
! -----
! VOLUME: CONCRETO
! -----
!
!Preprocessor>Modeling>Volume>By Dimensions
!
BLOCK,0,5.5,50.9,56,-31,-24.4,
BLOCK,0,5.5,50.9,56,-24.4,-6.6,
BLOCK,0,5.5,50.9,56,-6.6,0,
BLOCK,0,5.5,12.8,50.9,-31,-24.4
BLOCK,0,5.5,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
BLOCK,0,5.5,12.8,50.9,-6.6,0,
BLOCK,0,5.5,6.4,12.8,-31,-24.4,
BLOCK,0,5.5,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
BLOCK,0,5.5,6.4,12.8,-6.6,0,
BLOCK,0,5.5,0,6.4,-31,-24.4,
BLOCK,0,5.5,0,6.4,-24.4,-6.6,
BLOCK,0,5.5,0,6.4,-6.6,0,
!
BLOCK,5.5,14.5,50.9,56,-31,-24.4,
BLOCK,5.5,14.5,50.9,56,-24.4,-6.6,
BLOCK,5.5,14.5,50.9,56,-6.6,0,
BLOCK,5.5,14.5,12.8,50.9,-31,-24.4
BLOCK,5.5,14.5,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
BLOCK,5.5,14.5,12.8,50.9,-6.6,0,
BLOCK,5.5,14.5,6.4,12.8,-31,-24.4,
BLOCK,5.5,14.5,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
BLOCK,5.5,14.5,6.4,12.8,-6.6,0,
BLOCK,5.5,14.5,0,6.4,-31,-24.4,
BLOCK,5.5,14.5,0,6.4,-24.4,-6.6,
BLOCK,5.5,14.5,0,6.4,-6.6,0,
!
BLOCK,14.5,22,50.9,56,-31,-24.4,
BLOCK,14.5,22,50.9,56,-24.4,-6.6,
BLOCK,14.5,22,50.9,56,-6.6,0,
BLOCK,14.5,22,12.8,50.9,-31,-24.4
BLOCK,14.5,22,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
BLOCK,14.5,22,12.8,50.9,-6.6,0,
BLOCK,14.5,22,6.4,12.8,-31,-24.4,
BLOCK,14.5,22,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
BLOCK,14.5,22,6.4,12.8,-6.6,0,
BLOCK,14.5,22,0,6.4,-31,-24.4,
BLOCK,14.5,22,0,6.4,-24.4,-6.6,
BLOCK,14.5,22,0,6.4,-6.6,0,
!
BLOCK,22,26.5,50.9,56,-31,-24.4,
BLOCK,22,26.5,50.9,56,-24.4,-6.6,
BLOCK,22,26.5,50.9,56,-6.6,0,

```

BLOCK,22,26.5,12.8,50.9,-31,-24.4
 BLOCK,22,26.5,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
 BLOCK,22,26.5,12.8,50.9,-6.6,0,
 BLOCK,22,26.5,6.4,12.8,-31,-24.4,
 BLOCK,22,26.5,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
 BLOCK,22,26.5,6.4,12.8,-6.6,0,
 BLOCK,22,26.5,0,6.4,-31,-24.4,
 BLOCK,22,26.5,0,6.4,-24.4,-6.6,
 BLOCK,22,26.5,0,6.4,-6.6,0,
 !
 BLOCK,26.5,194.5,50.9,56,-31,-24.4,
 BLOCK,26.5,194.5,50.9,56,-24.4,-6.6,
 BLOCK,26.5,194.5,50.9,56,-6.6,0,
 BLOCK,26.5,194.5,12.8,50.9,-31,-24.4
 BLOCK,26.5,194.5,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
 BLOCK,26.5,194.5,12.8,50.9,-6.6,0,
 BLOCK,26.5,194.5,6.4,12.8,-31,-24.4,
 BLOCK,26.5,194.5,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
 BLOCK,26.5,194.5,6.4,12.8,-6.6,0,
 BLOCK,26.5,194.5,0,6.4,-31,-24.4,
 BLOCK,26.5,194.5,0,6.4,-24.4,-6.6,
 BLOCK,26.5,194.5,0,6.4,-6.6,0,
 !
 BLOCK,194.5,205,50.9,56,-31,-24.4,
 BLOCK,194.5,205,50.9,56,-24.4,-6.6,
 BLOCK,194.5,205,50.9,56,-6.6,0,
 BLOCK,194.5,205,12.8,50.9,-31,-24.4
 BLOCK,194.5,205,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
 BLOCK,194.5,205,12.8,50.9,-6.6,0,
 BLOCK,194.5,205,6.4,12.8,-31,-24.4,
 BLOCK,194.5,205,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
 BLOCK,194.5,205,6.4,12.8,-6.6,0,
 BLOCK,194.5,205,0,6.4,-31,-24.4,
 BLOCK,194.5,205,0,6.4,-24.4,-6.6,
 BLOCK,194.5,205,0,6.4,-6.6,0,
 !
 ! -----
 ! APOIOS E CARGAS
 ! -----
 !
 !Apoio
 !
 BLOCK,14.5,22,-2.54,0,-31,-24.4,
 BLOCK,14.5,22,-2.54,0,-24.4,-6.6,
 BLOCK,14.5,22,-2.54,0,-6.6,0,
 !
 BLOCK,22,26.5,-2.54,0,-31,-24.4,
 BLOCK,22,26.5,-2.54,0,-24.4,-6.6,
 BLOCK,22,26.5,-2.54,0,-6.6,0,

```

!
BLOCK,26.5,29.5,-2.54,0,-31,-24.4,
BLOCK,26.5,29.5,-2.54,0,-24.4,-6.6,
BLOCK,26.5,29.5,-2.54,0,-6.6,0,
!
!
!Carga
!
BLOCK,188.5,194.5,56,58.54,-31,-24.4,
BLOCK,188.5,194.5,56,58.54,-24.4,-6.6,
BLOCK,188.5,194.5,56,58.54,-6.6,0,
!
BLOCK,194.5,205,56,58.54,-31,-24.4,
BLOCK,194.5,205,56,58.54,-24.4,-6.6,
BLOCK,194.5,205,56,58.54,-6.6,0,
!
! -----
! DIVIDIR AS LINHAS
! -----
!
!-----
!X
!-----
!
LSEL,S,LOC,X,0.1,5.4
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,X,5.6,14.4
LSEL,U,LOC,X,14.2
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,3, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,X,14.6,21.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,3, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,X,22.1,26.4

CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*

```

```

LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,X,26.6,194.4
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,3, , , , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,X,194.6,204.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,4, , , , ,1
!
!-----
!Y
!-----
!
!
LSEL,S,LENGHT, ,2.54
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,1, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Y,0.1,6.3
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Y,6.5,12.7
LSEL,U,LOC,Z,-15.5
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,Y,12.9,50.8
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,12, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,Y,51,55.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y

```

```

!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
!-----
!Z
!-----
!
LSEL,S,LOC,Z,-0.1,-6.5
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,Z,-6.7,-24.3
LSEL,U,LOC,Y,9.6
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,6, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Z,-24.5,-30.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
LSELL,ALL
! -----
! ESTRIBOS
! -----
!
LSEL,S,LOC,X,5.5
LSEL,R,LOC,Y,6.4,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Y,12.8
!
!COPIA OS ESTRIBOS C/21
!

LGEN,10,ALL, , ,21, , , ,0
LSEL,ALL
!
ALLSEL,ALL
! -----
! DEFINIÇÃO DA SEÇÃO
! -----

```



```

!
!Preprocessor>Sections>Link>Add
!
SECTYPE,1,LINK, ,1
SECDATA,6.469,
SECCONTROL,0,0
!
!
SECTYPE,2,LINK, ,2
SECDATA,1.267,
SECCONTROL,0,0
!
SECTYPE,3,LINK, ,3
SECDATA,0.322,
SECCONTROL,0,0
!
!
!
! -----
! MESH
! -----
!
!-----
!CONCRETO
!-----
!
!
TYPE, 1
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, ,
!*
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
!*
VSEL,S,LOC,Y,0,56
CM,_Y,VOLU
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!
!

```

```

ESEL,S,MAT,,1
FLST,4,12600,2,ORDE,2
FITEM,4,1
FITEM,4,-12600
/TRLCY,ELEM,0.7,P51X
/SHRINK,0
/ESHAPE,1
/EFACET,1
/RATIO,1,1,1
/CFORMAT,32,0
ALLSEL,ALL
/replot
!
!-----
!ESTRIBOS
!-----
!
!
TYPE,    2
MAT,     4
REAL,
ESYS,    0
SECNUM,  3
!
!
LSEL,S,LOC,X,5.5,194.5
LSEL,R,LOC,Y,6.4,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Y,12.8
LSEL,U,LOC,X,14.5
LSEL,U,LOC,X,22
LSEL,U,LENGHT,,5.5
LSEL,U,LENGHT,,9
LSEL,U,LENGHT,,7.5
LSEL,U,LENGHT,,4.5
LSEL,U,LENGHT,,168
!
LMESH,ALL
!
!
!-----
!As- '
!-----
!
TYPE,    2
MAT,     3
REAL,
ESYS,    0
SECNUM,  2

```

```

!
LSEL,S,LOC,X,0,205
LSEL,R,LOC,Y,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Z,-23.5,-6.7
!
!
LMESH,ALL
!
!
!-----
!AS
!-----
!
LSEL,S,LOC,X,0,205
LSEL,R,LOC,Y,6.4,12.8
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Y,6.5,12.7
LSEL,U,LOC,Z,-23.5,-6.7
!
TYPE, 2
MAT, 2
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 1
!
LMESH,ALL
!
!-----
!Apoio e carga
!-----
!
TYPE, 1
MAT, 5
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, ,
!
VSEL,S,LOC,Y,-2.54,0
VSEL,A,LOC,Y,56,58.54
CM,_Y,VOLU
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

```

```

CMDELE,_Y2
!
NUMMRG,NODE, , , ,LOW
NUMMRG,KP
NUMCMP,NODE
!
!
ALLSELL,ALL
! -----
!   RESTRIÇÕES DE MOVIMENTO
! -----
!
ASEL,S,LOC,X,205
DA,ALL,UX
ALLSEL,ALL
NSEL,S,LOC,Y,-2.54
NSEL,R,LOC,X,22
D,ALL,UY
D,ALL,UZ
ALLSEL,ALL
!*
! -----
!   ETAPAS DE CARREGAMENTO
! -----
!
! -----
!   PESO PRÓPRIO
! -----
!
/SOL
!*
ALLSEL,ALL
!*ACEL,0,0,0,
ACEL,0,981,0,
!
ANTYPE,0
solcontrol,on
!
!USE AUTOMATIC TIME STEPPING (DEFAULT):
!
autots,on
!*
!STES CONVERGENCE VALUES FOR NONLINEAR ANALYSES:
!
CNVTOL,F, ,0.1,2, ,
CNVTOL,U, ,0.1,2, ,
!*
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!

```

```

NSUBST,1,1000,1
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
!
!SETS THE KEY TO TERMINATE AN ANALYSIS
!TERMINA, MAS NÃO SAI DO PROGRAMA
!
NCNV,2,0,0,0,0
!
!SPECIFIES THE MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM
!ITERATIONS FOR NONLINEAR ANALYSES
!
NEQIT,100
!
!CONTROLS FILE WRITING FOR MULTIFRAME RESTART.
!ESCREVE A CADA SUBSTEP
!
RESCONTRL,DEFINE,ALL,1,1
!
!TEMPO DA ANÁLISE
!
time,1000
LSWRITE,1,
!
! -----
!   2 ETAPA deslocamento
! -----
!
!APLICANDO FORÇA NO MODELO!
!
NSEL,S,LOC,Y,58.54
NSEL,R,LOC,X,205
NSEL,R,LOC,Z,-15.5
D,ALL,UY,-1.6
ALLSEL
!
!*
ALLSEL,ALL
/SHRINK,0
/ESHAPE,1
/EFACET,1
/RATIO,1,1,1
/CFORMAT,32,0
/VIEW,1,1,1,1
/ANG,1
/REPLOT
!*
!
```

```

ANTYPE,0
solcontrol,on
!
!USE AUTOMATIC TIME STEPPING (DEFAULT):
!
autots,on
!*
!STES CONVERGENCE VALUES FOR NONLINEAR ANALYSES:
!
CNVTOL,F, ,0.4,2, ,
CNVTOL,U, ,0.4,2, ,
!*
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!
NSUBST,50,100,50
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
!
!SETS THE KEY TO TERMINATE AN ANALYSIS
!TERMINA, MAS NÃO SAI DO PROGRAMA
!
NCNV,2,0,0,0,0
!
!SPECIFIES THE MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM
!ITERATIONS FOR NONLINEAR ANALYSES
!
NEQIT,100
!
!CONTROLS FILE WRITING FOR MULTIFRAME RESTART.
!ESCREVE A CADA SUBSTEP
!
RESCONTRL,DEFINE,ALL,1,1
!
!TEMPO DA ANÁLISE
!
time,1000
LSWRITE,2,
!
!
FINISH
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE
/GO
FINISH
/POST1

```

A.3) VIGA A2

```

!
*****
! Programador: Bruno Galardinovic Rampinelli
! Data: 10/06/2018
! Nome arquivo: BRESLER A2
! unidades: cm, kN
!
*****
/NOPR ! Suppress printing of UNDO process
/PMACRO ! Echo following commands to log
FINISH ! Make sure we are at BEGIN level
/CLEAR,NOSTART ! Clear model since no SAVE found
! WE SUGGEST YOU REMOVE THIS LINE AND THE FOLLOWING STARTUP LINES
/PMETH,OFF,0 !ACTIVATES THE p-METHOD SOLUTION OPTIONS IN THE GUI
/TITLE, VIGA A2
!
WPSTYLE,,,,,,,,0
/RGB,INDEX,100,100,100, 0
/RGB,INDEX, 80, 80, 80,13
/RGB,INDEX, 60, 60, 60,14
/RGB,INDEX, 0, 0, 0,15
/REPLOT
!
! -----
! DEFINIR TIPO DE ANALISE
! -----
!
! Caminho: Preferences> Structural> OK
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!
! -----
! DEFINIR ELEMENTOS
! -----
/PREP7
!*
ET,1,65

```

```

!*
ET,2,180
!*
!*
!
!*
! -----
! PROPRIEDADES DOS MATERIAIS
! -----
!
! -----
! MATERIAL 1: CONCRETO
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,2890.51
MPDATA,PRXY,1,,.2
!
! NONLINEAR>ELASTIC>MULTILINEAR ELASTIC
!
! DADOS DO EXCEL MANIPUALDOS NO BLOCO DE NOTAS
!
TB,MELA,1,1,35,0
TBTEMP,0
TBPT,,0,0
TBPT,,0.0001,0.279133287
TBPT,,0.0002,0.536636638
TBPT,,0.0003,0.773585151
TBPT,,0.0004,0.990983836
TBPT,,0.0005,1.189773237
TBPT,,0.0006,1.370834516
TBPT,,0.0007,1.534994068
TBPT,,0.0008,1.68302771
TBPT,,0.0009,1.815664495
TBPT,,0.001,1.933590178
TBPT,,0.0011,2.03745039
TBPT,,0.0012,2.127853524
TBPT,,0.0013,2.205373385
TBPT,,0.0014,2.270551613
TBPT,,0.0015,2.323899904
TBPT,,0.0016,2.365902054
TBPT,,0.0017,2.397015834
TBPT,,0.0018,2.417674713
TBPT,,0.0019,2.428289456
TBPT,,0.002,2.429249586
TBPT,,0.0021,2.420924742

```



```

TBPT,,0.0022,2.403665933
TBPT,,0.0023,2.377806692
TBPT,,0.0024,2.343664156
TBPT,,0.0025,2.301540059
TBPT,,0.0026,2.251721656
TBPT,,0.0027,2.194482579
TBPT,,0.0028,2.130083639
TBPT,,0.0029,2.058773567
TBPT,,0.003,1.980789702
TBPT,,0.0031,1.896358642
TBPT,,0.0032,1.805696838
TBPT,,0.0033,1.709011162
TBPT,,0.0034,1.606499427
TBPT,,0.0035,1.498350878
!
! NONLINEAR>INELASTIC>NON-METAL PLASTICITY>CONCRETE
!
TB,CONC,1,1,9,
TBTEMP,0
TBDATA,,.6,.9,.373,-1,,
TBDATA,,,,,,,,
!
! DENSIDADE
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,1,,2.5e-8
!
!
! -----
! MATERIAL 2: ARMADURA INFERIOR
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,21787
MPDATA,PRXY,2,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,2,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,55.5,,,,,,,,
!
!
! -----

```

```

! MATERIAL 3: ARMADURA SUPERIOR
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,3,,20133
MPDATA,PRXY,3,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,3,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,34.54,,,,,
!
! -----
! MATERIAL 4: ESTRIBOS
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,4,,18961
MPDATA,PRXY,4,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,4,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,32.54,,,,,
!
! -----
! MATERIAL 5: APOIOS E PONTOS DE CARGA
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,5,,50000
MPDATA,PRXY,5,,.3
!
! -----

```

! GEOMETRIA

!

!

! VOLUME: CONCRETO

!

!

!Preprocessor>Modeling>Volume>By Dimensions

!

!

BLOCK,0,9,50.9,56,-31,-24.4,

BLOCK,0,9,50.9,56,-24.4,-6.6,

BLOCK,0,9,50.9,56,-6.6,0,

BLOCK,0,9,12.8,50.9,-31,-24.4

BLOCK,0,9,12.8,50.9,-24.4,-6.6,

BLOCK,0,9,12.8,50.9,-6.6,0,

BLOCK,0,9,6.4,12.8,-31,-24.4,

BLOCK,0,9,6.4,12.8,-24.4,-6.6,

BLOCK,0,9,6.4,12.8,-6.6,0,

BLOCK,0,9,0,6.4,-31,-24.4,

BLOCK,0,9,0,6.4,-24.4,-6.6,

BLOCK,0,9,0,6.4,-6.6,0,

!

BLOCK,9,22,50.9,56,-31,-24.4,

BLOCK,9,22,50.9,56,-24.4,-6.6,

BLOCK,9,22,50.9,56,-6.6,0,

BLOCK,9,22,12.8,50.9,-31,-24.4

BLOCK,9,22,12.8,50.9,-24.4,-6.6,

BLOCK,9,22,12.8,50.9,-6.6,0,

BLOCK,9,22,6.4,12.8,-31,-24.4,

BLOCK,9,22,6.4,12.8,-24.4,-6.6,

BLOCK,9,22,6.4,12.8,-6.6,0,

BLOCK,9,22,0,6.4,-31,-24.4,

BLOCK,9,22,0,6.4,-24.4,-6.6,

BLOCK,9,22,0,6.4,-6.6,0,

!

BLOCK,22,30,50.9,56,-31,-24.4,

BLOCK,22,30,50.9,56,-24.4,-6.6,

BLOCK,22,30,50.9,56,-6.6,0,

BLOCK,22,30,12.8,50.9,-31,-24.4

BLOCK,22,30,12.8,50.9,-24.4,-6.6,

BLOCK,22,30,12.8,50.9,-6.6,0,

BLOCK,22,30,6.4,12.8,-31,-24.4,

BLOCK,22,30,6.4,12.8,-24.4,-6.6,

BLOCK,22,30,6.4,12.8,-6.6,0,

BLOCK,22,30,0,6.4,-31,-24.4,

BLOCK,22,30,0,6.4,-24.4,-6.6,

BLOCK,22,30,0,6.4,-6.6,0,

!

BLOCK,30,240,50.9,56,-31,-24.4,
 BLOCK,30,240,50.9,56,-24.4,-6.6,
 BLOCK,30,240,50.9,56,-6.6,0,
 BLOCK,30,240,12.8,50.9,-31,-24.4
 BLOCK,30,240,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
 BLOCK,30,240,12.8,50.9,-6.6,0,
 BLOCK,30,240,6.4,12.8,-31,-24.4,
 BLOCK,30,240,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
 BLOCK,30,240,6.4,12.8,-6.6,0,
 BLOCK,30,240,0,6.4,-31,-24.4,
 BLOCK,30,240,0,6.4,-24.4,-6.6,
 BLOCK,30,240,0,6.4,-6.6,0,

!

BLOCK,240,250.5,50.9,56,-31,-24.4,
 BLOCK,240,250.5,50.9,56,-24.4,-6.6,
 BLOCK,240,250.5,50.9,56,-6.6,0,
 BLOCK,240,250.5,12.8,50.9,-31,-24.4
 BLOCK,240,250.5,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
 BLOCK,240,250.5,12.8,50.9,-6.6,0,
 BLOCK,240,250.5,6.4,12.8,-31,-24.4,
 BLOCK,240,250.5,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
 BLOCK,240,250.5,6.4,12.8,-6.6,0,
 BLOCK,240,250.5,0,6.4,-31,-24.4,
 BLOCK,240,250.5,0,6.4,-24.4,-6.6,
 BLOCK,240,250.5,0,6.4,-6.6,0,

!

!

! -----

! APOIOS E CARGAS

! -----

!

!Apoio

!

BLOCK,14.2,22,-2.54,0,-31,-24.4,
 BLOCK,14.2,22,-2.54,0,-24.4,-6.6,
 BLOCK,14.2,22,-2.54,0,-6.6,0,

!

BLOCK,22,30,-2.54,0,-31,-24.4,
 BLOCK,22,30,-2.54,0,-24.4,-6.6,
 BLOCK,22,30,-2.54,0,-6.6,0,

!

!Carga

!

BLOCK,234,240,56,58.54,-31,-24.4,
 BLOCK,234,240,56,58.54,-24.4,-6.6,
 BLOCK,234,240,56,58.54,-6.6,0,

!

BLOCK,240,250.5,56,58.54,-31,-24.4,
 BLOCK,240,250.5,56,58.54,-24.4,-6.6,

```
BLOCK,240,250.5,56,58.54,-6.6,0,
```

```
!
```

```
! -----
```

```
! BARRA CENTRAL
```

```
! -----
```

```
!
```

```
K,2100,0,9.6,-15.5
```

```
K,2200,9,9.6,-15.5
```

```
K,2300,22,9.6,-15.5
```

```
K,2400,30,9.6,-15.5
```

```
K,2500,240,9.6,-15.5
```

```
K,2600,250.5,9.6,-15.5
```

```
!
```

```
LSTR,2100,2200
```

```
LSTR,2200,2300
```

```
LSTR,2300,2400
```

```
LSTR,2400,2500
```

```
LSTR,2500,2600
```

```
! -----
```

```
! DIVIDIR AS LINHAS
```

```
! -----
```

```
!
```

```
!-----
```

```
!X
```

```
!-----
```

```
!
```

```
LSEL,S,LOC,X,0.1,8.9
```

```
CM,_Y1,LINE
```

```
CMSEL,,_Y
```

```
!*
```

```
LESIZE,_Y1, , ,3, , , , ,1
```

```
!
```

```
!
```

```
LSEL,S,LOC,X,9.1,21.9
```

```
LSEL,U,LOC,X,14.2
```

```
CM,_Y1,LINE
```

```
CMSEL,,_Y
```

```
!*
```

```
LESIZE,_Y1,2.6, , , , , , ,1
```

```
!
```

```
LSEL,S,LOC,X,22.1,29.9
```

```
CM,_Y1,LINE
```

```
CMSEL,,_Y
```

```
!*
```

```
LESIZE,_Y1, , ,3, , , , ,1
```

```
!
```

```
LSEL,S,LOC,X,30.1,239.9
```

```
LSEL,U,LOC,X,234
```

```
CM,_Y1,LINE
```

```

CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,3, , , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,X,240.1,250.4
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,4, , , , ,1
!
!-----
!Y
!-----
!
!
LSEL,S,LENGHT, ,2.54
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,1, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Y,0.1,6.3
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Y,6.5,12.7
LSEL,U,LOC,Z,-15.5
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,Y,12.9,50.8
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,12, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,Y,51,55.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
```

```

!-----
!Z
!-----
!
LSEL,S,LOC,Z,-0.1,-6.5
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,Z,-6.7,-24.3
LSEL,U,LOC,Y,9.6
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,6, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Z,-24.5,-30.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
LSELL,ALL
!-----
! ESTRIBOS
!-----
!
LSEL,S,LOC,X,30
LSEL,R,LOC,Y,6.4,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Y,12.8
!
!COPIA OS ESTRIBOS C/21
!
LGEN,11,ALL, , ,21, , , ,0
!
ALLSEL,ALL
!-----
! DEFINIÇÃO DA SEÇÃO
!-----
!
!Preprocessor>Sections>Link>Add
!
SECTYPE,1,LINK, ,1
SECDATA,6.469,
SECCONTROL,0,0

```

```

!
!
SECTYPE,2,LINK, ,2
SECDATA,1.267,
SECCONTROL,0,0
!
SECTYPE,3,LINK, ,3
SECDATA,0.322,
SECCONTROL,0,0
!
!
!
! -----
! MESH
! -----
!
!-----
!CONCRETO
!-----
!
!
TYPE, 1
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, ,
!*
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
!*
VSEL,S,LOC,Y,0,56
CM,_Y,VOLU
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!
!
ESEL,S,MAT,,1
FLST,4,15300,2,ORDE,2
FITEM,4,1
FITEM,4,-15300
/TRLCY,ELEM,0.7,P51X
/SHRINK,0

```



```

/ESHAPE,1
/EFACET,1
/RATIO,1,1,1
/CFORMAT,32,0
ALLSEL,ALL
/replot
!
!-----
!ESTRIBOS
!-----
!
!
TYPE,    2
MAT,     4
REAL,
ESYS,    0
SECNUM,  3
!
!
LSEL,S,LOC,X,9,240
LSEL,R,LOC,Y,6.4,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,X,22
LSEL,U,LOC,Y,12.8
LSEL,U,LENGHT,,13
LSEL,U,LENGHT,,8
LSEL,U,LENGHT,,210
!
LMESH,ALL
!
!
!-----
!As- '
!-----
!
LSEL,S,LOC,X,0,250.5
LSEL,R,LOC,Y,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Z,-23.5,-6.7
!
TYPE,    2
MAT,     3
REAL,
ESYS,    0
SECNUM,  2
!
LMESH,ALL
!
!
```

```

!-----
!AS
!-----
!
LSEL,S,LOC,X,0,250.5
LSEL,R,LOC,Y,6.4,12.8
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LENGHT,,6.4
LSEL,U,LENGHT,,17.8
!
TYPE, 2
MAT, 2
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 1
!
LMESH,ALL
!
!
!-----
!APOIOS E CARGA
!-----
!
TYPE, 1
MAT, 5
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, ,
!
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
!
VSEL,S,LOC,Y,-2.4,0
VLSE,A,LOC,Y,56,58.54
CM,_Y,VOLU
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!
NUMMRG,NODE, , , ,LOW
NUMMRG,KP
NUMCMP,NODE
!

```

```

!
ALLSEL,ALL
! -----
!   RESTRIÇÕES DE MOVIMENTO
! -----
!
ASEL,S,LOC,X,250.5
DA,ALL,UX
ALLSEL,ALL
NSEL,S,LOC,Y,-2.54
NSEL,R,LOC,X,22
D,ALL,UY
D,ALL,UZ
ALLSEL,ALL
!*
! -----
!   ETAPAS DE CARREGAMENTO
! -----
!
! -----
!   PESO PRÓPRIO
! -----
!
/SOL
!*
ALLSEL,ALL
!*ACEL,0,0,0,
ACEL,0,981,0,
!
ANTYPE,0
solcontrol,on
!
!USE AUTOMATIC TIME STEPPING (DEFAULT):
!
autots,on
!*
!STES CONVERGENCE VALUES FOR NONLINEAR ANALYSES:
!
CNVTOL,F, ,0.4,2, ,
CNVTOL,U, ,0.4,2, ,
!*
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!
NSUBST,1,1000,1
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
!
!SETS THE KEY TO TERMINATE AN ANALYSIS

```

```

!TERMINA, MAS NÃO SAI DO PROGRAMA
!
NCNV,2,0,0,0,0
!
!SPECIFIES THE MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM
!ITERATIONS FOR NONLINEAR ANALYSES
!
NEQIT,100
!
!CONTROLS FILE WRITING FOR MULTIFRAME RESTART.
!ESCREVE A CADA SUBSTEP
!
RESCONTRL,DEFINE,ALL,1,1
!
!TEMPO DA ANÁLISE
!
time,1000
LSWRITE,1,
!
! -----
!      1 ETAPA
! -----
!
!APLICANDO DESLOCAMENTO DE 1cm NO APOIO DA CARGA!
!
NSEL,S,LOC,Y,58.54
NSEL,R,LOC,X,250.5
NSEL,R,LOC,Z,-15.5
D,ALL,UY,-2.3
ALLSEL
!
!*
!*
!
ANTYPE,0
solcontrol,on
!
!USE AUTOMATIC TIME STEPPING (DEFAULT):
!
autots,on
!*
!STES CONVERGENCE VALUES FOR NONLINEAR ANALYSES:
!
CNVTOL,F, ,0.4,2, ,
CNVTOL,U, ,0.4,2, ,
!*
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!
NSUBST,50,100,50

```

```
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
!
!SETS THE KEY TO TERMINATE AN ANALYSIS
!TERMINA, MAS NÃO SAI DO PROGRAMA
!
NCNV,2,0,0,0,0
!
!SPECIFIES THE MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM
!ITERATIONS FOR NONLINEAR ANALYSES
!
NEQIT,100
!
!CONTROLS FILE WRITING FOR MULTIFRAME RESTART.
!ESCREVE A CADA SUBSTEP
!
RESCONTRL,DEFINE,ALL,1,1
!
!TEMPO DA ANÁLISE
!
time,1000
LSWRITE,2,
!
!
FINISH
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE
/GO
FINISH
/POST1
```

A.4) VIGA A3

```

!
*****
! Programador: Bruno Galardinovic Rampinelli
! Data: 10/06/2018
! Nome arquivo: BRESLER A3
! unidades: cm, kN
!
*****
/NOPR ! Suppress printing of UNDO process
/PMACRO ! Echo following commands to log
FINISH ! Make sure we are at BEGIN level
/CLEAR,NOSTART ! Clear model since no SAVE found
! WE SUGGEST YOU REMOVE THIS LINE AND THE FOLLOWING STARTUP LINES
/PMETH,OFF,0 !ACTIVATES THE p-METHOD SOLUTION OPTIONS IN THE GUI
/TITLE, VIGA A3
!
WPSTYLE,,,,,,,,0
/RGB,INDEX,100,100,100, 0
/RGB,INDEX, 80, 80, 80,13
/RGB,INDEX, 60, 60, 60,14
/RGB,INDEX, 0, 0, 0,15
/REPLOT
!
! -----
! DEFINIR TIPO DE ANALISE
! -----
!
! Caminho: Preferences> Structural> OK
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!
! -----
! DEFINIR ELEMENTOS
! -----
/PREP7
!*
ET,1,65

```

```

!*
ET,2,180
!*
!*
!
!*
! -----
! PROPRIEDADES DOS MATERIAIS
! -----
!
! -----
! MATERIAL 1: CONCRETO
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,3264,33
MPDATA,PRXY,1,,.2
!
! NONLINEAR>ELASTIC>MULTILINEAR ELASTIC
!
! DADOS DO EXCEL MANIPUALDOS NO BLOCO DE NOTAS
!
TB,MELA,1,1,35,0
TBTEMP,0
TBPT,,0,0
TBPT,,0.0001,0.324489635
TBPT,,0.0002,0.631895129
TBPT,,0.0003,0.922432245
TBPT,,0.0004,1.196313126
TBPT,,0.0005,1.453746374
TBPT,,0.0006,1.694937121
TBPT,,0.0007,1.920087103
TBPT,,0.0008,2.129394728
TBPT,,0.0009,2.323055146
TBPT,,0.001,2.501260314
TBPT,,0.0011,2.664199064
TBPT,,0.0012,2.812057161
TBPT,,0.0013,2.945017372
TBPT,,0.0014,3.063259519
TBPT,,0.0015,3.166960544
TBPT,,0.0016,3.256294563
TBPT,,0.0017,3.331432924
TBPT,,0.0018,3.39254426
TBPT,,0.0019,3.439794545
TBPT,,0.002,3.473347142
TBPT,,0.0021,3.49336286

```

```

TBPT,,0.0022,3.5
TBPT,,0.0023,3.493414403
TBPT,,0.0024,3.473759499
TBPT,,0.0025,3.441186355
TBPT,,0.0026,3.395843718
TBPT,,0.0027,3.337878059
TBPT,,0.0028,3.267433619
TBPT,,0.0029,3.184652448
TBPT,,0.003,3.089674451
TBPT,,0.0031,2.982637421
TBPT,,0.0032,2.863677088
TBPT,,0.0033,2.73292715
TBPT,,0.0034,2.590519313
TBPT,,0.0035,2.436583331
!
! NONLINEAR>INELASTIC>NON-METAL PLASTICITY>CONCRETE
!
TB,CONC,1,1,9,
TBTEMP,0
TBDATA,,.6,.9,.43,-1,,
TBDATA,,,,,,,,
!
! DENSIDADE
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,1,,2.5e-8
!
!
! -----
! MATERIAL 2: ARMADURA INFERIOR AS
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,20546
MPDATA,PRXY,2,,.3
!
!      NONLINEAR>INELASTIC>RATE      INDEPENDENT>ISOTROPIC      HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,2,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,55.3,,,,,,,,
!
!
! -----

```



```

! MATERIAL 3: ARMADURA SUPERIOR A'S
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,3,,20133
MPDATA,PRXY,3,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,3,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,34.54,,,,,
!
! -----
! MATERIAL 4: ESTRIBOS
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,4,,18961
MPDATA,PRXY,4,,.3
!
!     NONLINEAR>INELASTIC>RATE     INDEPENDENT>ISOTROPIC     HARDENING
PLASTICITY>
! >MISES PLASTICITY>BILINEAR
!
TB,BISO,4,1,2,
TBTEMP,0
TBDATA,,32.54,,,,,
!
! -----
! MATERIAL 5: APOIOS E PONTOS DE CARGA
! -----
!
! LINEAR>ELASTIC>ISOTROPIC
!
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,5,,50000
MPDATA,PRXY,5,,.3
!
! -----

```

```

! GEOMETRIA
! -----
!
! -----
! VOLUME: CONCRETO
! -----
!
!Preprocessor>Modeling>Volume>By Dimensions
!
!
BLOCK,0,6,50.9,56,-31,-24.4,
BLOCK,0,6,50.9,56,-24.4,-6.6,
BLOCK,0,6,50.9,56,-6.6,0,
BLOCK,0,6,12.8,50.9,-31,-24.4
BLOCK,0,6,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
BLOCK,0,6,12.8,50.9,-6.6,0,
BLOCK,0,6,6.4,12.8,-31,-24.4,
BLOCK,0,6,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
BLOCK,0,6,6.4,12.8,-6.6,0,
BLOCK,0,6,0,6.4,-31,-24.4,
BLOCK,0,6,0,6.4,-24.4,-6.6,
BLOCK,0,6,0,6.4,-6.6,0,
!
BLOCK,6,22,50.9,56,-31,-24.4,
BLOCK,6,22,50.9,56,-24.4,-6.6,
BLOCK,6,22,50.9,56,-6.6,0,
BLOCK,6,22,12.8,50.9,-31,-24.4
BLOCK,6,22,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
BLOCK,6,22,12.8,50.9,-6.6,0,
BLOCK,6,22,6.4,12.8,-31,-24.4,
BLOCK,6,22,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
BLOCK,6,22,6.4,12.8,-6.6,0,
BLOCK,6,22,0,6.4,-31,-24.4,
BLOCK,6,22,0,6.4,-24.4,-6.6,
BLOCK,6,22,0,6.4,-6.6,0,
!
BLOCK,22,27,50.9,56,-31,-24.4,
BLOCK,22,27,50.9,56,-24.4,-6.6,
BLOCK,22,27,50.9,56,-6.6,0,
BLOCK,22,27,12.8,50.9,-31,-24.4
BLOCK,22,27,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
BLOCK,22,27,12.8,50.9,-6.6,0,
BLOCK,22,27,6.4,12.8,-31,-24.4,
BLOCK,22,27,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
BLOCK,22,27,6.4,12.8,-6.6,0,
BLOCK,22,27,0,6.4,-31,-24.4,
BLOCK,22,27,0,6.4,-24.4,-6.6,
BLOCK,22,27,0,6.4,-6.6,0,
!

```

BLOCK,27,342,50.9,56,-31,-24.4,
 BLOCK,27,342,50.9,56,-24.4,-6.6,
 BLOCK,27,342,50.9,56,-6.6,0,
 BLOCK,27,342,12.8,50.9,-31,-24.4
 BLOCK,27,342,12.8,50.9,-24.4,-6.6,
 BLOCK,27,342,12.8,50.9,-6.6,0,
 BLOCK,27,342,6.4,12.8,-31,-24.4,
 BLOCK,27,342,6.4,12.8,-24.4,-6.6,
 BLOCK,27,342,6.4,12.8,-6.6,0,
 BLOCK,27,342,0,6.4,-31,-24.4,
 BLOCK,27,342,0,6.4,-24.4,-6.6,
 BLOCK,27,342,0,6.4,-6.6,0,

!

!

!

! -----

! APOIOS E CARGAS

! -----

!

!Apoio

!

BLOCK,14,22,-2.54,0,-31,-24.4,
 BLOCK,14,22,-2.54,0,-24.4,-6.6,
 BLOCK,14,22,-2.54,0,-6.6,0,

!

BLOCK,22,27,-2.54,0,-31,-24.4,
 BLOCK,22,27,-2.54,0,-24.4,-6.6,
 BLOCK,22,27,-2.54,0,-6.6,0,

!

BLOCK,27,30,-2.54,0,-31,-24.4,
 BLOCK,27,30,-2.54,0,-24.4,-6.6,
 BLOCK,27,30,-2.54,0,-6.6,0,

!

!Carga

!

BLOCK,327,342,56,58.54,-31,-24.4,
 BLOCK,327,342,56,58.54,-24.4,-6.6,
 BLOCK,327,342,56,58.54,-6.6,0,

!

!

! -----

! BARRA CENTRAL

! -----

!

K,2000,0,12.8,-15.5
 K,2100,6,12.8,-15.5
 K,2200,22,12.8,-15.5
 K,2300,27,12.8,-15.5

```

K,2400,342,12.8,-15.5
!
LSTR,2000,2100
LSTR,2100,2200
LSTR,2200,2300
LSTR,2300,2400
!
LSEL,S,LOC,X,0,342
LSEL,R,LOC,Y,12.8
LSEL,R,LOC,Z,-15.5
LSEL,U,LENGHT,,17.8
!
LGEN,2,ALL,,,-6.4,,0
! -----
! DIVIDIR AS LINHAS
! -----
!
!-----
!X
!-----
!
LSEL,S,LOC,X,0.1,5.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,2,, , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,X,14
LSEL,U,LENGHT,,2.54
LSEL,U,LENGHT,,6.6
LSEL,U,LENGHT,,17.8
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,6,, , ,1
!
LSEL,S,LOC,X,18
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,3,, , ,1
!
LSEL,S,LOC,X,24.5
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,2,, , ,1
!

```

```

LSEL,S,LOC,X,27.1,341.9
LSEL,U,LOC,X,30
LSEL,U,LOC,X,327
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,3, , , , , ,1
!
!
!-----
!Y
!-----
!
!
LSEL,S,LENGHT, ,2.54
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,1, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Y,0.1,6.3
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Y,6.5,12.7
LSEL,U,LOC,Z,-15.5
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,Y,12.9,50.8
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,12, , , , ,1
!
LSEL,S,LOC,Y,51,55.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , , ,1
!
!
!-----

```

```

!Z
!-----
!
LSEL,S,LOC,Z,-0.1,-6.5
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , ,1
!
LSEL,S,LENGHT,,17.8
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,6, , , ,1
!
!
LSEL,S,LOC,Z,-24.5,-30.9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,2, , , ,1
!
!
LSELL,ALL
! -----
! ESTRIBOS
! -----
!
LSEL,S,LOC,X,6
LSEL,R,LOC,Y,6.4,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Y,12.8
!
!COPIA OS ESTRIBOS C/21
!
LGEN,17,ALL, , ,21, , , ,0
!
ALLSEL,ALL
! -----
! DEFINIÇÃO DA SEÇÃO
! -----
!
!Preprocessor>Sections>Link>Add
!
SECTYPE,1,LINK, ,1
SECDATA,6.469,
SECCONTROL,0,0
!
!

```

```

SECTYPE,2,LINK, ,2
SECDATA,1.267,
SECCONTROL,0,0
!
SECTYPE,3,LINK, ,3
SECDATA,0.322,
SECCONTROL,0,0
!
SECTYPE,4,LINK, ,4
SECDATA,0.161,
SECCONTROL,0,0
!
!
!
! -----
! MESH
! -----
!
!-----
!CONCRETO
!-----
!
!
TYPE, 1
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, ,
!*
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
!*
!
!
VSEL,S,LOC,X,27,342
VLSE,R,LOC,Y,0,56
CM,_Y,VOLU
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!
NUMMRG,NODE, , , ,LOW
NUMCMP,NODE

```

```

!
!
VSEL,S,LOC,Y,0,56
VSEL,R,LOC,X,0,27
CM,_Y,VOLU
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!
NUMMRG,NODE,, , ,LOW
NUMCMP,NODE
!
!
ESEL,S,MAT,,1
FLST,4,20700,2,ORDE,2
FITEM,4,1
FITEM,4,-20700
/TRLCY,ELEM,0.7,P51X
/SHRINK,0
/ESHAPE,1
/EFACET,1
/RATIO,1,1,1
/CFORMAT,32,0
ALLSEL,ALL
/replot
!
!-----
!ESTRIBOS
!-----
!
!
TYPE, 2
MAT, 4
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 3
!
!
LSEL,S,LOC,X,6,341
LSEL,R,LOC,Y,6.4,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,X,14
LSEL,U,LOC,Y,12.8

```



```

LSEL,U,LOC,X,22
LSEL,U,LENGHT,,5
LSEL,U,LENGHT,,315
!
LMESH,ALL
!
NUMMRG,NODE,, , ,LOW
NUMCMP,NODE
!
!
TYPE, 2
MAT, 4
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 4
!
LSEL,S,LOC,X,342
LSEL,R,LOC,Y,6.4,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Y,12.8
!
LMESH,ALL
!
NUMMRG,NODE,, , ,LOW
NUMCMP,NODE
!
!-----
!As- '
!-----
!
LSEL,S,LOC,X,0,342
LSEL,R,LOC,Y,50.9
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LOC,Z,-23.5,-6.7
!
TYPE, 2
MAT, 3
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 2
!
LMESH,ALL
!
NUMMRG,NODE,, , ,LOW
NUMCMP,NODE
!
!
!-----
!AS

```

```

!-----
!
LSEL,S,LOC,X,0,342
LSEL,R,LOC,Y,6.4,12.8
LSEL,R,LOC,Z,-24.4,-6.6
LSEL,U,LENGHT,,6.4
LSEL,U,LENGHT,,17.8
!
TYPE, 2
MAT, 2
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, 1
!
LMESH,ALL
!
NUMMRG,NODE, , , ,LOW
NUMCMP,NODE
!
!
!-----
!APOIOS E CARGA
!-----
!
TYPE, 1
MAT, 5
REAL,
ESYS, 0
SECNUM, ,
!
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
!
VSEL,S,LOC,Y,-2.4,0
VLSE,A,LOC,Y,56,58.54
CM,_Y,VOLU
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!
NUMMRG,NODE, , , ,LOW
NUMMRG,KP
NUMCMP,NODE

```

```

!
!
ALLSEL,ALL
! -----
!   RESTRIÇÕES DE MOVIMENTO
! -----
!
ASEL,S,LOC,X,342
DA,ALL,UX
ALLSEL,ALL
NSEL,S,LOC,Y,-2.54
NSEL,R,LOC,X,22
D,ALL,UY
D,ALL,UZ
ALLSEL,ALL
!*
! -----
!   ETAPAS DE CARREGAMENTO
! -----
!
! -----
!   PESO PRÓPRIO
! -----
!
/SOL
!*
ALLSEL,ALL
!*ACEL,0,0,0,
ACEL,0,981,0,
!
ANTYPE,0
solcontrol,on
!
!USE AUTOMATIC TIME STEPPING (DEFAULT):
!
autots,on
!*
!STES CONVERGENCE VALUES FOR NONLINEAR ANALYSES:
!
CNVTOL,F, ,0.4,2, ,
CNVTOL,U, ,0.4,2, ,
!*
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!
NSUBST,1,1000,1
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
!

```

```

!SETS THE KEY TO TERMINATE AN ANALYSIS
!TERMINA, MAS NÃO SAI DO PROGRAMA
!
NCNV,2,0,0,0,0
!
!SPECIFIES THE MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM
!ITERATIONS FOR NONLINEAR ANALYSES
!
NEQIT,100
!
!CONTROLS FILE WRITING FOR MULTIFRAME RESTART.
!ESCREVE A CADA SUBSTEP
!
RESCONTRL,DEFINE,ALL,1,1
!
!TEMPO DA ANÁLISE
!
time,1000
LSWRITE,1,
!
! -----
!   1 ETAPA
! -----
!
!APLICANDO DESLOCAMENTO DE 1cm NO APOIO DA CARGA!
!
NSEL,S,LOC,Y,58.54
NSEL,R,LOC,X,342
NSEL,R,LOC,Z,-15.5
D,ALL,UY,-3.8
ALLSEL
!
!*
!*
!
ANTYPE,0
solcontrol,on
!
!USE AUTOMATIC TIME STEPPING (DEFAULT):
!
autots,on
!*
!STES CONVERGENCE VALUES FOR NONLINEAR ANALYSES:
!
CNVTOL,F, ,0.4,2, ,
CNVTOL,U, ,0.4,2, ,
!*
!NÚMERO DE SUBST., MÁXIMO SUBSTEPS, MÍNIMO SUBSTEPS:
!

```

```
NSUBST,50,100,50
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,1
!
!SETS THE KEY TO TERMINATE AN ANALYSIS
!TERMINA, MAS NÃO SAI DO PROGRAMA
!
NCNV,2,0,0,0,0
!
!SPECIFIES THE MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM
!ITERATIONS FOR NONLINEAR ANALYSES
!
NEQIT,100
!
!CONTROLS FILE WRITING FOR MULTIFRAME RESTART.
!ESCREVE A CADA SUBSTEP
!
RESCONTRL,DEFINE,ALL,1,1
!
!TEMPO DA ANÁLISE
!
time,1000
LSWRITE,2,
!
!
FINISH
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE
/GO
FINISH
/POST1
```

APÊNDICE B – *SCRIPT* GRÁFICO FORÇA X DESLOCAMENTO ANSYS APDL

B.1) FORÇA X DESLOCAMENTO V1_A

```

/POST26
!
! Rotina para se fazer o gráfico carga-deslocamento quando se usa
! incremento de força
!
!
*SET,FATOR1,-1.00 ! Fator para multiplicar o deslocamento se
! necessário (por exemplo: torna positivos os deslocamentos)
*SET,FATOR2,4.00! Fator para multiplicar a carga se necessário (por
! exemplo: Ptotal = 4xP)
*SET,NNUY,13234 ! Número do nó do qual se quer fazer o gráfico
! carga-deslocamento (ver listagem dos nós com coordenadas)
!
/AXLAB,Y,CARGA P! Label Y
/AXLAB,X,FLECHA UY ! Label X
NSOL,2,NNUY,U,y ! Especifica o nó cujo deslocamento Uy vai ser
! plotado.
NSOL,3,1,U,Z ! Variável muda, serve para armazenar a soma das
! reações (corresponde ao deslocamento UZ do nó 1).
!
NSEL,S,LOC,x,23.5 ! Seleciona os nós cuja coordenada y é
! igual a -2.50 (escolher a coordenada de onde estão as reações).
NSEL,R,LOC,y,-5
*GET,NUMNOD,NODE,0,COUNT ! Captura os números dos nós de onde estão
! as reações.
*GET,CURNOD,NODE,0,NUM,MIN !Captura as coordenadas dos nós onde estão
! as reações de apoio.
!
*DO,I,1,NUMNOD ! Laço que faz a soma das reações Fy dos nós
! selecionados antes.
RFORCE,4,CURNOD,F,y
ADD,3,3,4,SOMA
CURNOD=NDNEXT(CURNOD)
*ENDDO
!
PROD,2,2,,,,,FATOR1 ! Ajuste dos deslocamentos pelo fator FATOR1
PROD,3,3,,,,,FATOR2 ! Ajuste das cargas pelo fator FATOR2
!
XVAR,2 ! Plota os deslocamentos no eixo X
PLVAR,3 ! Plota a carga total no eixo Y Y
!
ALLSEL,ALL
FINISH

```

B.2) FORÇA X DESLOCAMENTO VIGA A1

```

/POST26
!
! Rotina para se fazer o gráfico carga-deslocamento quando se usa
incremento de deslocamento
!
!
*SET,FATOR1,-1.00 ! Fator para multiplicar o deslocamento se
necessário (por exemplo: torna positivos os deslocamentos)
*SET,FATOR2,1 ! Fator para multiplicar a carga se necessário neste
caso é 1
*SET,NNUY,14786 ! Número do nó do qual se quer fazer o gráfico
carga-deslocamento (ver listagem dos nós com coordenadas)
!
/AXLAB,Y,CARGA P! Label Y
/AXLAB,X,FLECHA UY ! Label X
NSOL,2,NNUY,U,y ! Especifica o nó cujo deslocamento Uy vai ser
plotado.
NSOL,3,1,U,Z ! Variável muda, serve para armazenar a soma das
reações (corresponde ao deslocamento UZ do nó 1).
!
NSEL,S,LOC,x,22 ! Seleciona os nós cuja coordenada y é igual a
-2.50 (escolher a coordenada de onde estão as reações).
NSEL,R,LOC,y,-2.54
*GET,NUMNOD,NODE,0,COUNT ! Captura os números dos nós de onde estão
as reações.
*GET,CURNOD,NODE,0,NUM,MIN !Captura as coordenadas dos nós onde estão
as reações de apoio.
!
*DO,I,1,NUMNOD ! Laço que faz a soma das reações Fy dos nós
selecionados antes.
RFORCE,4,CURNOD,F,y
ADD,3,3,4,SOMA
CURNOD=NDNEXT(CURNOD)
*ENDDO
!
PROD,2,2,,,,,FATOR1 ! Ajuste dos deslocamentos pelo fator FATOR1
PROD,3,3,,,,,FATOR2 ! Ajuste das cargas pelo fator FATOR2
!
XVAR,2 ! Plota os deslocamentos no eixo X
PLVAR,3 ! Plota a carga total no eixo Y Y
!
ALLSEL,ALL
FINISH

```


B.3) FORÇA X DESLOCAMENTO VIGA A2

```

/POST26
!
! Rotina para se fazer o gráfico carga-deslocamento quando se usa
! incremento de deslocamento
!
!
*SET,FATOR1,-1.00 ! Fator para multiplicar o deslocamento se
! necessário (por exemplo: torna positivos os deslocamentos)
*SET,FATOR2,1 ! Fator para multiplicar a carga se necessário neste
! caso é 1
*SET,NNUY,17921 ! Número do nó do qual se quer fazer o gráfico carga-
! deslocamento (ver listagem dos nós com coordenadas)
!
/AXLAB,Y,CARGA P! Label Y
/AXLAB,X,FLECHA UY ! Label X
NSOL,2,NNUY,U,y ! Especifica o nó cujo deslocamento Uy vai ser
! plotado.
NSOL,3,1,U,Z ! Variável muda, serve para armazenar a soma das
! reações (corresponde ao deslocamento UZ do nó 1).
!
NSEL,S,LOC,x,22 ! Seleciona os nós cuja coordenada y é igual a
! -2.50 (escolher a coordenada de onde estão as reações).
NSEL,R,LOC,y,-2.54
*GET,NUMNOD,NODE,0,COUNT ! Captura os números dos nós de onde estão
! as reações.
*GET,CURNOD,NODE,0,NUM,MIN !Captura as coordenadas dos nós onde estão
! as reações de apoio.
!
*DO,I,1,NUMNOD ! Laço que faz a soma das reações Fy dos nós
! selecionados antes.
RFORCE,4,CURNOD,F,y
ADD,3,3,4,SOMA
CURNOD=NDNEXT(CURNOD)
*ENDDO
!
PROD,2,2,,,,,FATOR1 ! Ajuste dos deslocamentos pelo fator FATOR1
PROD,3,3,,,,,FATOR2 ! Ajuste das cargas pelo fator FATOR2
!
XVAR,2 ! Plota os deslocamentos no eixo X
PLVAR,3 ! Plota a carga total no eixo Y Y
!
ALLSEL,ALL
FINISH

```

B.4) FORÇA X DESLOCAMENTO VIGA A3

```

/POST26
!
! Rotina para se fazer o gráfico carga-deslocamento quando se usa
! incremento de deslocamento
!
!
*SET,FATOR1,-1.00 ! Fator para multiplicar o deslocamento se
! necessário (por exemplo: torna positivos os deslocamentos)
*SET,FATOR2,1 ! Fator para multiplicar a carga se necessário neste
! caso é 1!
*SET,NNUY,20678 ! Número do nó do qual se quer fazer o gráfico carga-
! deslocamento (ver listagem dos nós com coordenadas)
!
/AXLAB,Y,CARGA P! Label Y
/AXLAB,X,FLECHA UY ! Label X
NSOL,2,NNUY,U,y ! Especifica o nó cujo deslocamento Uy vai ser
! plotado.
NSOL,3,1,U,Z ! Variável muda, serve para armazenar a soma das
! reações (corresponde ao deslocamento UZ do nó 1).
!
NSEL,S,LOC,x,22 ! Seleciona os nós cuja coordenada y é igual a
! -2.50 (escolher a coordenada de onde estão as reações).
NSEL,R,LOC,y,-2.54
*GET,NUMNOD,NODE,0,COUNT ! Captura os números dos nós de onde estão
! as reações.
*GET,CURNOD,NODE,0,NUM,MIN !Captura as coordenadas dos nós onde estão
! as reações de apoio.
!
*DO,I,1,NUMNOD ! Laço que faz a soma das reações Fy dos nós
! selecionados antes.
RFORCE,4,CURNOD,F,y
ADD,3,3,4,SOMA
CURNOD=NDNEXT(CURNOD)
*ENDDO
!
PROD,2,2,,,,,FATOR1 ! Ajuste dos deslocamentos pelo fator FATOR1
PROD,3,3,,,,,FATOR2 ! Ajuste das cargas pelo fator FATOR2
!
XVAR,2 ! Plota os deslocamentos no eixo X
PLVAR,3 ! Plota a carga total no eixo Y Y
!
ALLSEL,ALL
FINISH

```