PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Hernán Sebastián Bueno Carrasco

Um plug-in para verificação de estruturas metálicas pela norma NBR 8800:2008 em um ambiente BIM

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientadora: Profa. Elisa Dominguez Sotelino
Co-orientador: Prof. Luiz Fernando Campos Ramos Martha

Rio de Janeiro
Abril de 2016

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Hernán Sebastián Bueno Carrasco

Um plug-in para verificação de estruturas metálicas pela norma NBR 8800:2008 em um ambiente BIM

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof[a]. Elisa Dominguez Sotelino
Orientadora
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Luiz Fernando Campos Ramos Martha
Co- orientador
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Daniel Carlos Taissum Cardoso
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Sérgio Scheer
Universidade Federal do Paraná

Prof. Márcio da Silveira Carvalho
Coordenador Setorial do
Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de abril de 2016

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Hernán Sebastián Bueno Carrasco

Graduou-se em Engenharia Civil na E.S.P.E. (Escuela Politécnica del Ejército) no Equador, em 2011. Ingressou no mestrado na PUC-Rio em março de 2012, desenvolvendo dissertação na linha de pesquisa de Computação Gráfica Aplicada, Estruturas Metálicas e BIM.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Ficha Catalográfica

Carrasco, Hernán Sebastián Bueno

Um plug-in para verificação de estruturas metálicas pela norma NBR 8800:2008 em um ambiente BIM / Hernán Sebastián Bueno Carrasco ; orientadora: Elisa Dominguez Sotelino ; co-orientador: Luiz Fernando Campos Ramos Martha. – 2016.
184 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2016.
Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. BIM. 3. Revit Structure. 4. Análise estrutural. 5. NBR 8800. 6. Aço. I. Dominguez Sotelino, Elisa. II. Martha, Luiz Fernando Campos Ramos. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Aos meus pais.

Agradecimentos

A Deus.

Aos meus pais e minha família que sempre me apoiaram.

À Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio) e a CAPES, por ter me concedido a oportunidade de me perfeccionar e realizar este trabalho.

Aos meus orientadores, Elisa Sotelino e Luiz Fernando Martha pelo estímulo, paciência, apoio e parceria para a realização deste trabalho.

Aos professores do departamento de Engenharia Civil pelos conhecimentos recebidos.

À *Autodesk* por fornecer as ferramentas necessárias.

Ao Augusto Gonçalves e Emmanuel Weyerman, funcionário da *Autodesk* que auxiliou no fornecimento e aprendizado das ferramentas computacionais utilizadas.

A Lorena e Walter, por me ensinar a ter paciência e compartilhar todos os momentos nesta experiência, sem seu apoio e amizade nada teria sido igual.

A Jorge Tandazo, Jaime Tello, Roberto Alvarez, Ortiz Araujo, Gabrielle de Moraes, por motivar minha vida e seu apoio incondicional, pela sua ajuda e os bons momentos, por me mostrar que conto sua amizade e seu apoio sempre.

A Rita de Cassia do N. Leite, por sua ajuda incondicional, amizade e apoio total.

Aos professores que participaram da comissão examinadora.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, cada aporte, conselho e palabra foi fundamental.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Resumo

Carrasco, Hernán Sebastián Bueno; Sotelino, Elisa Dominguez. **Um plug-in para verificação de estruturas metálicas pela norma NBR 8800:2008 em um ambiente BIM.** Rio de Janeiro, 2016. 184p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A indústria da construção sempre foi um mercado competitivo que busca a certificação de qualidade com melhores índices de desempenho. Espera-se, portanto, que profissionais do planejamento da construção ofereçam respostas cada vez mais eficientes e eficazes para os problemas que enfrentam. O processo *BIM* (*Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação para Construção) tem o potencial de impactar favoravelmente esta tendência. Uma parte integral desse processo é a organização em um mesmo arquivo eletrônico ou em uma única base de dados das informações provenientes das disciplinas envolvidas e que são necessárias para o projeto. Vários softwares para desenvolvimento de projetos estruturais estão disponíveis no mercado e com o uso dos mesmos espera-se uma redução dos tempos de resposta que os engenheiros estruturais necessitam para apresentar cálculos e projetos confiáveis. No entanto, a automatização desses cálculos dentro do processo BIM ainda é incipiente. Esta dissertação apresenta a implementação do código de verificação do dimensionamento de elementos de aço de acordo com a norma brasileira vigente dentro de um ambiente BIM. Isto é feito através de um plug-in para a ferramenta computacional Revit® Structure da Autodesk, através da qual é possível acessar a base de dados que armazena as informações do modelo digital do projeto. O plug-in extrai dessa base de dados os parâmetros e as características dos elementos estruturais definidos previamente, e automaticamente checa os cálculos de acordo com a norma vigente, dentro do ambiente *BIM*. Além da verificação do projeto estrutural a ferramente permite também a modificação do projeto para atender a norma. Isso é feito através de uma interface gráfica amigável dentro do programa Revit® Structure. A ferramenta também disponibiliza um relatório final ou memória de cálculo com todas as variáveis necessárias para sua interpretação. A aplicação da ferramenta desenvolvida é uma solução completa para os usuários dentro do ambiente BIM do Revit® da Autodesk.

Palavras-chave

BIM; Revit Structure; Análise Estrutural; NBR 8800; Aço.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Abstract

Carrasco, Hernán Sebastián Bueno. Sotelino, Elisa Dominguez (Advisor). **A Plug-in for steel structures code checking according to NBR 8800:2008 in a BIM environment.** Rio de Janeiro, 2016. 184p. MSc. Dissertation. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The construction industry has always been a competitive market that is seeks quality certification combined with best performance rates. Therefore, more and more it is expected that building planning professionals provide efficient and effective responses to the problems presented to them. The BIM (Building Information Modeling) process has the potential to favorably impact this trend. An integral part of this process is the organization of all the information from all the disciplines involved in a project into a single electronic file or database. Several software packages are available in the market for structural design, which facilitate the structural engineer tasks and tend to reduce the response time necessary for them to provide a safe and reliable design. However, the automation of these tasks within the BIM process is still incipient. This dissertation presents the implementation of standard code verification within a BIM environment for steel elements fulfilling the current Brazilian Standard Code. This is achieved through a plug-in for Autodesk´s Revit Structure. The developed tool accesses the environment´s database that stores the project´s data, and extracts the parameters and characteristics of the structural elements defined previously. It automatically checks the design against the standard and allows for project modification on the fly. This is done through a friendly graphical user interface implemented within Revit Structure. The tool also provides a final report with all the information necessary for the structural design. The developed plug-in is a complete solution for users within the Autodesk´s Revit BIM environment.

Keywords

BIM; Revit Structure; Structural Analisys; NBR 8800; Steel.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Sumário

1 Introdução 21

1.1. Motivação 21

1.2. Objetivo 23

1.3. Limitações 24

1.4. Organização da dissertação 25

2 Revisão Bibliográfica 26

2.1. Revisão de Conceitos Relevantes 26

2.1.1. Processo *BIM* 26

2.1.1.1. *BIM* e Modelagem Paramétrica 28

2.1.1.2. Ferramentas Computacionais utilizadas no Processo *BIM* 29

2.1.2. Ferramentas Utilizadas no Desenvolvimento do Plug-in 32

Revit® API 35

2.2. Revisao da literatura 37

3 Dimensionamento de Peças Segundo a Norma NBR 8800:2008 42

3.1. Dimensionamento de Peças Tracionadas 45

3.1.1. Verificação do escoamento da área bruta (NBR 8800:2008 – 5.2.2-a) 45

3.1.2. Verificação para a ruptura da seção líquida (NBR 8800:2008 – 5.2.2-b) 46

3.1.3. Verificação da esbeltez máxima nas peças (NBR 8800:2008 –5.2.7) 47

3.1.4. Fluxograma para Dimensionamento de Peças Tracionadas 48

3.2. Dimensionamento de Peças Comprimidas 49

3.2.1. Estudo de flambagem local (NBR 8800:2008 – Anexo F) 49

3.2.1.1. Estudo da flambagem local das mesas (Determinação do Q_s) 49

3.2.1.2. Estudo da flambagem local da alma (Determinação do Q_a) 50

3.2.1.3. Determinação da Flambagem local de barras axialmente comprimidas 51

3.2.2. Estudo da flambagem global (NBR 8800:2008 – Anexo E) 52

3.2.3. Determinação de $N_{c,\,Rd}$(NBR 8800:2008 – Seção 5.3.2) 52

3.2.4. Verificação da esbeltez máxima das peças (NBR 8800:2008 – 5.3.4) 53

3.2.5. Fluxograma para Dimensionamento de Peças Comprimidas 54

3.3. Dimensionamento de Peças a Flexão e Força Cortante 55

3.3.1. Estudo da flambagem local (NBR 8800:2008 Anexo G) 55

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.3.1.1. Estudo da flambagem local das mesas – FLM 55
3.3.1.2. Estudo da flambagem local da alma – FLA 56
3.3.1.3. Estudo da flambagem lateral com torção – FLT 57
3.3.2. Determinação de Mc Rd (NBR 8800:2008 – Seção 5.3.2) 58
3.3.3. Verificação do esforço cortante (NBR 8800:2008 – Seção 5.3.2) 58
3.3.4. Fluxograma para Dimensionamento de Peças a Flexão e Força Cortante 60
3.4. Dimensionamento de Peças a Flexo-Compressão 61
3.4.1. Fluxograma para Dimensionamento de Peças a Flexo-Compressão 61

4 Código de Verificação do Dimensionamento 62
4.1. Softwares Requeridos 62
Microsoft® Visual Studio® 2010 62
Revit® 2014 62
Ferramentas de análise estrutural 63
Structural Analysis Toolkit 2014 para Autodesk® Revit® 64
SDK - *Software Development Kit* 65
4.2. Dimensionamento de Elementos de Aço usando o *plug-in* 70
4.2.1. Preparação do ambiente de trabalho dentro do *Microsoft® Visual Studio® 2010* 71
4.2.2. Estrutura do Projeto 74
4.2.2.1. *Properties* 74
4.2.2.2. *References* 75
4.2.2.3. *Addin* 77
4.2.2.4. *Application* 79
4.2.2.5. *Main* 80
4.2.2.6. *Enum* 107
4.2.2.7. Server 108
4.2.2.8. *Updater* 128
4.3. Unidades usadas 128
4.4. *Debuggin* ou Depuração do Código 131
4.5. Documentação 132
4.5.1. Módulo de Impressão de Documentação 132
4.5.1.1. *DocumentSection* 134
4.5.1.2. *DocumentLineBreak* 134
4.5.1.3. *DocumentText* 135
4.5.1.4. *DocumentValue* 136

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4.5.1.5. *DocumentValueWithDescription* 137
4.5.1.6. *DocumentValueWithName* 137
4.5.1.7. *DocumentImage* 138
4.5.1.8. *DocumentStatus* 138
4.5.1.9. *DocumentDiagram* 139
4.5.1.10. DocumentDiagramSeries 140
4.5.2. *Images* 143
4.6. Avaliação do Código 145

5 Conclusões 151
5.1. Resumo e Conclusões 151
5.2. Sugestão para Trabalhos Futuros 153

6 Referências bibliográficas 154

7 Apêndices 159
Apêndice A: Exemplo de Aplicação da Ferramenta 159
A.1. Projeto Arquitetônico 159
A.2. Projeto Estrutural 160
A.3. Definição das Ações sobre a Estrutura 164
A.4. Combinações das Ações 164
A.5. Análise Estrutural 165
A.5.1. Via Integração com o *Robot™ Structural Analysis Professional* 165
A.5.2. Via *Autodesk® 360º Structural Analysis for Autodesk® Revit®* (nuvem) 167
A.6. Ferramentas de Exploração e Armazenamento de Resultado da Análise Estrutural. 169
A.6.1. *Results Manager* 169
A.6.2. *Result Explorer* 169
A.7. Aplicação do NBR8800V1. 171
A.7.1. Definição de parâmetros de código – *CODE SETTINGS*. 171
A.7.2. Definição de parâmetros dos elementos – *ELEMENT SETTINGS* 174
A.8. Resultados do NBR8800V1 176
A.8.1. *Run Calculations* 176
A.8.2. *Results* 177
A.9. Relatório Final de Resultados. 177
Apêndice B: O relatório final de uma das peças analisadas no Estudo de caso 178

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Lista de figuras

Figura 1. *BIM* e o ciclo de vida de uma edificação segundo o *New Zeland BIM HandBook* (2014). 27
Figura 2. Arquivos contidos no SDK. 36
Figura 3. Arquivos contidos na pasta *Structural Analysis* SDK dentro da pasta SDK. 36
Figura 4. Arquivos contidos na pasta Documentation dentro da pasta *Structural Analysis* SDK. 37
Figura 5. Arquivos contidos na pasta Examples dentro da pasta *Structural Analysis* SDK. 37
Figura 6. Arquivos contidos na pasta VisualStudio dentro da pasta *Structural Analysis* SDK. 37
Figura 7. Fluxograma para Dimensionamento de Peças Tracionadas 48
Figura 8. Fluxograma para Dimensionamento de Peças Comprimidas 54
Figura 9. Fluxograma para Dimensionamento de Peças a Flexão e Força Cortante 60
Figura 10. Fluxograma para Dimensionamento de Peças a Flexo-Compressão 61
Figura 11. Barra de ferramentas Analyze antes da instalação do Toolkit e do código de verificação da Norma Brasileira NBR8800V1. 63
Figura 12. Barra de ferramentas da *Autodek*® 360º. 64
Figura 13. Barra de ferramenta Analyze após a instalação do Toolkit. 65
Figura 14. Instalação do Kit de desenvolvimento de software a partir do *Revit Structure*, (a) Selecionar *Install Tool & Utilities*, (b) Selecionar *Revit Software Development Kit*. 65
Figura 15. Janela de criação de novo projeto dentro do Visual Studio® 2010, após a instalação dos modelos do SDK. 66
Figura 16. Visualização da barra de ferramentas Analyze após a instalação do *Structural Analysis* and Code checking Toolkit for Autodesk® Revit®. 67
Figura 17. Visualização da barra de ferramentas Analyze, após a instalação do *Structural Analysis and Code checking Toolkit for Autodesk® Revit®* com a implementação do código de verificação da Norma Brasileira NBR8800V1. 67
Figura 18. Ícone *Code Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*. 68

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 19. Ícone *Element Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*. 68
Figura 20. Ícone *Run Calculations* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*. 68
Figura 21. Ícone Results da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*. 68
Figura 22. (a) Ícone de *Robot™ Structural Analysis*, (b) Menu desdobrável do Ícone *Robot Structural Analysis* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*. 69
Figura 23. Ícone Analyze in Cloud da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*. 69
Figura 24. Ícone Results Manager da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*. 69
Figura 25. Ícone Results Explorer da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*. 70
Figura 26. Ligação entre os vários programas e a ferramenta computacional que implementa Norma NBR8800V1. 71
Figura 27. Criação de um novo projeto dentro do *Visual Studio® 2010*. 72
Figura 28. Janela de criação de novo projeto no *Visual Studio*® 2010. 72
Figura 29. (a) passo 1: definição do nome, descrição, vendedor e descrição do vendedor, (b) passo 2: definição do material, elementos estruturais suportados, sistema de unidades e referências (*Engineering Component*). 73
Figura 30. Arquivos gerados pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, (a) arquivos dentro das pastas *Properties e References*, (b) arquivos dentro das pastas *Addin, Application, Main, Server e Updater*. 74
Figura 31. Extrato de código arquivo do *AssemblyInfo.cs.* 75
Figura 32. Adição de referência das bibliotecas necessárias para o código. 76
Figura 33. Janela *Add Reference* aparecerá onde se pode escolher a aba de *Browse* se procurará as referências necessárias nas pastas indicadas. 76
Figura 34. Código do arquivo NRB8800V1DB.addin. 78
Figura 35. Código do arquivo NRB8800V1UI.addin. 78
Figura 36. Endereço onde o arquivo NBR8800V1.dll do código de verificação se encontra guardado. 79
Figura 37. Exemplo de aplicação de propriedades e atributos em uma variável do código. 80

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 38. Ícone *Code Settings*, da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*. 82
Figura 39. Janela *Code Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*. 83
Figura 40. *Enum Control – ComboBox* na Janela *Code Settings*. 83
Figura 41. Extrato de código arquivo do *CalculationParameter.cs*, "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND)* - *Enum Control - ComboBox*. 84
Figura 42. Descrição das propriedades e atributos da variável "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND) - Enum Control – ComboBox*, no arquivo *CalculationParameter.cs*. 85
Figura 43. Extrato de código arquivo do *Enum.cs*. 86
Figura 44. Inicialização da variável "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND) - Enum Control - ComboBox.* 86
Figura 45. *UnitTextBox* - na Janela *Code Settings*. 86
Figura 46. Extrato de código arquivo do *CalculationParameter.cs, "γa1" (public Double a1) – UnitTextBox.* 87
Figura 47. Descrição das propriedades e atributos da variável "γ_{a1}" *(public Double a1) – UnitTextBox*, no arquivo *CalculationParameter.cs*. 88
Figura 48. Inicialização da variável "γ_{a1}" *(public Double a1) – UnitTextBox*. 89
Figura 49. *CategoryCheckBox* – na Janela *Code Settings*. 90
Figura 50. Extrato de código arquivo do *CalculationParameter.cs, "1.- Tração" (public bool Tracao) - CategoryCheckBox*. 90
Figura 51. Descrição das propriedades e atributos da variável "1.- Tração" *(public bool Tracao)-CategoryCheckBox*, no arquivo *CalculationParameter.cs*. 91
Figura 52. Inicialização da variável "1.- Tração" *(public bool Tracao) - CategoryCheckBox*. 91
Figura 53. Interface de usuário após a implementação do código no arquivo *CalculationParameter.cs*. 92
Figura 54. *Category Analysis* – na Janela *Code Settings*. 93
Figura 55. Exemplo de seleção da análise feita pelo *Robot* ou pelo serviço na nuvem para a verificação da norma. 93
Figura 56. *Category Load cases and combinations* – na Janela *Code Settings*. 94
Figura 57. Exemplo de seleção de cargas e combinações disponíveis para a verificação da norma. 94

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 58. Ícone *Element Settings*, da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*. 95
Figura 59. Janela *Element Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*. 96
Figura 60. Uso de *Enum Control – ComboBox e UnitTextBox na Enum Control – ComboBox* na Janela *Element Settings*. 96
Figura 61. *CheckBox* na Janela *Element Settings*. 99
Figura 62. Extrato de código arquivo do *Label.cs*, "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly..." *(public bool LyChkOnOff), - CheckBox*. 99
Figura 63. Descrição das propriedades e atributos da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly …" (*public bool LyChkOnOff) – CheckBox*, no arquivo *Label.cs*. 101
Figura 64. Inicialização da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly …" *(public bool LyChkOnOff) - CheckBox*. 101
Figura 65. Ícone *Run Calculations* e ícone *Results* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*. 103
Figura 66. Exemplo do relatório final apresentado pelo código de verificação da Norma NBR8800V1. 103
Figura 67. Extrato de código arquivo do *Results.cs, "fy" (public Double fy)*. 104
Figura 68. Descrição das propriedades e atributos da variável *"fy (public double fy)* no arquivo*Results.cs*. 105
Figura 69. Extrato de código arquivo do *Results.cs*, "LxChkOnOff" *(public Double LxChkOnOff).* 105
Figura 70. Descrição das propriedades e atributos da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Lx …" *(public bool LxChkOnOff)* no arquivo*Results.cs*. 106
Figura 71. Criação do novo arquivo *Enum.cs*. 107
Figura 72. Tipo de arquivo Class *(Visual C# Ítems)*. 107
Figura 73. Arquivo *Enum.cs* modificado com as estruturas de dados do tipo *Enum Control*. 108
Figura 74. Opções de escolha da variável "Tipo de Coefs.": "Teórico" e "Recomendado". 109
Figura 75. Inicialização da variável "Tipo de Coefs. = " - *EnumControl – ComboBox.* 110

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 76. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle Inicial do UI – User Interface na variável “Tipo de Coefs.” *(public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado)*, com a modificação das variáveis que dependem dela. 111
Figura 77. Resultado do Controle Inicial do UI – *User Interface* na variável “Tipo de Coefs.” (*public TeoricoOuRecomendado TeoricoOu Recomendado – Emum Control*). 112
Figura 78. Extrato de código arquivo do *Enum.cs*, opções da variável “Coefs. Teóricos Kx ” *(public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control)*. 112
Figura 79. Apresentação da variável “Coefs. Teóricos Kx ” na interface de usuário do *Revit® Structure 2014*. 113
Figura 80. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle de mudanças de texto no *UI* – na variável “Coefs. Teóricos Kx ” *(Variável public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control)*. 114
Figura 81. Resultado do Controle inicial do *UI* – Controle de mudanças de texto no *UI* – na variável “Coefs. Teóricos Kx ” *(Variável public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control)*. 114
Figura 82. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle Geral de Mudanças do *UI* – User Interface, exemplo das mudanças *onCoefficientPonderationChange(e); onTeoricoOuRecomendadoChange(e); onLaminadosChkOnOffChange(e)* e *onSoldadosChkOnOffChange(e)*. 115
Figura 83. Código *ServerUI.cs* 116
Figura 84. Opções de escolha da variável “Combinações” *(public Combinacao COEFPOND)* que controla os valores atribuídos às variáveis “γa1” *(public Double a1)* e “γa1” *(public Double a2)*. 116
Figura 85. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle de concessão de valores em tempo real na variável “Combinações” *(public Combinacao COEFPOND)* com a modificação das variáveis dependem dela. 117
Figura 86. Resultado controle de concessão de valores em tempo real na variável "Combinações "*(public Combinacao COEFPOND)*. 117
Figura 87. Código de chamado ao controle de concessão de atributos em tempo real. 118
Figura 88. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle de concessão de atributos em tempo real na variável “Tipo de Coefs.*”* com a modificação das variáveis que dependem dela. 119

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 89. Resultado do Controle de concessão de atributos em tempo real, na variável “Tipo de Coefs.” (*public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado – Emum Control*). 119
Figura 90. Código de chamado ao controle de *RadioButton*. 120
Figura 91. Resultado do Controle de *RadioButton* nas variáveis “Perfil de aço laminado” (*public bool LaminadosChkOnOff*) e “Perfil de aço soldado” (*public bool SoldadosChkOnOff*). 120
Figura 92. Extrato de código arquivo do ServerUI.cs, controle de *RadioButton* nas variáveis “Perfil de aço laminado” *(public bool LaminadosChkOnOff)* e “Perfil de aço soldado” *(public bool SoldadosChkOnOff)*. 121
Figura 93. Extrato do código da estrutura de chamado de propriedades mecânicas. 123
Figura 94. Extrato do código da estrutura de chamado de propriedades da peça. 124
Figura 95. Extrato do código da estrutura de seleção dos tipos de perfis suportados pelo programa *Revit® Structure*. 126
Figura 96. Extrato do código da estrutura de chamado das Forças e Momentos dos resultados da análise estrutural. 127
Figura 97. Extrato do código da estrutura de controle de rotação da peça. 128
Figura 98. Exemplo de uso de atributo *Unit* nas unidades métricas e imperiais. 129
Figura 99. Exemplo de uso de atributo *DisplayUnit* nas unidades métricas, imperiais e outro sistema definidas pelo usuário. 130
Figura 100. Project *Units* do *UI* do *Revit® Structure 2014*. 130
Figura 101. Exemplo de Unidades de impressão do relatório final do NBR8800V1. 130
Figura 102. Configuração das Propriedades do Código NBR8800V1 no *Visual Studio® 2010*. 131
Figura 103. Configuração das Propriedades do Código NBR8800V1 no *Visual Studio® 2010* para o *Debuggin*. 132
Figura 104. Transferência de dados do *Results.cs* ao *Server.cs* “MÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO” para realizar o relatório final do código de verificação da Norma NBR8800V1. 133
Figura 105. Definição do corpo do Documento final. 133

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 106. Implantação do código de *DocumentSection*, no módulo de impressão de documentação. 134
Figura 107. Implantação do código de *DocumentLineBreak* no módulo de impressão de documentação. 135
Figura 108. Implantação do código de *DocumentText* no módulo de impressão de documentação. 136
Figura 109. Implantação do código de *DocumentValue* no módulo de impressão de documentação. 136
Figura 110. Implantação do código de *DocumentValueWithDescription* no módulo de impressão de documentação. 137
Figura 111. Implantação do código de *DocumentValueWithName* no módulo de impressão de documentação. 137
Figura 112. Implantação do código de *DocumentImage* no módulo de impressão de documentação. 138
Figura 113. Implantação do código de *DocumentStatus* no módulo de impressão de documentação. 139
Figura 114. Implantação do código de *DocumentDiagram* no módulo de impressão de documentação. 140
Figura 115. Implantação do código de *DocumentDiagramSeries* no módulo de impressão de documentação. 141
Figura 116. Código do exemplo de documentação. 142
Figura 117. Resultado do relatório final produto do código do exemplo de documentação. 143
Figura 118. Criação da nova pasta Images. 143
Figura 119. Figuras coladas na pasta Images. 144
Figura 120. Incorporação das imagens necessárias no código NBR8800V1. 144
Figura 121. Propriedades da imagem *Notsection.png*. 145
Figura 122. Perfil W 310x52 usado no exemplo de avaliação do Código. 145
Figura 123. Projeto arquitetônico– vista 3D. 159
Figura 124. Projeto arquitetônico – vista frontal. 160
Figura 125. Planta do primeiro Pavimento. 160
Figura 126. Planta do segundo Pavimento. 161
Figura 127. Cobertura. 161
Figura 128. Vista Frontal. 162
Figura 129. Vista lateral. 162
Figura 130. Sobreposição da estrutura sob o projeto arquitetônico. 162

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 131. Perspectiva geral da estrutura. 163
Figura 132. Definição das propriedades mecânicas no *Revit® Structure*. 163
Figura 133. Definição das ações sobre a estrutura. 164
Figura 134. Combinações de Carregamento. 165
Figura 135. Combinações de Carregamento. 165
Figura 136. Integração do modelo no *Revit® Structure* com o *Robot™ Structural Analysis Professional*. 166
Figura 137. Interface de usuário do *Robot™ Structural Analysis Professional.* 166
Figura 138. Integração do modelo do *Robot™ Structural Analysis Professional* com o *Revit® Structure*. 167
Figura 139. Ícone *Analyze in Cloud* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*. 167
Figura 140. Integração do modelo do Via *Autodesk® 360º Structural Analysis for Autodesk® Revit®* (nuvem) com o *Revit® Structure*. 168
Figura 141. Ícone *Results Manager* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*. 169
Figura 142. *Results Manager*. 169
Figura 143. Ícone *Results Explorer* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*. 169
Figura 144. Exemplo de exploração dos resultados de forças Fx no modelo para a combinação de carga COM2 (ELU) O-L. 170
Figura 145. Ícone *Code Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*. 171
Figura 146. Janela *Code Settings,* definição dos coeficientes de ponderação das resistências γm, e a definição dos tipos de análises a ser feitos no modelo. 171
Figura 147. Janela *Code Settings,* definição dos resultados da análise que serão considerados para a verificação do da norma, com o código NBR800V1 e seus cálculos. 172
Figura 148. Janela *Analysis* definição dos resultados da análise que serão considerados para a verificação da norma, mediante o código NBR800V1 e seus cálculos. 172
Figura 149. Janela *Code Settings*, definição das combinações de carga que serão consideradas nos cálculos da Norma NBR8800V1. 173
Figura 150. Janela *Code Settings*, definição das combinações de carga que serão consideradas nos cálculos da Norma NBR8800V1. 173

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 151. Ícone *Element Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*. 174
Figura 152. Vinculação de cada uma das peças ou de um conjunto de peças para definições de parâmetros dos elementos. 174
Figura 153. Janela de *Element Settings,* vinculação de cada peça ou um conjunto de peças para definições de parâmetros dos elementos. 175
Figura 154. Ícone *Run Calculations* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*. 176
Figura 155. Ícone *Results* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*. 177

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Lista de tabelas

Tabela 1: Índice de símbolos usados. 42
Tabela 2: Principais atributos empregados nas propriedades de cada variável no código de verificação NBR8800V1. 81
Tabela 3: Avaliação do Código de verificação NBR8800V1 em relação ao exemplo da literatura técnica. 146

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

1 Introdução

Este capítulo apresenta a motivação e o principal objetivo desta dissertação, que é o desenvolvimento de um pós-processador como uma solução confiável para otimizar o dimensionamento de estruturas de aço dentro de um ambiente *BIM* (*Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção). A organização deste documento é apresentada na parte final deste capítulo.

1.1. Motivação

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), o conjunto de regras e especificações para cada tipo de estrutura, é reunido em documentos oficiais, denominados Normas, que estabelecem bases comuns para os engenheiros na elaboração de projetos. No caso de Normas para projetos estruturais, essas bases consistem em um conjunto de critérios para garantir a segurança, deslocabilidade em desempenho em serviço.

Com base nessas normas, documentos de projetos são gerados. No entanto, observa-se que, no mundo inteiro, a forma como esses documentos são distribuídos (projetos no papel) durante a realização de um empreendimento causa ineficiências. O desenvolvimento de uma iniciativa de construção continua retido por causa do método de distribuição destes documentos provocando perda de tempo e dinheiro para investidores, construtores e supervisores.

Segundo Ferreira (2007), na década de 90 surge o conceito de Engenharia Simultânea (Concurrent Engineering - CE), que junta várias considerações que defendem algumas ações que permitem a redução de tempo no processo de produção de bens pela indústria. No campo da Construção Civil, este conceito ainda não foi aplicado amplamente, mas o seu conceito sempre esteve presente de alguma forma, especialmente nos estudos para um melhor gerenciamento dos empreendimentos de construção.

Tentando diminuir estes tempos, os profissionais se apoiam em ferramentas computacionais do tipo CAD (*Computer-Aided Design* ou projeto assistido por computador) para simplificar o fluxo das documentações impressas

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

no papel como forma de comunicação. Isso diminui erros, omissões e falhas causadas pela duplicação de documentos.

D'Alambert (2010) afirma que tais ferramentas bem como softwares de análise estrutural estão cada vez mais abrangentes, permitindo análises mais complexas. Porém, o problema principal continua sendo a concepção do sistema estrutural adequado (pré-análise, dimensionamento e pós-análise).

Segundo o Dicionário Online de Português, o significado da palavra Concepção é o *"Resultado do processo de criação*" ou *"Trabalho da inteligência"* (https://www.dicio.com.br/concepcao/), por o que a concepção é uma atividade que depende da criatividade humana, sendo está difícil de ser programada.

A fim de minimizar erros na concepção dos sistemas estruturais e tendo a ajuda de softwares de análise ou processadores de informação, as Normas Técnicas são elaboradas e servem como documentos oficiais. Como exemplo pode-se citar as Normas Brasileiras da Construção. Uma delas, a NBR 8800:2008 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios), define como projeto, o conjunto de especificações, cálculos estruturais, desenhos de projeto, de fabricação e de montagem dos elementos de aço.

Atualmente, os projetos de construção civil desde a sua concepção são cada vez mais desenvolvidos com o auxílio de ferramentas computacionais. Em particular, as tarefas de análise estrutural, dimensionamento e otimização são cada dia mais assistidas por computador.

De acordo com Lourenço *et al*. (1997), os riscos e falhas inerentes ao cálculo assistido por computador de qualquer estrutura têm diversas origens, tais como: erros ou desconhecimento na introdução dos dados, desconhecimento das hipóteses usadas no software e da sua validade, entre outras. A responsabilidade do engenheiro é ampliada quando ele escolhe a assistência de um computador para a concepção de seus projetos visto que os seus conhecimentos técnicos tem que ser provados, tanto como engenheiro estrutural quanto o domínio da ferramenta computacional utilizada.

O processo *BIM*, quando bem adotado, tende a diminuir os riscos mencionados acima. Enquanto em um programa de CAD 2D ou 3D é apenas uma representação gráfica de uma edificação e utiliza apenas entidades gráficas (linhas, arcos, círculos), os softwares utilizados no processo *BIM* são baseados em objetos paramétricos inteligentes que representam, por exemplo, componentes da edificação (paredes, vigas, colunas, portas, etc.). A sua lógica interpreta a interação entre diferentes tipos de objetos e armazena as

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

informações sobre os mesmos. Por isso, cada vez mais os métodos tradicionais só baseados em representações gráficas em duas dimensões estão sendo considerados improdutivos. O processo *BIM* marca uma nova era para os profissionais de Arquitetura, Engenharia e Construção - AEC não só porque estes economizam tempo ao criar, analisar, calcular e modificar os seus projetos, mas também facilita a interação entre os vários especialistas e técnicos envolvidos no projeto, a partir de compartilhar conteúdos específicos de cada especialidade em um mesmo modelo *BIM* (www.4msa.com).

A motivação deste trabalho é facilitar ainda mais o processo de colaboração intrínseco ao conceito *BIM*. Para tal, é criada uma interface de Programação de Aplicativos ou API (*Application Programming Interface*) usando um plug-in dentro de um programas comercial muito utilizado na implementação do processo *BIM*. Este pós-processador de informação permite verificar os resultados obtidos por um programa comercial de dimensionamento de acordo com a Norma brasileira de projetos de estruturas de aço. A intenção dessa ferramenta é facilitar ainda mais o processo de colaboração intrínseco ao conceito *BIM*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é criar uma ferramenta computacional para a verificação, dimensionamento de elementos estruturais de aço de acordo com os critérios recomendados pela Norma NBR 8800:2008, no contexto do processo *BIM.* Este pós-processador foi implementado dentro de um programa comercial de ambiente *BIM*. Uma interface amigável foi desenvolvida para ajudar a diminuir o tempo consumido nos cálculos dessas peças e para melhorar a documentação dos mesmos.

Este objetivo está relacionado com a necessidade de profissionais da área de estruturas metálicas em:

- diminuir o tempo gasto nas tarefas de execução de análises, de cálculo das estruturas, dimensionamento e otimização, assistidos por computador;
- diminuir os erros, omissões e falhas, causadas por duplicação de documentos;
- simplificar a geração e a troca de documentos digitais e impressos, e consequentemente facilitar a comunicação; e
- evitar o documentações técnicas desatualizadas.

Para alcançar resultados compatíveis com o objetivo acima, as seguintes tarefas foram realizadas:

- entender como o dimensionamento de estruturas metálicas é realizado com base na Norma NBR 8800:2008;
- aprender a linguagem utilizada para implementação de plug-ins dentro da ferramenta *BIM* selecionada;
- elaborar o código base da ferramenta que faz os cálculos de verificação referidos na Norma NBR 8800:2008;
- elaborar uma interface de usuário amigável, dentro do programa comercial de ambiente *BIM*;
- comparar os resultados entregues pela ferramenta com os da literatura, verificando assim, confiabilidade dos resultados obtidos; e
- elaborar um exemplo prático demonstrando a utilização da ferramenta desenvolvida;

1.3. Limitações

As limitações deste trabalho são listadas a seguir.

- A ferramenta foi desenvolvida apenas para dimensionamento de elementos de aço de acordo com a Norma NBR8800:2008 “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios”. Não foi considerado o dimensionamento de estruturas mistas de aço e concreto.
- Não foram considerados todos os tipos de perfis de aço contidos na Norma. O código de verificação desenvolvido é limitado a perfis de tipo I ou semelhantes, laminados ou soldados, desde que sejam simétricos. No entanto, foram incorporadas opções para a inclusão de outros perfis.
- A ferramenta só é aplicável para membros de aço com seção constante, sem aberturas.
- O pós-processador faz uma verificação das ligações entre elementos estruturais, mas não de sua concepção.
- O pós-processador faz uma verificação dos membros com relação ao esgotamento da capacidade resistente dos elementos, sem levar em conta o desempenho em serviço da estrutura.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- A ferramenta só é capaz de considerar as orientações dos perfis que são múltiplos de 90° de rotação da peça em relação ao eixo da barra, com uma tolerância de ± 1°.
- Dentro do dimensionamento de peças a flexão e força cortante, no estudo da flambagem local da alma, se a alma for esbelta as prescrições do Anexo H da Norma NBR 8800:2008 não foram consideradas neste trabalho.

1.4. Organização da dissertação

Essa dissertação é organizada em seis capítulos conforme descrito a seguir:

O capítulo 2 apresenta os conceitos principais relacionados ao processo *BIM* modelagem paramétrica, e apresenta as ferramentas de aplicação desta metodologia mais usadas no mundo. Também apresenta as ferramentas de integração utilizadas neste trabalho.

O capítulo 3 apresenta a sequência de cálculo para as estruturas de aço de acordo com a Norma NBR 8800:2008, especificamente para os perfis tipo I.

O capítulo 4 descreve a ferramenta desenvolvida neste trabalho, assim como todas as suas funcionalidades e limitações e apresenta a forma como a ferramenta documenta a informação. Um exemplo da literatura também é apresentado como forma de verificação do software desenvolvido.

O capítulo 5 conclui a dissertação com um resumo dos principais pontos e as principais conclusões do trabalho. São também apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

Finalmente, o Apêndice A apresenta um exemplo da utilização da ferramenta desenvolvida no dimensionamento de uma edificação de dois andares. O apêndice ilustra o procedimento de geração do projeto estrutural dentro do ambiente *BIM* e apresenta a utilização da ferramenta de verificação da Norma. O apêndice B apresenta os resultados do exemplo anteriormente mencionado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

2 Revisão Bibliográfica

2.1. Revisão de Conceitos Relevantes

2.1.1. Processo *BIM*

A *BuildingSMART*, organização internacional sem fins lucrativos que apóia o processo aberto BIM, dentro do *New Zeland BIM HandBook* (2014), define a processo *BIM* como uma representação digital das características físicas e funcionais de um edifício. Como tal, ele serve como um recurso de conhecimento compartilhado para obter informações sobre um edifício, formando uma base confiável para decisões durante o seu ciclo de vida, da concepção em diante. A chave principal é que *BIM* não é qualquer ato ou processo único. Não é a criação de um modelo 3D de forma isolada a partir de outros ou utilização de fabricação baseado em computador. É estar ciente das necessidades de informação de todos os participantes dentro do processo. Um modelo *BIM* pode conter informações ou dados sobre a concepção, construção, logística, operação, manutenção, orçamentos, cronogramas e muito mais. A informação contida dentro *BIM* permite uma análise mais rica do que os processos tradicionais. Informações criadas em uma fase podem ser passadas para outras pessoas técnicas envolvidas no projeto, para um maior desenvolvimento e reutilização.

Para poder representar as características físicas e funcionais de um edifício, os componentes deste edifício também devem ter características do mesmo tipo individualmente. Para isto, o processo *BIM* se baseia no conceito de Modelagem Paramétrica, que será definida mais precisamente na seção 2.1.1.1.

De forma geral, segundo o *New Zeland BIM HandBook* (2014), o ciclo de vida de uma edificação no processo *BIM* é composto das seguintes fases (Figura 1): 1)Pré-concepção (programação, planejamento, estimativa de custos, modelagem das condições existentes), 2) Concepção (análise, documentação, coordenação, estimativa de custos), 3) Construção (coordenação, fabricação, gerenciamento da programação (4D), gestão de custos (5D)), 4) Operação (modelagem de registro – as-built, gestão de instalações, gestão de ativos, Demolição), e 5) Renovação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

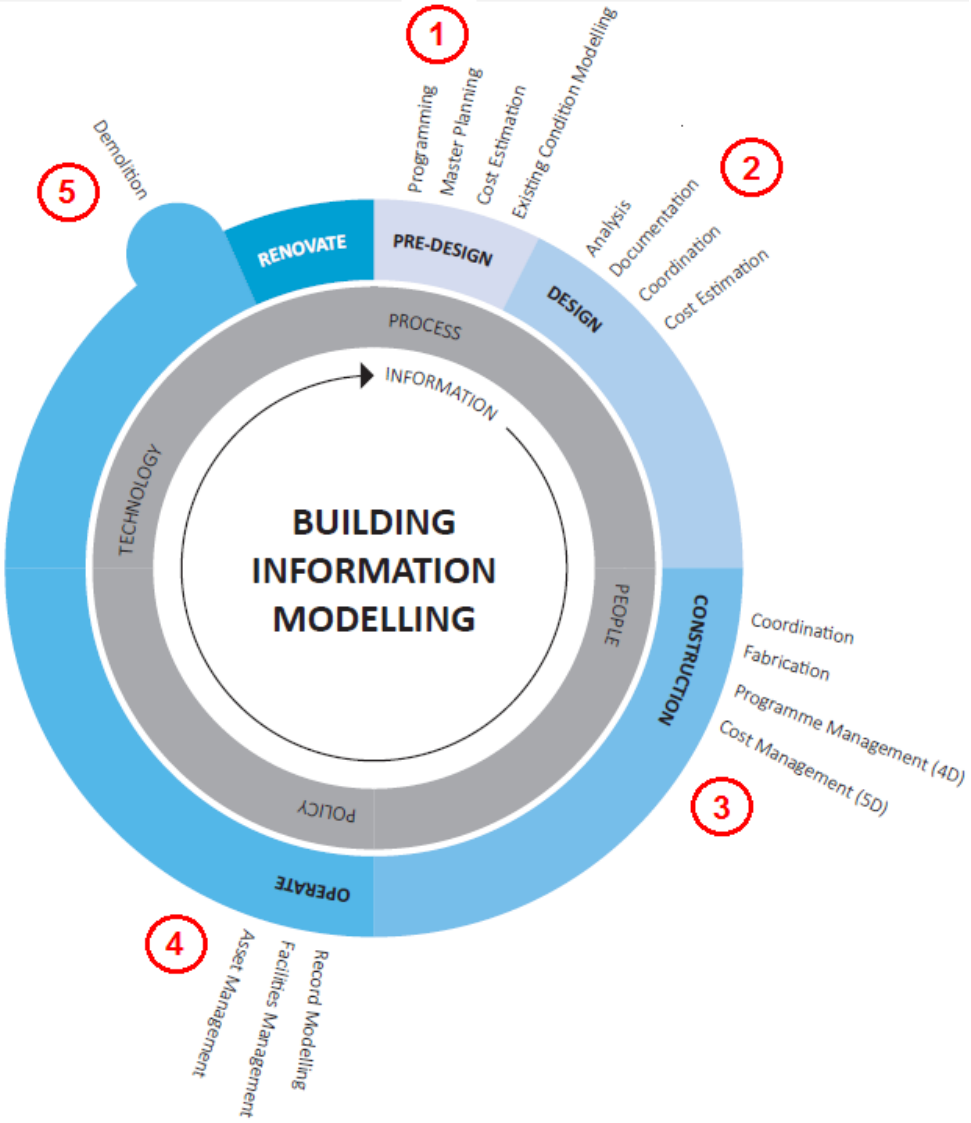


Figura 1. *BIM* e o ciclo de vida de uma edificação segundo o *New Zeland BIM HandBook* (2014).

Segundo a PMKB – Project Management Knowledge Base (2006), dentre os benefícios do processo *BIM*, pode-se destacar a facilidade de compatibilização de projetos e a geração de tabelas de materiais para auxiliar na elaboração de orçamentos, ou seja, características em relação à qualidade. Em um caso ideal, as pessoas envolvidas nas diversas disciplinas poderão trabalhar de forma colaborativa utilizando um modelo central, o qual será constantemente atualizado e compatibilizado através de softwares de detecção automática de interferências geométricas entre as disciplinas. Isto reduz riscos e posteriormente problemas que poderão surgir no canteiro de obras. Diferente da filosofia usual, onde cada especialista trabalha independentemente e o

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

procedimento de compatibilização está sujeito a muitas falhas, especialmente por deficiências na comunicação.

Também, é muito importante destacar a comunicação que será feita com o cliente, outro dos grandes benefícios do processo *BIM*, visto que uma vez que um modelo 3D permitirá uma melhor visualização do projeto e, dando como efeito um atendimento a todas as perspectivas e àquilo combinado no escopo. (http://pmkb.com.br/artigo/o-que-e-tecnologia-bim-e-seus-beneficios/).

2.1.1.1. *BIM* e Modelagem Paramétrica

Segundo a revista PC Magazine, na sua enciclopédia de versão digital, define Modelagem Paramétrica como o uso do computador para projetar objetos modelando seus componentes com os comportamentos e atributos do mundo real. Principalmente no projeto mecânico ou de construção, um software de modelagem paramétrico está ciente das características dos componentes e as interações entre eles. Ele mantém relações consistentes entre elementos enquanto o modelo é manipulado. O software modelador paramétrico também proporciona uma vista tabular dos componentes ou lista de partes ou materiais, e mantém sua associação com outros elementos do modelo. Se um componente é editado graficamente, a lista é atualizada; se um componente é editado na lista, os pontos de vista gráficos são atualizados.
(http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/48839/parametric-modeling).

Para conseguir este nível de associação entre as linhas do modelo gráfico com as características dos comportamentos e atributos do mundo real, é necessário entender o que é um Símbolo Paramétrico. Este é definido pela mesma revista como uma representação de um elemento arquitetônico, mecânico ou elétrico que contém parâmetros que descrevem suas características. Devido a essa modelagem paramétrica, o projetista, bem como o software, é capaz de lidar com o objeto como uma entidade real e não apenas como um conjunto de linhas e polígonos. (http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/48840/parametric-symbol).

Então, pode-se dizer que os softwares baseados em modelagem paramétrica produzem modelos ricos em informações, tais como: forma e suas propriedades geométricas, propriedades mecânicas e físicas, relações espaciais, informações geográficas, quantidades de materiais, dimensões, custos, entre outras. Em um projeto de construção, usando o processo *BIM* através de um modelador paramétrico, a informação se encontra interligada pelo meio de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

relações paramétricas. Isso significa que as alterações são processadas em tempo real em todo o modelo, permitindo que o modelo seja modificado e atualizado automaticamente.

Segundo Eastman et al. (2010), as plataformas ou softwares de modelagem mais conhecidos para a aplicação do processo *BIM* no mercado são: Revit, Bentley Systems, ArchiCAD, VectorWorks, Tekla Structures, DProfiler e AutoCAD-Based Applications. Há também novos programas como: SolidWorks, Solibri Model Checker, DataCad, Nemetschek Allplan, Cype, TecnoMETAL, ACCA Software, entre outros.

O objetivo deste trabalho é complementar uma das plataformas de aplicação do processo *BIM* de uso comercial para através da integração de um pós-processador de verificação e dimensionamento de peças de aço de acordo com a Norma NBR8800:2008, que funcione dentro da mesma interface do próprio programa. Portanto, a utilização da ferramenta desenvolvida é uma aplicação do processo *BIM,* que se expandida, permitirá aos projetistas e engenheiros brasileiros um melhor gerenciamento dos seus projetos e um maior controle de seus modelos enquanto os modelos arquitetônicos e de instalações estão também sendo desenvolvidos. Como produto final, proporciona um relatório definitivo com informações necessárias para sua interpretação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

2.1.1.2. Ferramentas Computacionais utilizadas no Processo *BIM*

Como já foi dito, se tem algumas plataformas ou softwares modeladores bem conhecidos no mundo para a aplicação do processo *BIM*. Segundo Rocha (2011) a AsBEA (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura) criou e divulgou uma tabela comparativa dos softwares *BIM* para modelagem paramétrica, fazendo uma pequena comparação dos principais fornecedores disponíveis destes softwares no Brasil, sendo estes *Revit, Bentley Systems, VectorWorks, ArchiCAD.*
(http://piniweb.pini.com.br/construcao/arquitetura/asbea-divulga-tabela-comparativa-de-softwares-bim-para-modelagem-parametrica-243722-1.aspx).
Esse documento fornece informações comparativas como: fabricante, origem, preço, centros de treinamento e suporte, entre outras. A partir dessas informações foi possível escolher qual desses ambientes seria o melhor para a implementação do pós-processador sob a Norma NBR8800:2008 proposta.
(http://www.asbea.org.br/download/Tabela_Comparativa_Softwares_BIM.pdf)

Os parágrafos a seguir descrevem brevemente as quatro plataformas mais utilizadas no Brasil no processo *BIM*.

Revit

Revit é a ferramenta *BIM* oferecida pela Autodesk. Em Eastman et al. (2010) essa plataforma é avaliada a partir da perspectiva de seu módulo Revit Architecture. Revit é líder do mercado atual e o mais conhecido para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos baseados no processo *BIM*. Revit é uma plataforma completamente distinta do AutoCAD, com código básico e estrutura de dados completamente diferentes. Revit é uma família de produtos integrados que inclui atualmente *Revit Architecture, Revit Structure, Revit MEP, Robot™ Structural Analysis* e *Navisworks*.

Como uma ferramenta, o Revit fornece uma interface fácil de usar e suporta o desenvolvimento de novos objetos paramétricos personalizados bem como a personalização de objetos pré-definidos. Também suporta as relações hierárquicas de parâmetros. Assim, um objeto pode ser definido usando um grupo de sub-objetos com equações paramétricas. Sua atual API fornece suporte para o desenvolvimento de aplicativos externos.

Como plataforma, o Revit tem o maior conjunto de aplicativos associados. Alguns são ligações diretas através Revit API aberta e outros são disponíveis através do formato IFC (*Industry Foundation Classes* é um formato de especificação aberta. Ele foi desenvolvido pela IAI - *International Alliance for Interoperability*, antecessor da atual *BuildingSMART*, a fim de tornar-se um padrão que facilita a interoperabilidade entre os programas no sector da construção) ou outros formatos de mudança (http://www.buildingsmart.org).

Bentley

A Bentley Systems oferece Bentley Architecture que é uma ferramenta de *BIM* para Arquitetura. Ela funciona em cima do Bentley Microstation, programa de *CAD*, que é vastamente utilizada principalmente na área industrial (*Plant Design*), mas também é usada algumas vezes na área de infraestrutura na construção civil.

Como uma ferramenta de modelagem de desenho de produção, o Bentley Architecture tem um conjunto padrão de objetos paramétricos predefinidos e como o Revit suporta a criação de objetos paramétricos personalizados. A

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

ferramenta suporta tanto detalhamento de projetos em 2D como em 3D. Em 3D, ela permite anotações em seções. De acordo com Eastman et al. (2011), adicionar propriedades para as classes de objetos é simples e sua interface de usuário tem boas características. O Bentley Architecture, com os seus diversos módulos, é um sistema amplo com muitas funcionalidades. Eastman et al (2011) consideram que comparado com o Revit, esta plataforma é mais difícil de acessar e usar.

Como uma plataforma, os aplicativos da Bentley são sistemas baseados em arquivos. Isso significa que todas as ações são imediatamente gravadas em um arquivo e, portanto, são menos dependentes de memória.

Como ambiente, a plataforma da Bentley baseia-se em arquivo e não em objetos. Também suporta links para gerir as relações entre arquivos do tipo DGN, DWG, PDF e documentos do Microsoft Office. Esse sistema além de suportar IDs de objetos também armazena marcas de tempo para sua gestão de ida e volta.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

VectorWorks

Segundo Eastman et al. (2010), Vectorworks, começou como um sistema CAD para Apple Mac, e depois foi adaptado para o Windows. Vectorworks tem capacidades de modelagem paramétrica semelhantes aos dos outros dois sistemas discutidos nas seções anteriores.

Vectorworks fornece uma grande variedade de ferramentas, organizadas como produtos separados, mas embalados em conjunto. Estes diferentes produtos fornecem uma ampla gama de funcionalidades, todos com uma interface de usuário integrada e estilizada. Em sua versão de 2011, anotações e dimensões ainda não eram associadas às projeções do objeto 3D. Isso, portanto, exige um cuidado extra na verificação de consistência da vista de desenho com o do modelo. O Vectorworks tem um conjunto razoável de bibliotecas de objetos para importar e usar. Sua modelagem de superfície é avaliada como sendo muito boa por Eastman et al. (2010). Essa ferramenta também suporta a personalização de suas classes pré-definidas de objetos e uma nova definição de objetos.

Como uma plataforma, como muitos outros sistemas, ele usa grupos de trabalho para particionar modelos em subconjuntos práticos do modelo. Isso ajuda a lidar com problemas de escala e permitir o acesso simultâneo a diferentes partes de um projeto. Sua interface de usuário em todos os seus

produtos é considerada bem integrada por Eastman et al. (2010). Algumas interfaces para outras aplicações são ligações diretas, mas a maioria é através da IFC.

ArchiCAD

Segundo Eastman et al. (2010) ArchiCAD é o aplicativo *BIM* mais antigo comercializado continuamente para projetos arquitetônicos e sua interface de usuário ArchiCAD é bem trabalhada. O ArchiCAD é automaticamente gerenciado pelo sistema; cada edição do modelo é automaticamente colocada nos chamados “layouts de documentos”; detalhes, seções e imagens em 3D podem ser facilmente inseridos nesses layouts. Os desenhos são tratados como relatórios. Como uma ferramenta de modelagem paramétrica, o ArchiCAD incorpora uma gama muito ampla de objetos paramétricos predefinidos. Ele inclui recursos de modelagem para o planejamento do local para interiores, e fornece ferramentas sofisticadas para o planejamento de espaços. Esse software contém extensas bibliotecas de objetos. Ele também suporta a geração de objetos paramétricos personalizados, mas possui uma limitação porque suas ferramentas de esboço e geração de regras paramétricas não suportam expressões algébricas ou condicionais.

Como uma plataforma, o ArchiCAD tem links para várias ferramentas em diferentes domínios. Alguns são ligações diretas através de arquivos tipo GDL e outros estão por meio do IFC. O ArchiCAD Home-site fornece tutoriais para a realização de determinadas trocas de IFC’s, usados em algumas dessas interfaces. Também suporta interfaces diretas com várias ferramentas externas, incluindo o Google SketchUp, programa de design gráfico e modelagem em três dimensões baseado em caras. Recentemente, o ArchiCAD tem reforçado suas interações com IFC e fornece boa troca bidirecional. Suas funções de mudança IFC incluem classificação de objetos, a filtragem por tipos de objetos e gerenciamento de versão de nível-objeto.

2.1.2. Ferramentas Utilizadas no Desenvolvimento do Plug-in

Depois de analisada a informação sobre as plataformas ou softwares modeladores descritos no *BIM Handbook* (Eastman et al., 2010), conjuntamente com a tabela comparativa dos softwares *BIM* para modelagem paramétrica divulgada pela Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura, escolheu-se

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

o Software *Autodesk® Revit® Structure 2014* para a implementação da ferramenta proposta, visto que:

- o Revit permite a inclusão de aplicativos externos e fornece um bom suporte para o desenvolvimento dos mesmos;
- a empresa Autodesk Inc. tem uma subsidiária no Brasil a qual permitiu uma vinculação direta com seu pessoal;
- a empresa facilitou o suporte técnico necessário, entregando a documentação adequada para o desenvolvimento da ferramenta e as licenças do programa completo como apoio à pesquisa;
- o produto suporta várias línguas, entre elas Português, Inglês e outras, assim como os tutoriais e a sua documentação;
- o programa permite a customização das bibliotecas, categorização e quantificação das bases de dados.
- É o único dos quatro programas avaliados que permite análise estrutural, renderização e armazenamento em nuvem.

Autodesk Revit Structure é um programa para a modelagem estrutural completamente conectado com o projeto e a análise estrutural, integrando o modelo físico com um modelo analítico que pode ser editado separadamente para permitir uma análise, dimensionamento e documentação estrutural mais eficientemente. Com isto, a coordenação multidisciplinar de documentação do projeto estrutural melhora, minimizando os erros e melhorando a colaboração entre os construtores, engenheiros estruturais e escritórios de arquitetura.

Alguns softwares adicionais, que foram utilizados para alcançar o objetivo proposto neste trabalho que é desenvolver o código computacional de verificação da Norma NBR 8800:2008, são os seguintes:

- **Microsoft® Visual Studio® 2010:** é um conjunto de ferramentas de desenvolvimento baseado em componentes e outras tecnologias, para criar aplicativos poderosos de alto desempenho.

  (Microsoft Developer Network - https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/52f3sw5c(v=vs.100).aspx). Da mesma forma que é usado para desenvolvimento de programas para *Windows®*, ele também é usado na plataforma de desenvolvimento de *Revit® API.* Todas as linguagens usadas pelo Visual Studio® tais como C, VB.NET (Visual Basic.NET), Visual C#, Visual C++, F#, entre outros, usam o mesmo ambiente de desenvolvimento integrado (Integrated Development Enviroment - IDE) que permite o compartilhamento de ferramentas e

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

facilita a criação de soluções com mistura de linguagens. (Microsoft Developer Network - https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/fx6bk1f4(v=vs.100).aspx).

O C# (C sharp) é uma linguagem de programação feita para o desenvolvimento de aplicações que executam sobre o *.NET Framework. C#* é uma linguagem simples, poderosa, segura e orientada a objetos. As várias inovações no *C#* permitem o desenvolvimento rápido de aplicações, mantendo a expressividade e a elegância do estilo de linguagens C. (Microsoft Developer Network - https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/kx37x362.aspx).

A Microsoft® .NET é uma plataforma para o desenvolvimento e execução de aplicações. Esta plataforma fornece as ferramentas, serviços e mecanismos robustos, seguros e eficientes, que são necessários para desenvolver aplicativos, garantindo que a sua execução ideal.

- **Ferramentas de análise de estruturas:** A análise do modelo estrutural pode ser feita através de:
  - *Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional 2014*: é um software de análise estrutural que pode ser facilmente interligado com o Autodesk® Revit® Structure para facilitar o processo *BIM*
  - *Autodesk®* 360º: fornece um conjunto de serviços e produtos habilitados a rodarem na nuvem para melhorar o modo de projetar, visualizar, simular, analisar e compartilhar o trabalho com outros usuários que tenham uma assinatura do produto. Em particular, a análise estrutural é um dos serviços fornecidos nesse conjunto.
- ***Revit API:*** O Revit Api foi utilizado neste trabalho no *Revit® Structure 2014*, por meio das seguintes ferramentas:
  - *Plug-in Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®, e*
  - O SDK - *software development kit* (Kit de desenvolvimento de software):

Estas duas ferramentas de *Revit API* são explicadas detalhadamente a seguir.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Revit® API

A Interface de Programação de Aplicativos API é o conjunto de padrões de programação que permite a criação de aplicativos. Segundo a *Autodesk* Inc*.,* o *Revit* fornece uma poderosa *.NET API* que pode automatizar tarefas repetitivas, estender a funcionalidade do Revit na simulação, no projeto conceitual, no gerenciamento de construção bem como em outras fases do empreendimento. O Revit *.NET API* permite programar qualquer linguagem compatível com *.NET*.

O Kit de Ferramentas de Desenvolvimento de Software (SDK) fornece exemplos de código .NET e documentação para ajudar o desenvolvimento com o Revit API para *Autodesk Revit Architecture, MEP ou Structure.* (http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=2484975).

A complementação do código de verificação do dimensionamento aplicando a Norma 8800:2008, poderia ter sido programado diretamente no *Revit® Structure 2014,* através de uma API codificada desde o início. Alternativamente, a *Autodesk®* oferece uma ferramenta chamada *Plug-in Structural Analysis Toolkit 2014 Autodesk® Revit®*, que automatiza algumas das interligações e dá acesso à base de dados do programa. O código de verificação da norma NBR8800V1 desenvolvido nesse trabalho utilizou a segunda alternativa.

Plug-in Structural Analysis Toolkit 2014 para Autodesk® Revit®

O Plug-in *Structural Analysis Toolkit* 2014 para Autodesk® Revit® é um plug-in desenvolvido pela própria Autodesk para *o Revit. É* um conjunto de ferramentas que apoia o processo *BIM* e permite que engenheiros estruturais possam analisar estruturas desde dentro do ambiente *Revit*. (Autodesk Inc. 2013)

O *kit* de ferramentas contém os seguintes itens:

- A ligação com a *Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional 2014.*
- *Autodesk®* 360º Análise Estrutural para *Revit®.*
- Ferramentas de armazenamento e para avaliação de resultados estruturais.

Engenheiros estruturais podem aperfeiçoar seus fluxos de trabalho, utilizando o modelo analítico construído no *Revit® Structure,* para realizar a análise estrutural baseada na nuvem, com acesso aos serviços da *Autodesk®*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

360º ou através da exportação do modelo desenvolvido no *Revit®* para o programa *Autodesk® Robot™ Structural Analysis* ou ainda através da exportação para a análise estrutural feita por softwares desenvolvidos por terceiros. Depois de concluído, os resultados da análise podem ser armazenados e facilmente explorados no ambiente *Revit®.* (https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=appstore.exchange.autodesk.com%3Astructuralanalysisandcodecheckingtoolkit2014%3Aen)

SDK - Software Development Kit

O SDK é um conjunto de arquivos digitais com documentação, exemplos de programação e utilitários que suportam a personalização do Revit®, através do API. Dentro do SDK proporcionado pela Autodesk, encontra-se o *Structural Analysis SDK*, que contém a documentação, exemplos e os modelos pré-configurados para desenvolvimento de códigos de verificação de Normas. A sua documentação completa está disponível na pasta: ... \ Revit 2014 SDK \ *Structural Analysis* SDK \ Documentation \ (Figuras 2 a 6), incluindo os *PDF's* como Getting Started e a Guia de Referência CHM, que contém uma lista completa de classes.

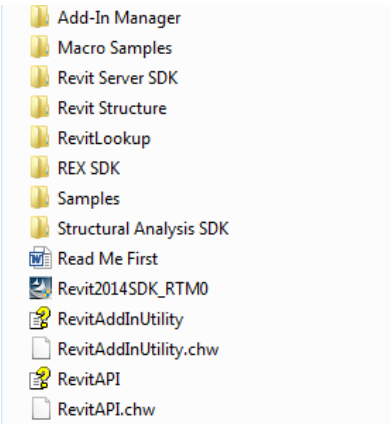


Figura 2. Arquivos contidos no SDK.

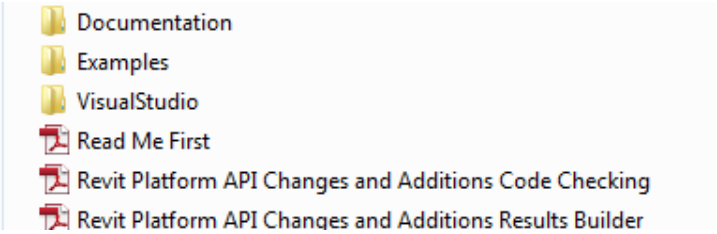


Figura 3. Arquivos contidos na pasta *Structural Analysis* SDK dentro da pasta SDK.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

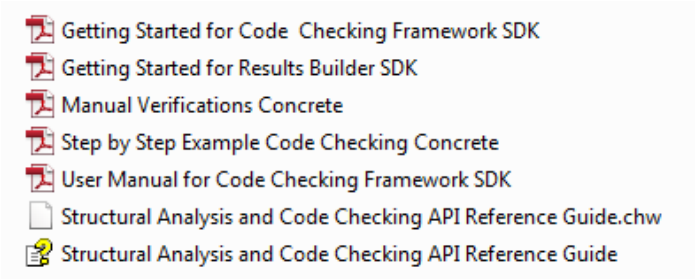


Figura 4. Arquivos contidos na pasta Documentation dentro da pasta *Structural Analysis* SDK.

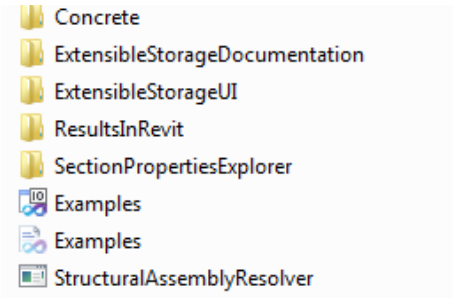


Figura 5. Arquivos contidos na pasta Examples dentro da pasta *Structural Analysis* SDK.

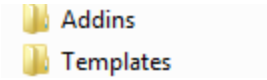


Figura 6. Arquivos contidos na pasta VisualStudio dentro da pasta *Structural Analysis* SDK.

A pasta VisualStudio (Figura 6) contém os arquivos modelos para o desenvolvimento de códigos de verificação de Normas. Outras informações e a forma de instalação de cada um dos softwares requeridos serão detalhadas no Capítulo 4, seção 4.1.

2.2. Revisao da literatura

Segundo Merino (2014), na sua publicação digital de tecnologia e inovação, uma API é uma união de regras de código e especificações, que as aplicações computacionais podem usar para se comunicar, servindo como ligação entre diferentes programas da mesma forma em que a interface de usuário facilita a interação humano-software. Na atualidade, os API's são

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

importantes já que permitem a utilização de funções já existentes em outros softwares ou de infraestrutura diferente em outras plataformas, reutilizando um código que está já testado e funciona corretamente. (http://www.ticbeat.com/ tecnologias/que-es-una-api-para-que-sirve/).

No ano 2007, Wei Yan e Geqing Liu, aproveitam o software *Revit®,* para desenvolver um projeto de investigação chamado "*The BIMGame*", um jogo de integração do processo *BIM* num jogo de computador (como uma das primeiras aplicações de um API neste programa). O jogo consiste em desenhar, jogar e atualizar fases, para estimular o design sustentável e a educação. (Yan e Liu, 2007).

Na área de estudos de iluminação, Stoyanov, no ano 2009, apresenta LUME, um plug-in feito com linguagem de programação C# no Microsoft® Visual Studio® 2010, para analisar a iluminação natural para iluminação primaria de interiores, para modelos tridimensionais no *Revit® Architecture 2014*. O uso de um API foi usado para poder incluir este tipo de análise no programa, desde que o *Revit® Architecture* executa este tipo de diagnóstico. O benefício deste plug-in é reduzir a necessidade de luz artificial dentro de qualquer espaço de um espaço arquitetônico, reduzindo assim o esquentamento interno e uso de energia, aproveitando a luz solar direita.

O desenvolvimento de outras ferramentas, para promover a eficiência energética de edifícios, foram desenvolvidas. Em particular, existem muitos locais com condições climáticas extremas e variação de temperatura diária. Atualmente, as estratégias comuns para abordar está forte mudança de temperaturas, são os sistemas de HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado). Assim, muita energia de sistemas de climatização é consumida nesses locais para manter as condições térmicas interiores dentro de certas zonas de temperatura. Por isto, uma ferramenta protótipo, para o caso de design, usando programação e Revit API da Autodesk, que oferece um acesso eficaz para ligar a modelagem computacional e os parâmetros climáticos, e a sua vez facilita a nova abordagem para edifícios sustentáveis (Wang *et al.,* 2010).

Meadati *et al*. (2010), analisa a viabilidade de preparar um ambiente automatizado de troca de informações, mediante a integração ao processo *BIM, tecnologia de* Radio Frequency Identification (RFID). Durante a fase de operação e manutenção, o gerente da obra, precisa se referir a plantas de detalhe de construção, medidas nas três dimensões e várias documentações, conforme a obra foi construída. Neste processo, uma quantidade considerável de tempo é

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

usada na realização de tarefas sem valor agregado, tais como a busca, acesso e validação das informações. Isto, pode ser resolvido usando modelos de construção BIM na fase de operação e manutenção. BIM fornece os meios para a recuperação da informação, rápida e fácil, através de uma interface modelo 3D desenvolvida por um API.

Ao mesmo tempo, na Suécia, Empresas de construção, durante muitos anos foram mudando o lugar de trabalho das empreiteiras para fábricas, pela industrialização da construção, especialmente na indústria da madeira. Essas fábricas estão instalando mais e mais linhas de produção automatizadas procurando para uma melhor concepção de integração entre design e produção. Até agora, as ferramentas de design na indústria da construção têm sido frequentemente desenvolvidas sem possibilidade de parametrização, automação dos projetos ou conexões automáticas com *Computer Numeric Control* (CNC). Para dar uma solução neste tema, um programa feito por API foi desenvolvido, com o objetivo investigar a gestão do fluxo de informações entre arquitetos, engenharia e produção no projeto de sistemas construtivos industrializados. Além disso, as possibilidades de parametrização e automação de projeto é investigado para a Implementação de regras e restrições impostas pelo sistema de construção em ferramentas de design utilizado por arquitetos e engenheiros com o objetivo de reduzir soluções de design não conformes e de integrar o fluxo de informações entre a fase de engenharia e o processo de produção (Olofsson *et al*. 2010).

No mesmo ano, Santos de Andrade *et al*., fazem uma modificação do *Revit® Architecture* internamente para atingir as tabelas de materiais e planejamento do programa. A ferramenta desenvolvida mediante API serve como instrumento de planejamento e programação da construção. Este foi um primeiro passo para criar um algoritmo que permitiria a precisão quantitativa dos fatores de produção, relacionada com a realidade brasileira, dentro da plataforma BIM, tentando conseguir uma diminuição dos custos públicos de trabalho. Ao usar a contribuição do processo *BIM*, através do banco de dados externo, forneceria um monitoramento de construção com base na composição de insumos ao longo do tempo. Isto permitiria uma execução mais econômica para garantir a eficiência dos edifícios públicos. (Santos de Andrade *et al*., 2010).

Aksamija *et al. (2011)*, também investigando temas de eficiência energética, analisa a personalização do software *Revit®,* para permitir a troca de dados entre as aplicações analíticas *Revit* e *Ecotect*. Onde dados analíticos são usados para controlar a geometria das famílias do *Revit*, e com isto, a criação

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

paramétrica de elementos de design, tais como guarda-sóis, que respondem a restrições ambientais tais como a radiação solar incidente ou ângulos solares.

Na área da acústica, um sistema de simulação e desenvolvido a Base de API, baseado em software *BIM* pode acelerar a predição da performance acústica de um espaço interior durante a fase de concepção de um edifício. Esta afirmação é demonstrada por um protótipo de software que é composto por quatro módulos. Depois de dar ao quarto alguns parâmetros adicionais personalizados para expressar qualidades acústicas de materiais, por meio de um módulo de extração de dados, se recupera as informações necessárias, tais como dimensões da sala, tempos de reverberação, níveis de intensidade sonora e coeficientes de absorção de superfícies. Também mapeia estes efeitos sobre os planos para ajudar a visualizar o desempenho da sala. Ao repetir a análise, o software pode gerar diferentes faixas de som para simular diferentes posições de audição ou os efeitos de diferentes materiais de acabamento, fornecendo informações para apoiar decisões de projeto sobre o tamanho, forma e acabamentos de um quarto. O software é destinado a espaços relativamente simples. O software protótipo mostra que a integração da análise acústica em BIM poderia permitir que arquitetos para simular facilmente performance acústica durante a fase de concepção esquemática, a obtenção de melhores designs mais rapidamente (Wu e Clayton, 2013).

No mesmo ano, a universidade de Ciência e Tecnologia de Hong Kong, na procura de melhoras na área ambiental, apresentam um sistema baseado *BIM*, para a estimativa e planejamento de demolição e renovação de prédios. *BIM* por meio de um API, permite que a informação multidisciplinar seja inserida dentro de um modelo de construção digital. O sistema pode extrair informações de volume de material e através do modelo *BIM* e integrar as informações para a estimativa de resíduos detalhada, planejamento da reciclagem de resíduos e reutilização. Informações do material extraído pode ser fornecido para os recicladores antes da demolição ou renovação para fazer fase de reciclagem mais cooperativa e mais eficiente (Cheng e Ma, 2013).

Na própria área de arquitetura, Pereira e Amorim, 2017, realizaram o desenvolvimento de uma ferramenta de verificação de requisitos de projeto para o *Revit*® através de API. No seu documento, apresenta o desenvolvimento de ferramenta de verificação de requisitos de projeto de arquitetura de biotérios - o VeR_Arq -, desenvolvido através de API e que funciona internamente ao com o *Revit*®. O estudo apresenta os requisitos de projeto, as regras de negócio e o funcionamento desta ferramenta.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Para a geração das ferramentas antes mencionadas, a linguagem C# ou Vb.Net, assim como Microsoft® Visual Studio® 2010, fazem parte essencial para o desenvolvimento das mesmas.

Como pode se ver, o uso de plug-ins e API's, são usados como soluções para problemas em várias áreas, especialmente na arquitetura, acústica, sustentabilidade, operação, manutenção, design, controle e planejamento, etc., mas aplicações de apoio à análise estrutural, verificação de projetos ou aplicação do plug-in Plug-in *Structural Analysis* Toolkit 2014 para Autodesk® Revit®, são mínimas e documentadas inapropriadamente. Aparentemente não tem-se desenvolvido uma ferramenta similar à proposta neste estudo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3 Dimensionamento de Peças Segundo a Norma NBR 8800:2008

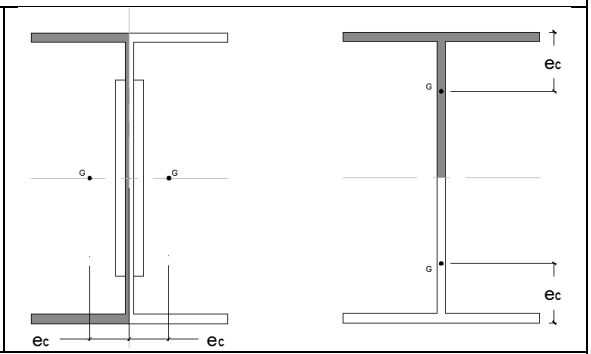
Este trabalho considera apenas seções de perfis tipo I, portanto, apenas as análises estipuladas pela Norma NBR 8800:2008, descrita abaixo, para esses perfis são consideradas.

Para que o dimensionamento das peças esteja de acordo com a Norma, deve-se atender o estipulado na seção *4.5.2.2 Aços para perfis, barras e chapas*, que determina que os aços aprovados pela Norma Brasileira *devam* possuir *resistência máxima ao escoamento de 450 MPa e relação entre resistências à ruptura (f_u) e ao escoamento (f_y), (f_u / f_y), não seja inferior a 4.18.*

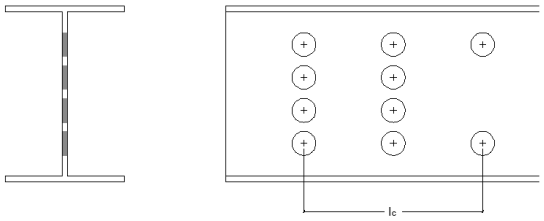
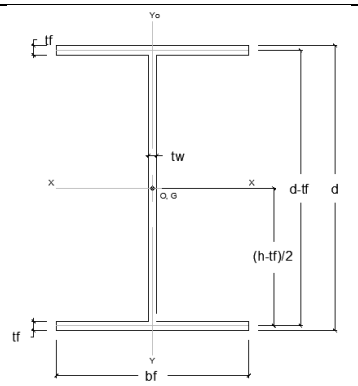
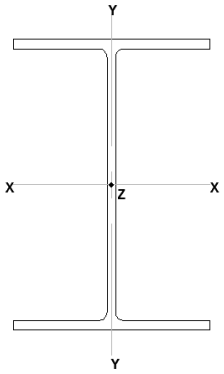
Quanto às propriedades mecânicas gerais, são adotadas as estipuladas na seção 4.5.2.9 da mesma Norma, é dizer: modulo de elasticidade E = 200000 MPA, coeficiente de Poisson υ = 0.3, e modulo de elasticidade transversal G = 77000 MPa, coeficiente de dilatação térmica β_a = 1.2 x 10^{-5} $^oC^{-1}$, e massa especifica ρ = 7850 kg/m^3.

Para que este capítulo seja facilmente compreendido, os seguintes símbolos utilizados, são mostrados no resumo da Tabela 1:

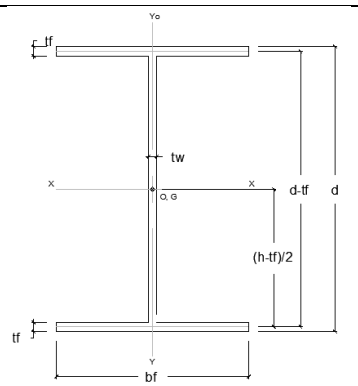
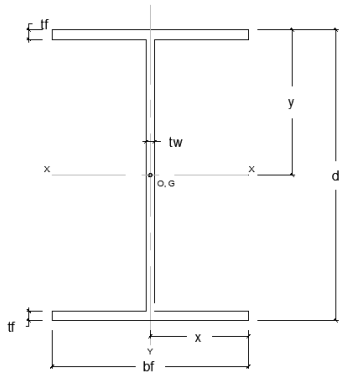
Tabela 1: Índice de símbolos usados.

SÍMBOLO	DEFINIÇÃO
Letras romanas minúsculas	
c_a	Coeficiente da NBR 8800:2008, igual a 0.38 para mesas ou seções tubulares retangulares e 0.34 para os outros elementos
e_c	É a excentricidade da ligação, igual à distância do centro geométrico da seção da barra, *G*, ao plano de cisalhamento da ligação (em perfis com um plano de simetria, a ligação deve ser simétrica em relação a ele e são consideradas, para cálculo de *C*t, duas barras fictícias e simétricas, cada uma correspondente a um plano de cisalhamento da ligação, por exemplo, duas seções T no caso de perfis I ou H ligados pelas mesas ou duas seções U, no caso desses perfis serem ligados pela alma). (NBR 8800:2008 – 5.2.5 c) 
f_y	Resistência ao escoamento do aço
f_u	Resistência à ruptura do aço

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

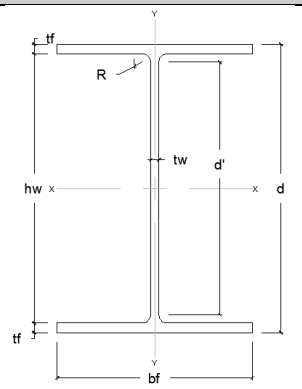
l_c	É o comprimento efetivo da ligação (esse comprimento, nas ligações soldadas, é igual ao comprimento da solda na direção da força axial; nas ligações parafusadas é igual a distância do primeiro ao último parafuso da linha de furação com maior número de parafusos, na direção da força axial). (NBR 8800:2008 – 5.2.5 c)	
r_x, r_z	Raios de giração para as direções x e y	
r_{min}	Raios de giração mínimo	
r_o	Raio de giração polar da seção em relação ao centro de cisalhamento	
x_o, y_o	Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos centrais x e y, respectivamente, em relação ao centro geométrico da seção	
Letras romanas maiúsculas		
A	Área	
A_c	Área líquida efetiva da seção transversal da barra. (NBR 8800:2008 – 5.2.5 b)	
A_e	Área líquida efetiva de uma barra	
A_{ef}	Área efetiva da seção transversal	
A_g	Área bruta da seção transversal	
A_n	Área líquida da barra	
A_w	Área efetiva de cisalhamento	
C_b	Fator de modificação para momento fletor não uniforme	
C_t	Coeficiente de redução usado no cálculo da área líquida efetiva	
C_w	Constante de empenamento da seção transversal $= \int_A \omega^2 \, dA$ Para perfis tipo I, $C_w = I_f \frac{(d-t_f)^2}{2} = \frac{t_f b^3 (d-t_f)^2}{24} = \frac{I_y (d-t_f)^2}{4}$	
E	Módulo de elasticidade longitudinal do aço. Para efeitos de cálculo deve ser adotado E= 200000 MPa.	
G	Módulo de elasticidade transversal do aço; centro geométrico da seção transversal. Para efeitos de cálculo deve ser adotado G= 77000 MPa.	
I_{yc}	Momento de inércia da mesa comprimida em relação ao eixo de simetria (como curvatura é reversa, esse momento de inércia refere-se à mesa de menor momento de inércia)	
I_x, I_y, I_z	Momentos de inercia da seção transversal em relação ao eixo x, y e z	

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

J	Momento de inércia à torção pura. Para perfis tipo I, J = $\frac{1}{3}$ [2 $b_f\ t_f^3$ + $(d - t_f)t_w^3$]	
K_c	Coeficiente para consideração das séries soldadas dos elementos de aço, calculado como $K_c = \sqrt{\frac{4}{h_w/t_w}}$	
K_v	Coeficiente utilizado na determinação do esforço cortante resistente	
K_x, K_y	Coeficientes de flambagem por flexão de elementos isolados nas direções x e y	
K_z	Coeficientes de flambagem por torção de elementos isolados na direção z	
L_b ou L_z	Comprimento destravado da peça para torção	
L_x, L_y	Comprimento de flambagem da peça nas direções x e y	
M_{CR}	Momento fletor da flambagem elástica	
M_{pl}	Momento fletor de plastificação. $M_{pl} = f_yZ_x$ ou $M_{pl} = f_yZ_y$, dependendo do eixo de análise	
M_r	Momento fletor no início do escoamento	
M_{Rd}	Momento fletor resistente de cálculo, $M_{x,Rd}$ ou $M_{y,Rd}$ nas direções x ou y $M_{Rd,FLM}$ = Momento fletor resistente de cálculo obtido no estudo da flambagem local das mesas -FLM $M_{Rd,FLA}$= Momento fletor resistente de cálculo obtido no estudo da flambagem local da alma -FLA $M_{Rd,FLT}$= Momento fletor resistente de cálculo obtido no estudo da flambagem lateral com torção -FLT	
M_{Sd}	Momento fletor solicitante de cálculo, $M_{x,Sd}$ou$M_{y,Sd}$ nas direções x ou y	
N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}	Carga de flambagem na direção x, y e z	
$N_{c\ Sd}$	Força axial de compressão solicitante de cálculo, ou N_{Sd}	
$N_{c,\ Rd}$	Força axial de compressão resistente de cálculo, ou N_{Rd}	
$N_{t,\ Sd}$	Força axial de tração solicitante de cálculo	
$N_{t,\ Rd}$	Força axial de tração resistente de cálculo	
Q	Fator de redução total da flambagem local	
Qa	Fator de redução que leva em conta a flambagem local dos elementos AA (esbeltez da alma, se refere ao elemento local que tem duas bordas longitudinais vinculadas)	
Qs	Fator de redução que leva em conta a flambagem local dos elementos AL (esbeltez das mesas, se refere a que o elemento local só tem uma borda longitudinal vinculada)	
R_m	Parâmetro de monossimetria da seção transversa, igual a 0.5 + 2 $(I_{yc} / I_y)^2$, para seções com um eixo de simetria, fletidas em relação ao eixo que não é de simetria, sujeitas à curvatura reversa, e igual a 1.00 em todos os demais casos	
V_{pl}	Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento	
V_{Rd}	Força cortante resistente de cálculo	
V_{Sd}	Força cortante solicitante de cálculo	
W_c	Módulo de resistência elástico do lado comprimido da seção, relativo ao eixo de flexão. $W_{cx} = I_x / y$ $W_{cy} = I_y / x$	
Z_x	Módulo de Plástico, na direção x. $Z_x = b_f t_f (d - t_f) + \frac{t_w}{4}(d - 2t_f)^2$	
Z_y	Módulo de Plástico, na direção y. $Z_y = \frac{b_f^2 t_f}{2} + \frac{1}{4}(d - 2t_f)t_w^2$	

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Letras gregas minúsculas	
β_1	Coeficiente da NBR 8800:2008 que considera as tensões residuais. $\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W_c}{E\,J}$
γ_{a1}, γ_{a2}	Coeficientes de ponderação das resistências do aço estrutural. (NBR 8800:2008 – 4.8.2.3 Tabela 3)
λ_f	Índice de esbeltez da mesa do perfil
λ_o	Índice de esbeltez reduzido
λ_p	Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação
λ_r	Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento
λ_w	Índice de esbeltez da alma do perfil
λ_x, λ_y	Índice de esbeltez da peça nas direções x e y
σ	Tensão normal
σ_r	Tensão residual de compressão nas mesas, deve ser tomada igual ao 30% da resistência ao escoamento do aço utilizado
χ	Fator de redução associado à resistência à compressão
Propriedades geométricas da peça	
b	Comprimento da aba do perfil
b_{ef}	Largura efetiva do elemento AA
b_f	Comprimento da mesa do perfil
d	Altura externa do perfilou altura total da seção transversal
h_w, d'	Altura da alma, dependendo se é soldado ou laminado.
t	Espessura do elemento AA analisado respectivamente
t_f	Espessura da mesa
t_w	Espessura da alma



3.1. Dimensionamento de Peças Tracionadas

Para o dimensionamento de peças submetidas a esforços de tração, se analisa principalmente a definição estrutural da ligação, visto que as uniões influenciam diretamente o cálculo da área liquida efetiva, que é a única incógnita necessária para a avaliação da força de ruptura da seção líquida.

Para a aplicação da Norma NBR 8800:2008 na verificação da tração, os dados necessários para o cálculo são os seguintes:

- Propriedades geométricas da peça (A_g, A_n);
- Propriedades mecânicas do aço (f_y e f_u);
- A_c, l_c, e_c, $N_{t,Sd}$, γ_{a1}, γ_{a2}, L_x, L_y, K_x, K_y, r_x, r_z.

3.1.1. Verificação do escoamento da área bruta (NBR 8800:2008 – 5.2.2-a)

A força axial de tração resistente de cálculo da seção bruta e determinada pela equação:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

$$\mathbf{N_{t,Rd}} = \frac{\mathbf{A_g\, f_y}}{\boldsymbol{\gamma_{a1}}} \tag{3.1}$$

Para a verificação do dimensionamento, deve-se atender a seguinte condição:

$$\mathbf{N_{t,Rd}} \geq \mathbf{N_{t,Sd}} \tag{3.2}$$

3.1.2. Verificação para a ruptura da seção líquida (NBR 8800:2008 – 5.2.2-b)

A força axial de tração resistente de cálculo da seção efetiva e determinada pela equação:

$$\mathbf{N_{t,Rd}} = \frac{\mathbf{A_e\, f_u}}{\boldsymbol{\gamma_{a2}}} \tag{3.3}$$

Na eq. (3.3), o termo A_e representa a área líquida efetiva que segundo a Norma é definida na seção 5.2.5, como se mostra a seguir:

$$\mathbf{A_e} = \mathbf{C_t A_n} \tag{3.4}$$

Onde o coeficiente de redução da área líquida C_t responde às possíveis formas de transmissão de força de tração na ligação, que podem ser:

a) quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos.

Onde a Norma determina diretamente o valor de C_t igual a 1,00.

b) quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais.

E é determinado o uso da seguinte formulação:

$$\boldsymbol{C_t} = \frac{\boldsymbol{A_c}}{\boldsymbol{A_g}} \tag{3.5}$$

Onde, o parâmetro A_c é a área da seção transversal dos elementos que estão conectados na ligação.

c) *nas barras com seções transversais abertas, quando a força de tração for transmitida somente por parafusos ou somente por soldas longitudinais ou ainda por uma combinação de soldas longitudinais e transversais para alguns (não todos) elementos da seção transversal (devendo, no entanto, ser usado 0,90 como limite superior, e não se permitindo o uso de ligações que resultem em um valor inferior a 0,60).*

Onde o termo C_t obtido de acordo com a seguinte equação:

$$\mathbf{C_t} = \mathbf{1} - \frac{\mathbf{e_c}}{\boldsymbol{\ell_c}} \tag{3.6}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Sendo os parâmetros e_c e l_c, a excentricidade da ligação e o comprimento efetivo da ligação, respectivamente; explicados à profundidade na mesma Norma.

A Norma também determina formulações para ligações com chapas planas, seção 5.2.5 d, para ligações nas barras de seções tubulares retangulares, seção 5.2.5 d, e para ligações nas barras de seções tubulares circulares, seção 5.2.5 d.

Para completar o parâmetro faltante na eq. (3.4), a área líquida da barra (A_n) é apontada na seção 5.2.4 da NBR 8800:2008, a qual é sujeita ao tipo de ligação e ao posicionamento das subpeças que a conformam. É imperativo dizer que, quando a ligação for conformada por soldas e as regiões não contenham furos para parafusos próprios da ligação, a área líquida é igual à área bruta A_g da seção transversal, tomando em conta os recortes que a seção transversal pudesse ter.

Da mesma forma que para a seção bruta, após ter obtido todos os parâmetros, a verificação do dimensionamento para a seção líquida deve atender a eq. (3.2).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.1.3. Verificação da esbeltez máxima nas peças (NBR 8800:2008 – 5.2.7)

Quando a peça estudada for de um perfil simples, a análise terá que satisfazer as seguintes equações:

$$\boldsymbol{\lambda_x = \frac{k_x L_x}{r_x}} \tag{3.7}$$

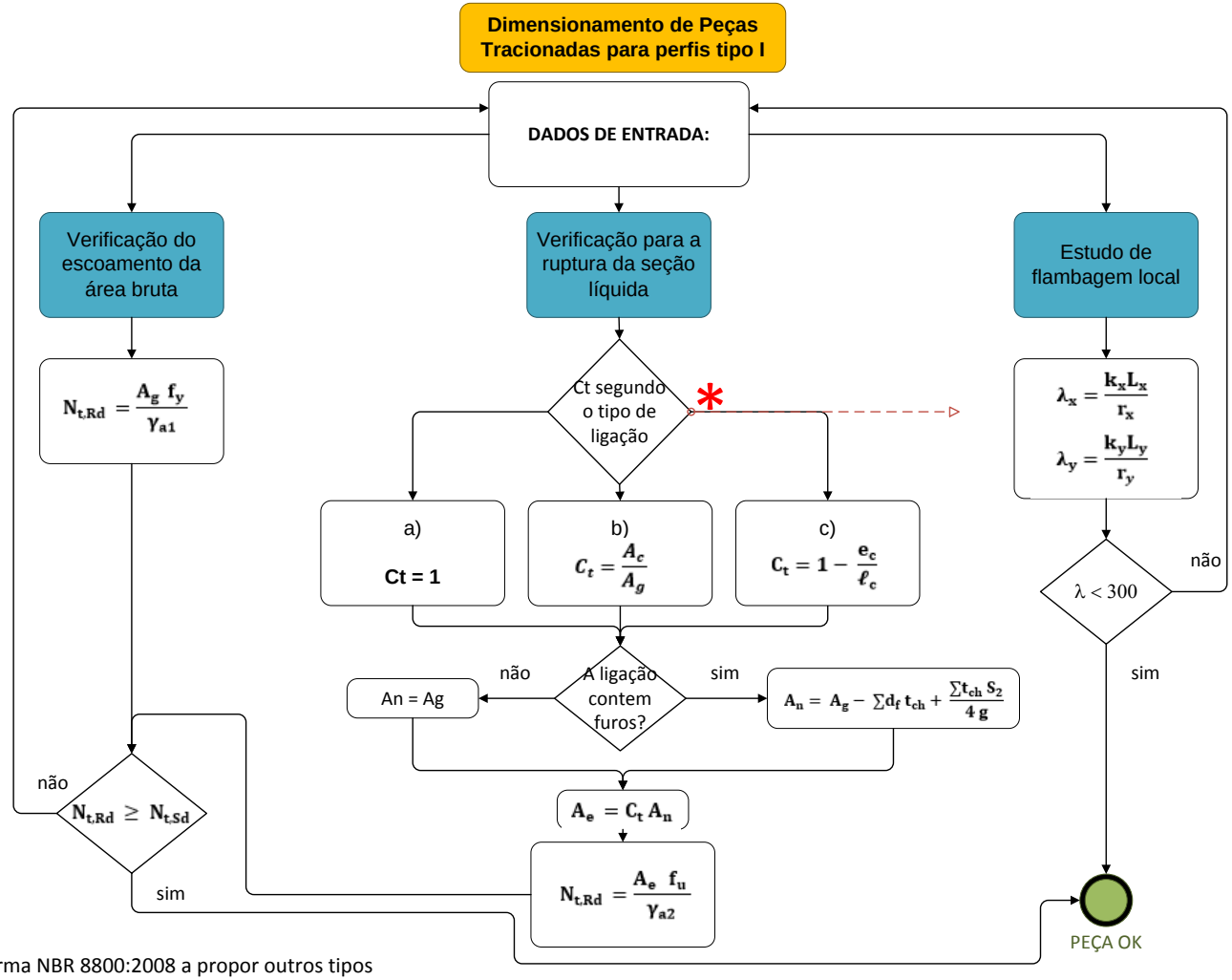
$$\boldsymbol{\lambda_y = \frac{k_y L_y}{r_y}} \tag{3.8}$$

Os valores de esbeltez obtidos serão comparados como se mostra na eq. (3.10), assim:

$$\begin{cases} \boldsymbol{\lambda_x} \\ \boldsymbol{\lambda_y} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{cases} \leq \boldsymbol{300} \tag{3.9}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.1.4. Fluxograma para Dimensionamento de Peças Tracionadas



* A norma NBR 8800:2008 a propor outros tipos de opções de conexão aqui considerados.

Figura 7. Fluxograma para Dimensionamento de Peças Tracionadas

3.2. Dimensionamento de Peças Comprimidas

Para o dimensionamento de peças submetidas a esforços de compressão centrada, os dados de entrada são semelhantes aos dados da análise da tração, excluindo a necessidade de avaliar os componentes da ligação. Para a aplicação da Norma NBR 8800:2008 na verificação da compressão, o cálculo é feito a partir dos seguintes dados:

- Propriedades geométricas da peça (b_f, t_f, h_w, t_w, h_f, A_g);
- Propriedades mecânicas do aço (E, f_y);
- $N_{c,Sd}$, γ_{a1}, L_x, L_y, L_y, K_x, K_y, I_x, I_y, C_w, J.

3.2.1. Estudo de flambagem local (NBR 8800:2008 – Anexo F)

3.2.1.1. Estudo da flambagem local das mesas (Determinação do Q_s)

A esbeltez da mesa de um perfil I é definida como a razão:

$$\boldsymbol{\lambda_f = \frac{b_f}{2\ t_f}} \tag{3.10}$$

O fator de redução da flambagem local de elementos AL (apoiado – libre, esbeltez das mesas, se refere a que o elemento local só tem uma borda longitudinal vinculada) é associado é função da razão mencionada na eq. (3.10). O valor obtido nesta equação deve ser comparado com os valores limites de esbeltez, indicado na Tabela F.1, do Anexo F da Norma, que para o caso particular das mesas de seções I laminadas, são os especificados abaixo, limites inferior e superior, respectivamente:

$$\boldsymbol{\lambda_p = 0,56\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \tag{3.11}$$

$$\boldsymbol{\lambda_r = 1,03\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \tag{3.12}$$

E para o caso particular das mesas de seções I soldadas, são os citados abaixo, limites inferior e superior, respectivamente:

$$\boldsymbol{\lambda_p = 0,64\sqrt{\frac{E}{f_y/K_c}}} \tag{3.13}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

$$\lambda_r = 1.17\sqrt{\frac{E}{f_y/K_c}} \tag{3.14}$$

Onde o valor do parâmetro K_c é definido pela equação (3.15) e limitado pela condição mostrada na equação (3.16):

$$K_c = \sqrt{\frac{4}{h_w/t_w}} \tag{3.15}$$

$$0.35 \leq K_c \leq 0,76 \tag{3.16}$$

E com estes parâmetros pode-se definir o fator de redução para a flambagem local da mesa Q_s para os perfis laminados, seguindo as seguintes condições:

$$\lambda_f \leq \lambda_p \rightarrow Q_s = 1 \rightarrow \text{Não ocorre flambagem local} \tag{3.17}$$

$$\lambda_p < \lambda_f \leq \lambda_r \rightarrow Q_s = 1,415 - 0,74\,\frac{b_f}{2\,t_f}\sqrt{\frac{f_y}{E}} \rightarrow \text{Flambagem inelástica} \tag{3.18}$$

$$\lambda_f > \lambda_r \rightarrow Q_s = \frac{0,69\,E}{f_y\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \rightarrow \text{Flambagem elástica} \tag{3.19}$$

E para os perfis soldados, o fator de redução para a flambagem local da mesa Q_s, é dado por:

$$\lambda_f \leq \lambda_p \rightarrow Q_s = 1 \rightarrow \text{Não ocorre flambagem local} \tag{3.17}$$

$$\lambda_p < \lambda_f \leq \lambda_r \rightarrow Q_s = 1,415 - 0,65\,\frac{b_f}{2\,t_f}\sqrt{\frac{f_y}{K_c E}} \rightarrow \text{Flamb. inelástica} \tag{3.20}$$

$$\lambda_f > \lambda_r \rightarrow Q_s = \frac{0,9\,E\,K_c}{f_y\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \rightarrow \text{Flambagem elástica} \tag{3.21}$$

3.2.1.2. Estudo da flambagem local da alma (Determinação do Q_a)

A esbeltez da alma de um perfil I é definida como a razão:

$$\lambda_w = \frac{b_w}{t_w} \tag{3.22}$$

O fator de redução da flambagem local de elementos AA (apoiado – apoiado, esbeltez da alma, se refere ao elemento local que tem duas bordas longitudinais vinculadas) é associado é função da razão mencionada na eq.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

(3.22). O valor obtido nesta equação deve ser comparado com os valores limites de esbeltez, indicado na Tabela F.1, do Anexo F da Norma.

O valor limite de esbeltez para que não ocorra flambagem local, determinado na Tabela F.1 da NBR 8800:2008, é dado em eq. (3.23):

$$\boldsymbol{\lambda_p = 1,49\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \tag{3.23}$$

Se o valor da esbeltez λ_w da eq. (3.22) é menor do que λ_p da eq. (3.23), o valor de Q_s, fator de redução para a flambagem local da alma atenderá a seguinte condição:

$$\boldsymbol{\lambda_w \leq \lambda_p \rightarrow Q_a = 1 \ \rightarrow \ \text{Não ocorre flambagem local}} \tag{3.24}$$

Do contrário, se o valor, o valor do Q_s, atenderá a seguinte condição:

$$\boldsymbol{\lambda_w > \lambda_p \rightarrow Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}} \tag{3.25}$$

Onde o parâmetro A_{ef} refere-se à área efetiva da seção transversal representada pela equação:

$$\boldsymbol{A_{ef} = A_g - (b - b_{ef})t} \tag{3.26}$$

Onde A_g é a área bruta da seção, b e t são a largura e a espessura do elemento AA analisado respectivamente (que para este caso particular se referem a, b = h_w e t = t_w); e b_{ef} é verificada pela seguinte equação:

$$\boldsymbol{b_{ef} = 1,92\,t\sqrt{\frac{E}{\sigma}}\left[1 - \frac{c_a}{b/t}\sqrt{\frac{E}{\sigma}}\right] \leq b} \tag{3.27}$$

Sendo:

o coeficiente C_a igual a 0.34, e:

$$\boldsymbol{\sigma = \chi f_y} \tag{3.28}$$

a tensão que pode atuar no elemento. A eq. (3.29), leva a um processo iterativo, por o que de forma aproximada e conservadora, pode-se tomar como:

$$\boldsymbol{\sigma = f_y} \tag{3.29}$$

3.2.1.3. Determinação da Flambagem local de barras axialmente comprimidas

O fator de redução total por flambagem local Q, é resultado do produto dos valores dos fatores de redução da flambagem local das mesas e da alma, Q_s e Q_a, respectivamente:

$$\boldsymbol{Q = Q_s Q_a} \tag{3.30}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.2.2. Estudo da flambagem global (NBR 8800:2008 – Anexo E)

A finalidade desta análise é determinar a carga de flambagem elástica N_e. A Norma apresenta a análise para um perfil I duplamente simétrico, sendo resumida nas seguintes equações:

$$\mathbf{N_{ex}} = \frac{\boldsymbol{\pi}^2 \mathbf{E\, I_x}}{(\mathbf{k_x L_x})^2} \tag{3.31}$$

$$\mathbf{N_{ey}} = \frac{\boldsymbol{\pi}^2\, \mathbf{E\, I_y}}{(\mathbf{k_y L_y})^2} \tag{3.32}$$

$$\mathbf{N_{ez}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{r_o^2}}\left[\frac{\boldsymbol{\pi}^2 \mathbf{E\, C_w}}{(\mathbf{k_z L_z})^2} + \mathbf{G\, J}\right] \tag{3.33}$$

Onde C_w é a constante de empenamento da seção transversal, G o módulo de elasticidade transversal do aço, J a constante de torção da seção transversal, e r_o, que é determinado pela seguinte fórmula:

$$\mathbf{r_o} = \sqrt{(\boldsymbol{r_x}^2 + \boldsymbol{r_y}^2 + \boldsymbol{x_o}^2 + \boldsymbol{y_o}^2)} \tag{3.34}$$

Onde r_x e r_y são os raios de giração em relação aos eixos centrais x e y, respectivamente, assim como x_o e y_o que são as coordenadas do centro de cisalhamento em relação aos eixos centrais x e y, respectivamente, em relação ao centro geométrico da seção. Neste caso particular, como são seções duplamente simétricas, o centro de cisalhamento coincide com o centro de gravidade, por o que x_o e y_o são iguais a zero, quedando a equação como:

$$\mathbf{r_o} = \sqrt{(\boldsymbol{r_x}^2 + \boldsymbol{r_y}^2)} \tag{3.35}$$

O valor da carga de flambagem elástica Ne, será escolhida como o menor valor entre as equações eq. (3.31), eq. (3.32) e eq. (3.33):

$$\mathbf{N_e} = \ \mathbf{menor\ valor\ entre}\ \begin{cases} \mathbf{N_{ex}} \\ \mathbf{N_{ey}} \\ \mathbf{N_{ez}} \end{cases} \tag{3.36}$$

3.2.3. Determinação de $N_{c,\,Rd}$(NBR 8800:2008 – Seção 5.3.2)

Para a verificação do dimensionamento das peças à compressão, deve-se atender a seguinte condição:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} \geq \mathbf{N_{c,Sd}} \tag{3.37}$$

Para a determinação da resistência de cálculo à compressão $N_{c,Rd}$, é necessário obter o índice de esbeltez reduzido, dado por:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

$$\boldsymbol{\lambda_o} = \sqrt{\frac{\mathbf{Q\ A_g f_y}}{\mathbf{N_e}}} \tag{3.38}$$

Com este parâmetro $\boldsymbol{\lambda_o}$,encontra-se o fator χ de redução associado à resistência da compressão, dado por:

Para$\boldsymbol{\lambda_o \leq 1,5}$: $\chi = \mathbf{0,658^{\lambda o^2}}$ (3.39)

Para $\boldsymbol{\lambda_o} > 1{,}5$: $\chi = \frac{\mathbf{0{,}877}}{\boldsymbol{\lambda_o}^2}$ (3.40)

com o qual, e com os parâmetros antes definidos, pode se determinar a força axial resistente de cálculo de uma barra, determinada pela expressão:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} = \frac{\boldsymbol{\chi}\ \mathbf{Q\ A_g f_y}}{\boldsymbol{\gamma_{a1}}} \tag{3.41}$$

3.2.4. Verificação da esbeltez máxima das peças (NBR 8800:2008 – 5.3.4)

A análise da esbeltez máxima, no caso de peças com forças axiais da compressão, empregará a mesma fórmula indicada na eq. (3.7), eq. (3.8), e eq. (3.9), só que está última não poderá ser superior a 200.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.2.5. Fluxograma para Dimensionamento de Peças Comprimidas

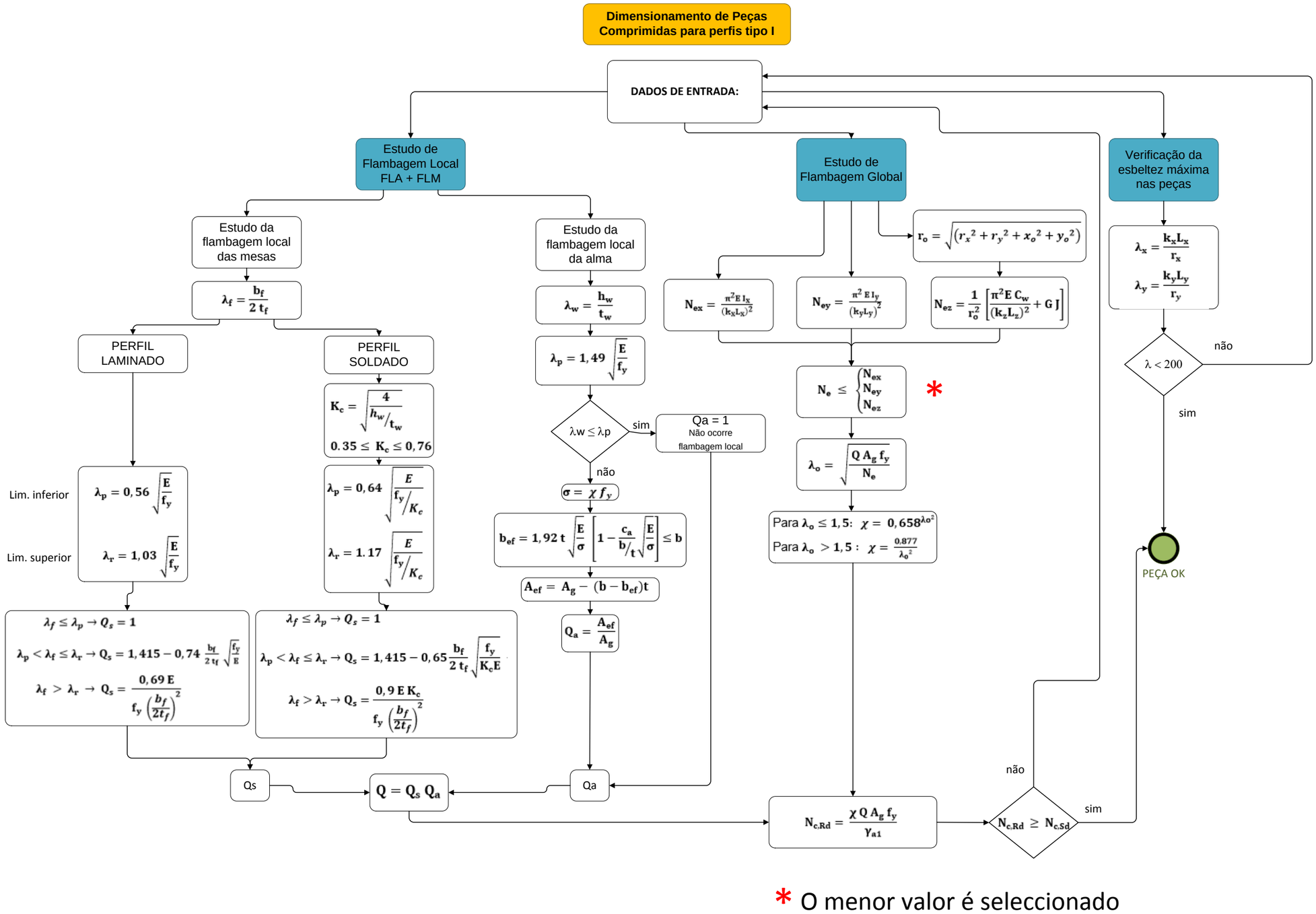


Figura 8. Fluxograma para Dimensionamento de Peças Comprimidas

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.3. Dimensionamento de Peças a Flexão e Força Cortante

Para o dimensionamento de peças submetidas à flexão e força cortante, os dados de entrada são os seguintes:

- Propriedades geométricas da peça (b_f, t_f, h_w, t_w, d);
- Propriedades mecânicas do aço (E, fy, Z_x, Z_y);
- $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$, $V_{x,Sd}$, $V_{y,Sd}$, γ_{a1}, K_c, Lb, I_y, C_w, J, W_c.

3.3.1. Estudo da flambagem local (NBR 8800:2008 Anexo G)

3.3.1.1. Estudo da flambagem local das mesas – FLM

A esbeltez da mesa de um perfil I é definida como a razão:

$$\boldsymbol{\lambda_f = \frac{b_f}{2\ t_f}} \tag{3.42}$$

O estudo de flambagem local da mesa é semelhante ao estudo feito no dimensionamento de peças da compressão, sendo diferenciados nos valores limites os quais podem ser encontrados na Tabela G.1 da Norma, e são os seguintes:

$$\boldsymbol{\lambda_p = 0,38\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \tag{3.43}$$

$$\boldsymbol{\lambda_r = 0,83\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} \rightarrow \text{Perfil laminado}} \tag{3.44}$$

$$\boldsymbol{\lambda_r = 0,95\sqrt{\frac{E}{\frac{(f_y - \sigma_r)}{K_c}}} \rightarrow \text{Perfilsoldado}} \tag{3.45}$$

Onde, a tensão residual de compressão nas mesas, σ_r deve ser tomada igual a 30 % da resistência ao escoamento do aço utilizado.

A análise da seção requer a determinação do momento fletor no início do escoamento (M_r), momento de plastificação (M_{pl}) e o momento fletor de flambagem elástica (M_{cr}), cujas fórmulas se apresentam abaixo:

$$\boldsymbol{M_r = (f_y - \sigma_r)Z} \tag{3.46}$$

$$\boldsymbol{M_{pl} = f_y\ Z} \tag{3.47}$$

$$\boldsymbol{M_{CR} = \frac{0,69\ E}{\lambda^2} \times W_c \rightarrow \text{Perfil laminado}} \tag{3.48}$$

$$\boldsymbol{M_{CR} = \frac{0,9\ E\ k_c}{\lambda^2} \times W_c \rightarrow \text{Perfil soldado}} \tag{3.49}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

O momento fletor resistente de cálculo é determinado de acordo com a relação entre a esbeltez da mesa e os valores limite:

$$\boldsymbol{\lambda_f \leq \lambda_p \rightarrow M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}}, \text{não ocorre Flambagem} \tag{3.50}$$

$$\boldsymbol{\lambda_p < \lambda_f \leq \lambda_r \rightarrow M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \times \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_R)\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right]}, \text{ocorre flambagem inelástica} \tag{3.51}$$

$$\boldsymbol{\lambda_f > \lambda_r \rightarrow M_{Rd} = \frac{M_{CR}}{\gamma_{a1}}}, \text{ocorre Flambagem} \tag{3.52}$$

3.3.1.2. Estudo da flambagem local da alma – FLA

A esbeltez da alma de um perfil I é definida como a razão:

$$\boldsymbol{\lambda_w = \frac{h_w}{t_w}} \tag{3.53}$$

O estudo da flambagem local da alma é semelhante ao estudo da flambagem local das mesas, só se diferenciando nos valores de esbeltez limite como segue:

$$\boldsymbol{\lambda_p = 3,76\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \tag{3.54}$$

$$\boldsymbol{\lambda_r = 5,70\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \tag{3.55}$$

O momento fletor resistente de cálculo é determinado da mesma forma que no estudo da flambagem local das mesas, ou seja, aplicando a formulação descrita na eq. (3.50), eq. (3.51) e eq. (3.52). No entanto, se que para o estudo da flambagem local da alma, se $\lambda_f > \lambda_r$, a alma é esbelta e as prescrições do Anexo H da Norma NBR 8800:2008, devem ser utilizadas para cálculo do M_{CR}, o qual não é escopo deste trabalho.

Lembre-se também que, conforme explica a nota 3 da Tabela G.1, que para o estudo do estado-limite de FLA em relação ao eixo de menor inercia, somente se aplica à alma das seções U, quando comprimidas pelo momento fletor. Portanto, para o elemento em questão (seções tipo I), sua verificação é dispensada.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.3.1.3. Estudo da flambagem lateral com torção – FLT

A relação entre o comprimento destravado L_b e o raio de giração r_y, é o parâmetro mandatório no estudo de flambagem lateral com torção. De forma análoga aos outros modos, pode-se definir a esbeltez e os limites como:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} \tag{3.56}$$

$$\lambda_p = 1,76\sqrt{\frac{E}{f_y}} \tag{3.57}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_y\, J\, \beta_1} \times \sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27\, C_w \beta_1{}^2}{I_y}}} \tag{3.58}$$

Onde:

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W_c}{E\, J} \tag{3.59}$$

$$C_w = \frac{I_y\,(d - t_f)^2}{4} \tag{3.60}$$

A análise da seção requer a avaliação do momento fletor no início do escoamento (M_r) indicado na eq. (3.46), momento de plastificação (M_{pl}) indicado na eq. (3.47), e o momento fletor de flambagem elástica (M_{cr}), resolvido assim:

$$M_{CR} = \frac{C_b\, \pi^2\, E\, I_y}{L_b{}^2} \times \sqrt{\frac{C_w}{I_y}\left(1 + 0,039\,\frac{J\, L_b{}^2}{C_w}\right)} \tag{3.61}$$

Para este estado-limite, é necessário calcular o fator de modificação para o diagrama de momento fletor não uniforme (C_b), no comprimento destravado L_b analisado. Este fator é dado por:

$$C_b = \frac{12.5\, M_{max}}{2.5\, M_{max} + 3\, M_A + 4\, M_B + 3\, M_C} \times R_m \quad \leq 3.0 \tag{3.62}$$

O fator descrito na eq. (3.62) é valido apenas para vigas com apoio nos dois extremos. Para vigas em balanço o valor de C_b é igual a dois (C_b = 2).

O momento fletor resistente de cálculo verificado pelo relacionamento dos limites de esbeltez antes denominados, assim:

$$\lambda_f \leq \lambda_p \rightarrow M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \tag{3.63}$$

$$\lambda_p < \lambda_f \leq \lambda_r \rightarrow M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \times \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_R)\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \tag{3.64}$$

$$\lambda_f > \lambda_r \rightarrow M_{Rd} = \frac{M_{CR}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \tag{3.65}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.3.2. Determinação de Mc Rd (NBR 8800:2008 – Seção 5.3.2)

Para a verificação do dimensionamento das peças à flexão, deve-se atender a seguinte condição:

$$\mathbf{M_{Rd}} \geq \boldsymbol{M_{Sd}} \tag{3.66}$$

Considerando a seguinte condição:

$$\mathbf{M_{Rd}} = \mathbf{menor\ valor}\left(\mathbf{M_{Rd,FLM}}\,;\mathbf{M_{Rd,FLA}}\,;\mathbf{M_{Rd,FLT}}\right) \tag{3.67}$$

Também, deve-se garantir a validade da análise elástica, pelo qual o momento fletor resistente de cálculo está limitado a:

$$\mathbf{M_{Rd}} \leq \frac{\mathbf{1.5}\,\boldsymbol{W_c f_y}}{\boldsymbol{\gamma}\mathbf{a1}} \tag{3.68}$$

Sendo W_c o módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal da barra, em relação ao eixo de flexão.

3.3.3. Verificação do esforço cortante (NBR 8800:2008 – Seção 5.3.2)

A verificação ao cortante é realizada, levando-se em conta apenas a alma da peça como elemento resistente, assumindo a seguinte formulação:

$$\boldsymbol{\lambda_w} = \frac{\mathbf{h_w}}{\mathbf{t_w}} \tag{3.69}$$

$$\boldsymbol{\lambda_p} = \mathbf{1,10}\sqrt{\frac{\mathbf{k_v\,E}}{\mathbf{f_y}}} \tag{3.70}$$

$$\boldsymbol{\lambda_r} = \mathbf{1,37}\sqrt{\frac{\mathbf{k_v\,E}}{\mathbf{f_y}}} \tag{3.71}$$

Onde:

K_v é igual a 5, para perfis sem enrijecedores transversais.

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

$$\mathbf{V_{pl}} = \mathbf{0,60\ d\ A_w f_y} \tag{3.72}$$

onde d é a altura total da seção transversal, f_y a resistência ao escoamento do aço, e A_w é determinada da seguinte forma:

$$\mathbf{A_w} = \mathbf{d\ t_w} \tag{3.73}$$

Onde tw é a espessura da alma.

E o cortante resistente de cálculo é obtido com:

$$\boldsymbol{\lambda} \leq \boldsymbol{\lambda_p} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = \frac{\mathbf{V_{pl}}}{\boldsymbol{\gamma_{a1}}} \tag{3.74}$$

$$\boldsymbol{\lambda_p} < \lambda \leq \boldsymbol{\lambda_r} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = \frac{\boldsymbol{\lambda_p}}{\boldsymbol{\lambda}} \times \frac{\mathbf{V_{pl}}}{\boldsymbol{\gamma_{a1}}} \tag{3.75}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

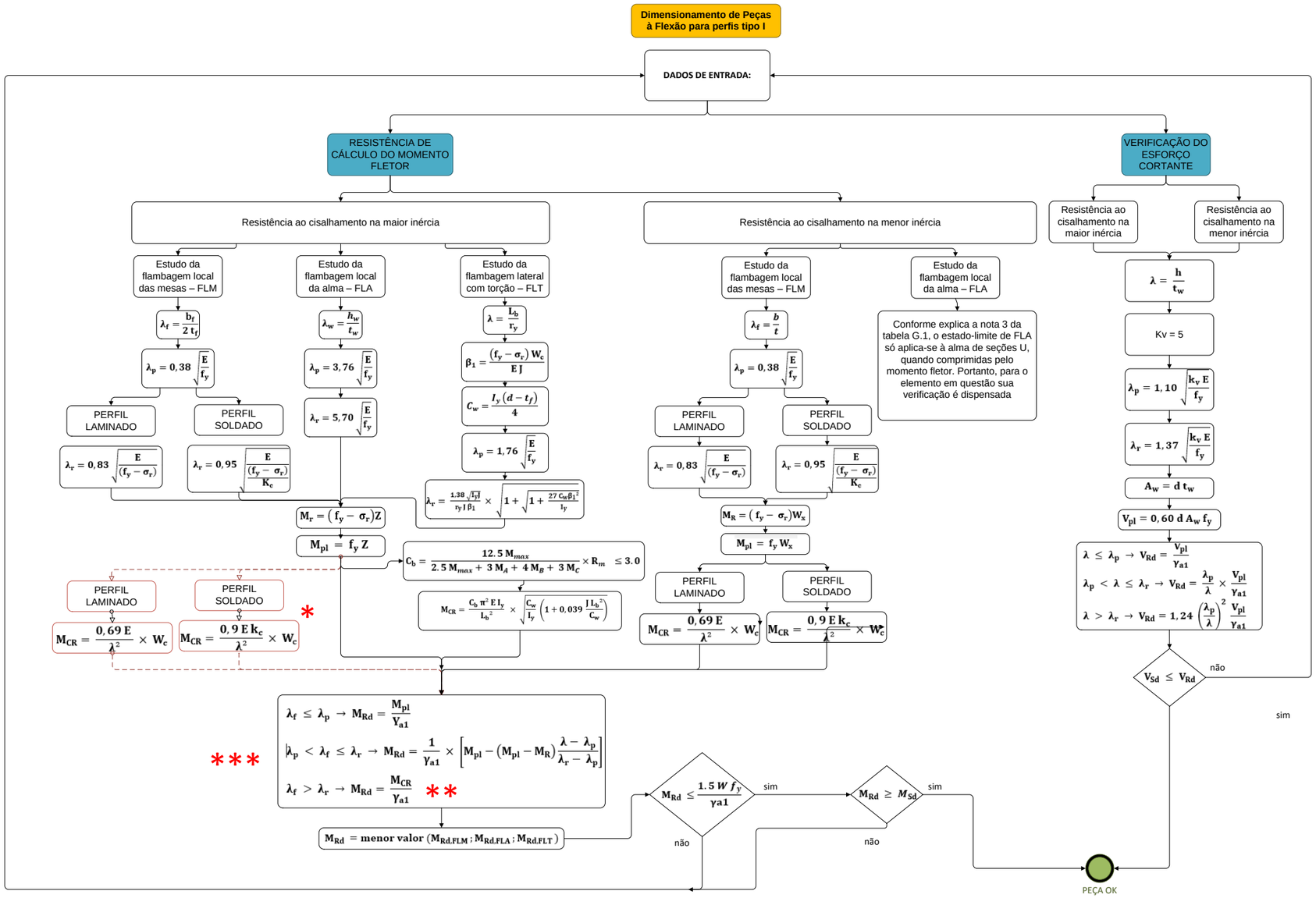
$$\boldsymbol{\lambda > \lambda_r \rightarrow V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}} \tag{3.76}$$

A verificação do esforço cortante se dá pelo atendimento da relação:

$$\boldsymbol{V_{Sd} \leq V_{Rd}} \tag{3.77}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.3.4. Fluxograma para Dimensionamento de Peças a Flexão e Força Cortante



* Cálculo so usado no estado FLM.

** Para o estudo da FLA, se $\lambda_f > \lambda_r$, tem-se que aplicar o dito no Anexo H da Norma NBR 8800:2008.

*** Para o estudo da FLT, devem usarse as equações: $\lambda_p < \lambda_f \le \lambda_r \rightarrow M_{Rd} = \frac{Cb}{\gamma_{a1}} \times \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_R)\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$

$$\lambda_f > \lambda_r \rightarrow M_{Rd} = \frac{M_{CR}}{\gamma_{a1}} \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

Figura 9. Fluxograma para Dimensionamento de Peças a Flexão e Força Cortante

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

3.4. Dimensionamento de Peças a Flexo-Compressão

Quando as peças analisadas estão submetidas a momentos fletores, força axial e forças cortantes, ou seja, combinação de esforços solicitantes exceto torção, devem ser satisfeitas as condições abaixo (expressões de interação):

$$\text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2 \tag{3.78}$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2 \rightarrow \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}}\right) \leq 1,00 \tag{3.79}$$

$$\text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2 \tag{3.80}$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2 \rightarrow \frac{N_{Sd}}{2\,N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}}\right) \leq 1,00 \tag{3.81}$$

3.4.1. Fluxograma para Dimensionamento de Peças a Flexo-Compressão

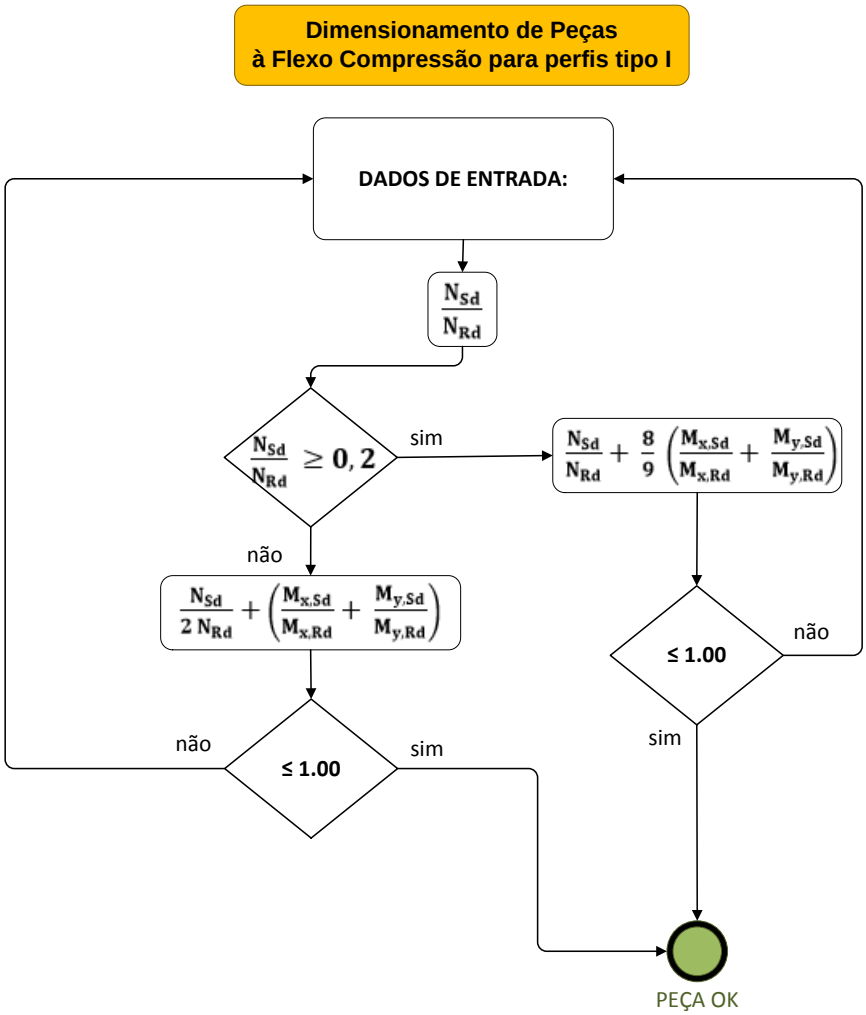


Figura 10. Fluxograma para Dimensionamento de Peças a Flexo-Compressão

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4 Código de Verificação do Dimensionamento

O software escolhido para o desenvolvimento da ferramenta de verificação proposta neste trabalho é o *Revit*® 2014, para o qual a Autodesk fornece uma ferramenta denominada *Structural Analysis and Code checking Toolkit* 2014 que facilita a desenvolvedores de software a ter acesso à base de dados do programa e, portanto, aos parâmetros e características dos elementos definidos internamente no software.

4.1. Softwares Requeridos

Para a elaboração do código para verificação de peças de aço de acordo com a NBR8800:2008 foi necessário a utilização de vários softwares, complementos e documentos que são descritos a seguir. Esta seção apresenta informações relevantes sobre cada um dos softwares bem como detalhes relacionados à instalação de cada um deles.

Microsoft® Visual Studio® 2010

Para o desenvolvimento do código do *plug-in* proposto neste trabalho foi necessário o uso *Microsoft® Visual Studio®.* A versão 2010 foi adotada. Este software pode ser obtido gratuitamente na página oficial do produto:https://www.visualstudio.com/downloads/download-visual-studio-vs

É importante notar que para a implementação é necessário ter experiência em uma linguagem de desenvolvimento baseado em .NET, visto que, os exemplos e os modelos de desenvolvimento fornecidos pela *Autodesk*® são fornecidos em C# e VB.NET (Visual Basic.NET).

Revit® 2014

O software da *Autodesk® Revit® 2014*, onde é implementado o *plug-in* desenvolvido neste trabalho, também deve ser instalado. A instalação do programa *Revit® Structure* é a habitualmente usada nos programas de *Windows®*, mas é necessário considerar a seleção das bibliotecas que são

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

usadas no programa dependendo da região/país para incorporar os elementos estruturais compatíveis. No caso especifico deste trabalho, foram escolhidos o conteúdo do Brasil (quando disponível), o conteúdo de *US Imperial* e *US Metric*, que são os sistemas de unidades padrões do programa, e que também são usados no Brasil.

Feita a instalação e já aberto o programa, a visualização da barra de ferramentas *Analyze* do *Revit® Structure*, inicialmente tem a aparência ilustrada na Figura 11.

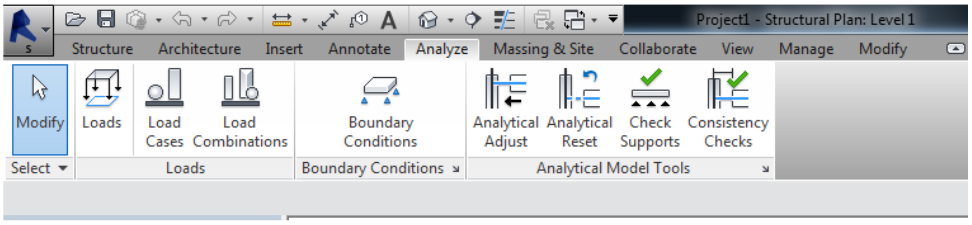


Figura 11. Barra de ferramentas Analyze antes da instalação do Toolkit e do código de verificação da Norma Brasileira NBR8800V1.

Como será visto mais adiante, é nesta barra de ferramentas que aparecerão os ícones relativos ao *plug-in* de verificação de código proposto neste trabalho.

Ferramentas de análise estrutural

Para realizar a análise estrutural do projeto, foram consideradas duas opções. Na primeira, é necessário instalar o programa *Robot™ Structural Analysis Professional*, onde obtém-se as forças esforços internos, reações de apoio, deslocamentos, tensões, etc., da estrutura sendo analisada. Neste programa, o projetista pode realizar diferentes tipos de análises, tais como estático linear, não linear, análise P-delta, entre outras, levando em conta os carregamentos e combinações de carga apropriadas à aplicação. A instalação do programa *Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional 2014* é a comumente usada nos programas de *Windows®*.

A segunda opção considerada neste trabalho é a utilização do serviço de *Structural Analysis na nuvem*, que proporciona uma análise estrutural estática (1ª ordem) para edifícios, para engenheiros e projetistas como parte do processo *BIM*. Esta opção ajuda a reduzir a interrupção do fluxo de trabalho ao executar uma análise na nuvem, e possibilita a visualização dos resultados analíticos

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

diretamente no *Revit® Structure*, permitindo assim a tomada decisões rápidas nos primeiros estágios do projeto.

No caso do uso da realização da análise estrutural na nuvem, não é necessário nenhum tipo de instalação já que ao fazer a instalação do programa *Revit®,* 2014, o serviço de *Autodek® 360º* estará disponível e seu ícone aparecerá na barra acima do programa (Figura 12), sendo necessário apenas fazer um cadastro online.

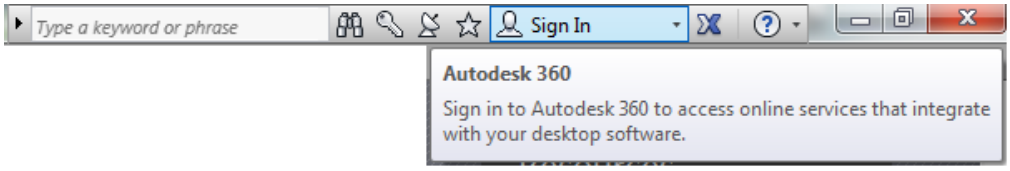


Figura 12. Barra de ferramentas da *Autodek*® 360º.

Como na NBR 8800 atual os efeitos de 2ª ordem precisam ser considerados na maioria dos casos, a seleção do tipo de análise a ser realizada é fundamental. Como das duas opções consideradas apenas o Robot é capaz de realizar esse tipo de análise, ele é praticamente imprescindível para a utilização apropriada do *plug-in* aqui desenvolvido.

Structural Analysis Toolkit 2014 para Autodesk® Revit®

Este aplicativo da *Autodesk®* para o *Revit®* é um conjunto de ferramentas que apoia o processo *BIM*, permitindo aos projetistas estruturais analisar estruturas dentro do ambiente *Revit®.* O *toolkit* viabiliza o acesso à base de dados do programa. Através dele é possível implementar *plug-ins*, como o desenvolvido neste trabalho, e integrá-lo ao *Revit® Structure*. Este *toolkit* pode ser baixado de forma gratuita na página de *Autodesk® Exchange APPS*, no seguinte link:

https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=appstore.exchange.autodesk.com%3Astructuralanalysisandcodecheckingtoolkit2014%3Aen

A instalação é muito simples, seguindo os passos habituais dos programas para *Windows®.*

Feita a instalação e depois de abrir o programa, a visualização da barra de ferramentas *Analyze* do programa *Revit® Structure* muda, e surgem novos ícones sob o conjunto de *Structural Analysis* (*Robot™ Structural Analysis, Analyze in Cloud, Results Manager* e *Results Explorer*) como ilustra a Figura 13.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

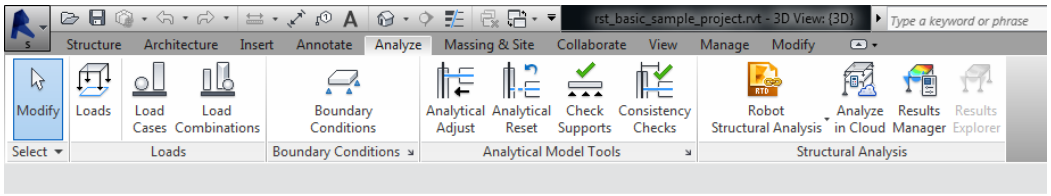


Figura 13. Barra de ferramenta Analyze após a instalação do Toolkit.

SDK - *Software Development Kit*

Para criar um novo código, é necessário baixar a ferramenta *Revit® SDK*, que é um kit de desenvolvimento de software e está disponível no site da rede de Desenvolvedores da Autodesk® (Autodesk® Developer Network):

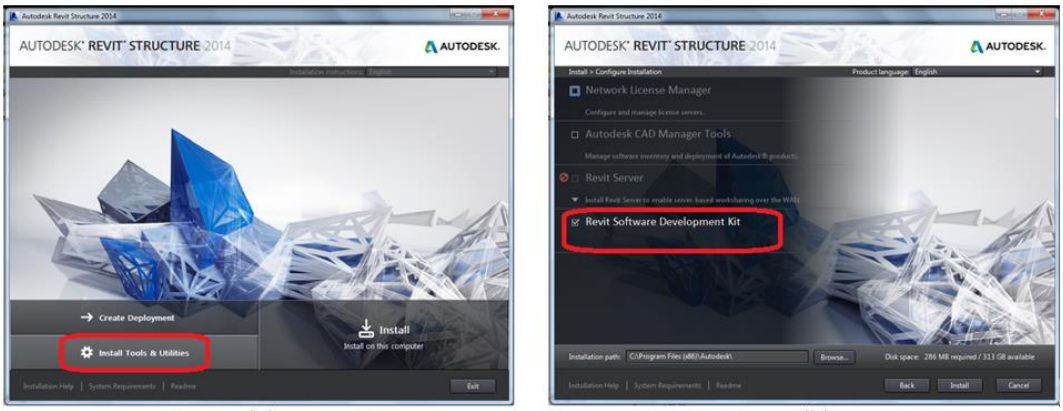
http://www.autodesk.com/developrevit

Ou diretamente no endereço:

http://images.autodesk.com/adsk/files/Revit2014SDK_RTM0.exe

Ou na pasta de instalação do programa, como é mostrado na Figura 14.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA



(a) (b)

Figura 14. Instalação do Kit de desenvolvimento de software a partir do *Revit Structure*, (a) Selecionar *Install Tool & Utilities*, (b) Selecionar *Revit Software Development Kit*.

A pasta escolhida para a instalação do *SDK* deve conter os modelos base para iniciar a programação em C# usando o *Visual Studio® 2010.* Para instalar esses modelos, é necessário fechar o *Visual Studio* e em seguida, copiar os seguintes arquivos:

- *VSCodeChecking Addin* que estarão na pasta de instalação. Estes arquivos são necessários para configurar o projeto adequadamente e devem ser copiados da pasta:

... \Revit 2014 SDK\Structural Analysis SDK\VisualStudio\Addins

para a pasta:

...\My Documents\Visual Studio 2010\Addins

- Os três (3) *arquivos .zip* da pasta:

  ...\Revit 2014 SDK\Structural Analysis SDK\VisualStudio\Templates\ ProjectTemplates\Visual C#\Autodesk\Code Checking

  para a pasta:

  ...\Documents\Visual Studio 2010\Templates\ProjectTemplates\ Visual C#\.

  Estes arquivos não devem ser descomprimidos.

- *Schema.zip* da pasta:

  ...\Revit 2014 SDK\Structural Analysis SDK\VisualStudio\Templates \ItemTemplates\Visual C#\Autodesk\Code Checking

  para a pasta:

  ...\My Documents\Visual Studio 2010\ Templates\ ItemTemplates\ Visual C#\.

Estes arquivos também não devem ser descomprimidos.

O último passo consiste da inicialização do Visual *Studio® 2010*. Uma vez inicializado é possível criar um novo projeto clicando Menu File >> New >> Project. Após essas ações as novas opções aparecem para a linguagem C# como mostra a Figura 15. Os modelos não estão disponíveis na linguagem*VB.NET.*

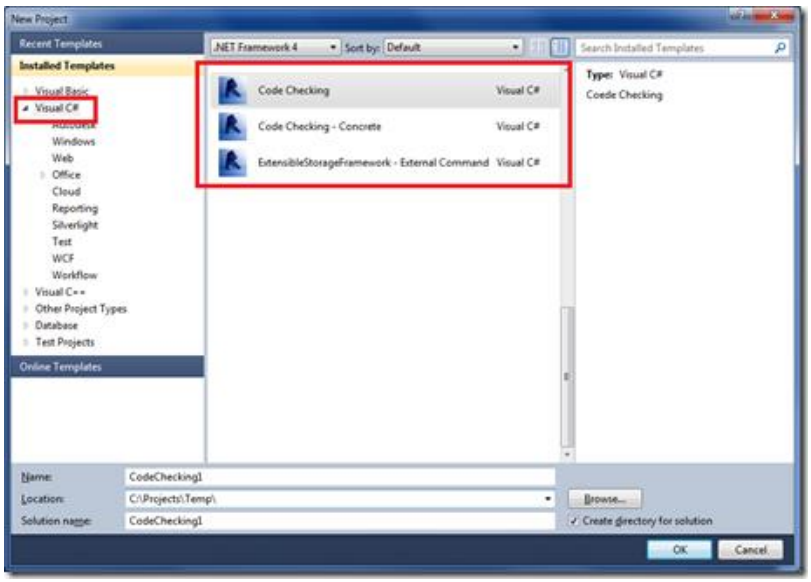


Figura 15. Janela de criação de novo projeto dentro do Visual Studio® 2010, após a instalação dos modelos do SDK.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Vale ressaltar que, nesse ponto do desenvolvimento, a barra de ferramentas Analyze do *Revit® Structure* 2014 só apresentará os ícones mostrados na Figura 16.

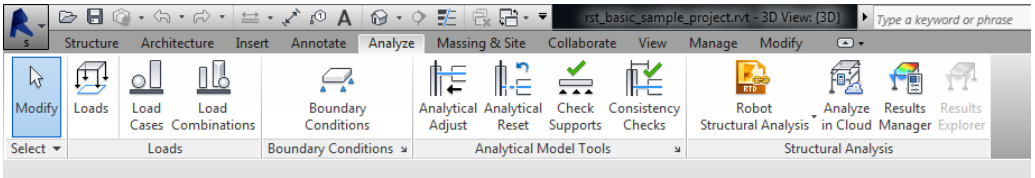


Figura 16. Visualização da barra de ferramentas Analyze após a instalação do *Structural Analysis* and Code checking Toolkit for Autodesk® Revit®.

Uma vez desenvolvido o código usando as linguagens .NET (C#) ou Vb.net e compilado, a barra de ferramentas Analyze do *Revit® Structure* 2014 apresentará novos ícones, além dos indicados anteriormente, como se mostra na Figura 17.

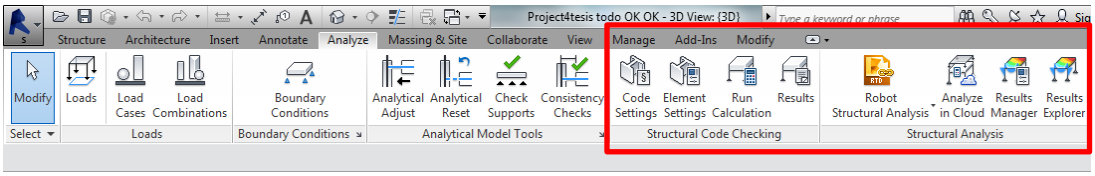


Figura 17. Visualização da barra de ferramentas Analyze, após a instalação do *Structural Analysis and Code checking Toolkit for Autodesk® Revit®* com a implementação do código de verificação da Norma Brasileira NBR8800V1.

A funcionalidade destes oito ícones do *plug-in* da barra *Analyze* (*Structural Code Checking* e *Structural Analysis*) é detalhada a seguir:

- *Code Settings* (Figura 18): permite configurar a norma, ou grupo de normas, que se deseja usar como referência para a análise, ou seja, aqui pode se configurar os parâmetros gerais de uma norma de análise estrutural, neste caso específico da Norma Brasileira NBR 8800:2008, os coeficientes de ponderação das resistências γ_m, os tipos de análises a realizar, o arquivo de resultados trazidos do *Robot™ Structural Analysis* e os tipos de combinações de carga que serão aplicadas na análise.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Figura 18. Ícone *Code Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*.

- *Element Settings* (Figura 19): Permite a criação de uma lista de parâmetros a serem utilizados no cálculo do código de verificação, isto é, faz que a configuração de parâmetros de uma peça ou de um conjunto de peças com as mesmas características. Neste caso especifico, os coeficientes de flambagem serão definidos por flexão e torção, pelos dados do tipo de ligação das peças (soldadas ou parafusadas) e pelo tipo de perfil usado no cálculo (perfil de aço laminado ou soldado).

Figura 19. Ícone *Element Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*.

- *Run Calculations* (Figura 20): Executa a análise do código de verificação dos membros selecionados, neste caso especifico da Norma NBR 8800:2008.

Figura 20. Ícone *Run Calculations* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*.

- *Results* (Figura 21): Abre os resultados do código de verificação da análise mais recente. Os resultados exibidos podem ser de um elemento específico ou deum conjunto de elementos selecionados.

Figura 21. Ícone Results da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- *Robot™ Structural Analysis* (Figura 22): através desse ícone é feita a ligação com o software de Análise estrutural *Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional 2014*. Dentro desse ícone, há um menu desdobrável com mais duas opções que são *Reinforcement Code Check* (código para a verificação de reforço) e o *Robot™ Structural Analysis Link* (ligação ao programa de análise estrutural *Robot™ Structural Analysis*). A primeira opção, não é utilizada neste trabalho já que só são contempladas aqui estruturas de aço.

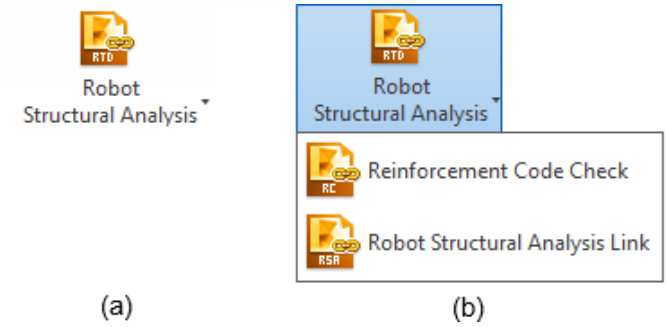


Figura 22. (a) Ícone de *Robot™ Structural Analysis*, (b) Menu desdobrável do Ícone *Robot Structural Analysis* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*.

- *Analyze in Cloud* (Figura 23): este ícone proporciona a ligação com o programa de análise estrutural disponível na nuvem chamado *Structural Analysis* para *Autodesk® Revit®* que é limitada à análise estrutural estática de edifícios.

Figura 23. Ícone Analyze in Cloud da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*.

- *Results Manager* (Figura 24): através desse ícone é possível baixar, remover ou verificar o status de resultados das análises estruturais do modelo analítico do *Revit®,* produzido pela análise feita através *Robot™* ou na nuvem.

Figura 24. Ícone Results Manager da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- *Results Explorer* (Figura 25): permite exibir diagramas de forças normais e cortantes, momentos, deslocamentos e deformações, assim como, mapas de tensões com base nos resultados obtidos na análise estrutural.

Figura 25. Ícone Results Explorer da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*.

A utilização detalhada destes ícones é explicada no decorrer deste capítulo e no Apêndice A.

4.2. Dimensionamento de Elementos de Aço usando o *plug-in*

Nesta seção é feita uma descrição detalhada do processo de criação do código computacional de verificação do dimensionamento de estruturas de aço de acordo com a norma NBR8800V1.

A Figura 26 ilustra como os softwares descritos na Seção 4.1 são interligados. O fluxo de informação funciona assim:

1. O *Revit® Structure 2014* através da interface de usuário - UI *(user interface)* entrega a informação sobre a estrutura, através do *plug-in Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®*, ao *plug-in* desenvolvido que faz a verificação de acordo com a norma NBR8800V1 (*Microsoft® Visual Studio® 2010*).
2. Paralelamente, o *Revit® Structure 2014* através da interface de usuário, envia informação ao *Robot™ Structural Analysis Professional 2014* ou para a nuvem, por meio do *plug-in Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®*.
3. *Robot™ Structural Analysis Professional 2014* ou a nuvem, gera os resultados da análise estrutural e os envia ao *plug-in* desenvolvido, por meio do aplicativo *Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®.*
4. O *plug-in* desenvolvido que faz a verificação de acordo com a norma NBR8800V1, coleta toda a informação, faz os cálculos baseados na Norma brasileira NBR8800:2008, e produz os resultados do dimensionamento das peças.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

5. Esses resultados são enviados através do aplicativo *Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®,* de volta para o *Revit® Structure 2014.*
6. No *Revit® Structure 2014* estes resultados podem ser visualizados.
7. A partir destes resultados, é gerado um relatório em formato de texto HTML.

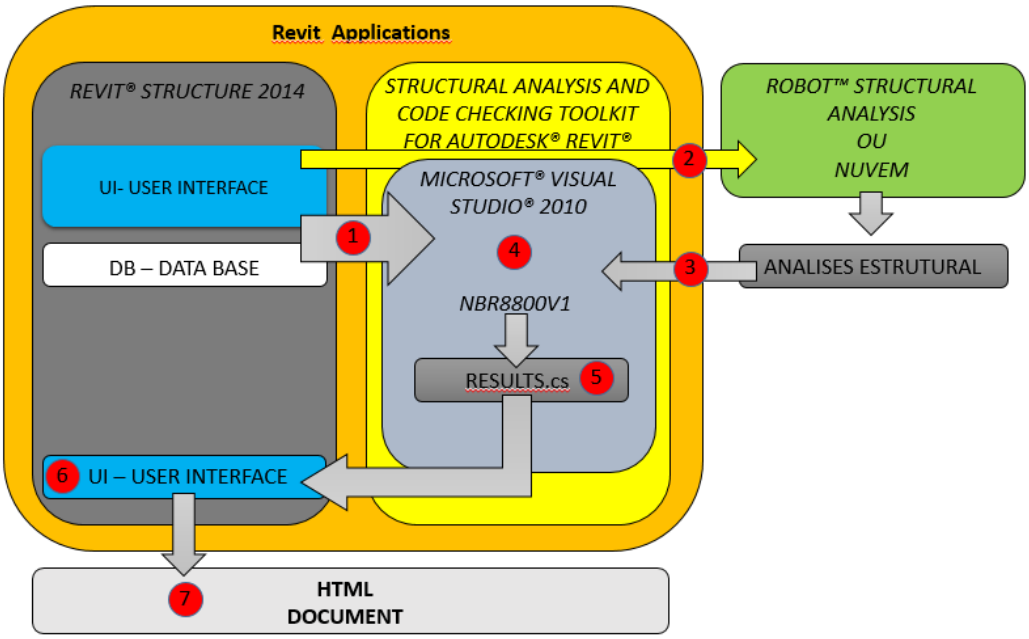


Figura 26. Ligação entre os vários programas e a ferramenta computacional que implementa Norma NBR8800V1.

4.2.1. Preparação do ambiente de trabalho dentro do *Microsoft® Visual Studio® 2010*

Para inicializar a codificação dentro do *Visual Studio® 2010,* cria-se um novo projeto, conforme é indicado na Figura 27, seleciona se o modelo *Code Checking*, que é o modelo de verificação genérico. O modelo *Code Checking – Concrete*, como é chamado é para concreto, dedicado ao reforço necessário para vigas e pilares de concreto. E o *ExtensibleStorageFramework – External Command* que cria comandos externos, usando a estrutura de armazenamento extensível. Estes dois últimos modelos não serão aplicados neste caso.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

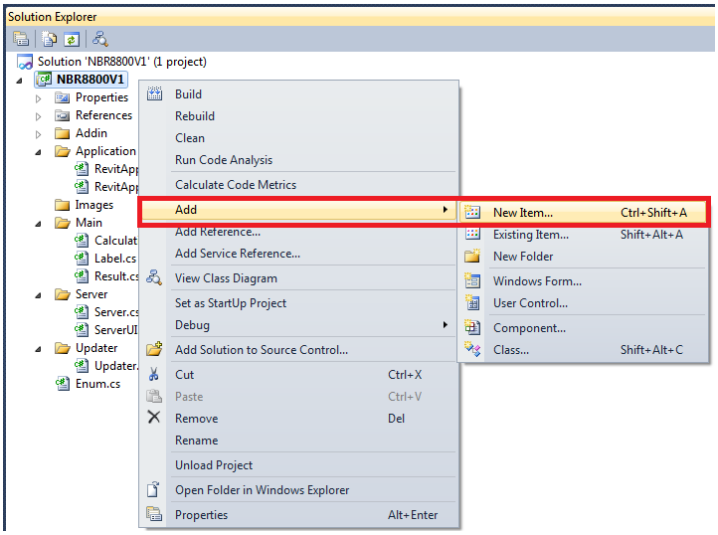


Figura 27. Criação de um novo projeto dentro do *Visual Studio® 2010*.

Neste momento se fará a seleção do nome, localização do arquivo e o nome da solução (Figura 28).

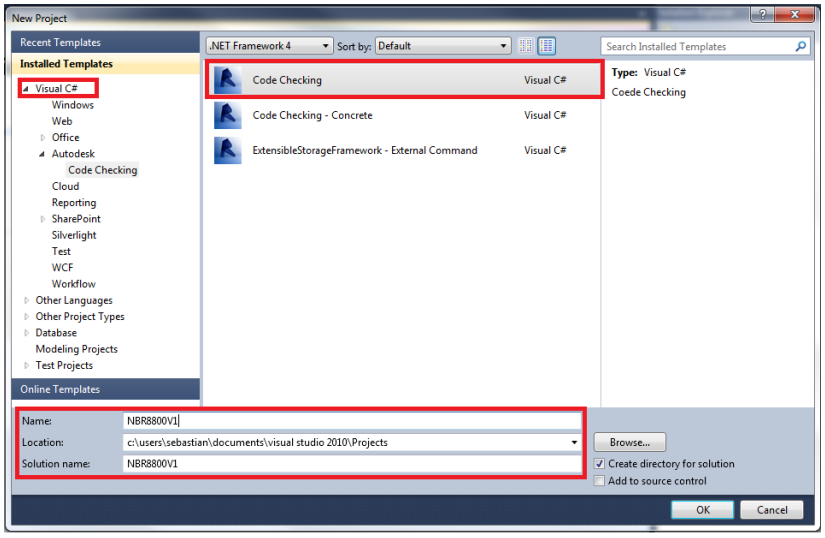


Figura 28. Janela de criação de novo projeto no *Visual Studio*® 2010.

No SDK - *software development kit*, onde se fez a instalação prévia do *Kit* de desenvolvimento de software, foram copiados alguns arquivos em localizações determinadas. Ao ser selecionado o modelo na linguagem C#, *Code Checking*, um assistente de configuração chamado *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, onde se define a informação para poder prosseguir com o desenvolvimento do código necessário, assim como, as informações gerais do Projeto (nome, descrição, vendedor e descrição do vendedor), bem como o material que suportará o código computacional de verificação (neste caso aço ou

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Metal em inglês); as categorias suportadas ou tipo de elementos estruturais que farão parte do código de verificação (neste caso particular serão colunas e vigas); a seleção das unidades em que trabalhará basicamente o código de verificação; e se será necessário a inclusão da biblioteca ou do componente de *Engineering* que ajuda a extrair dos modelos *BIM* dentro do *Autodesk® Revit® Structure 2014,* dados necessários para executar verificações de Norma. Este assistente *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014,* se apresenta como é mostrado a seguir (Figura 29):

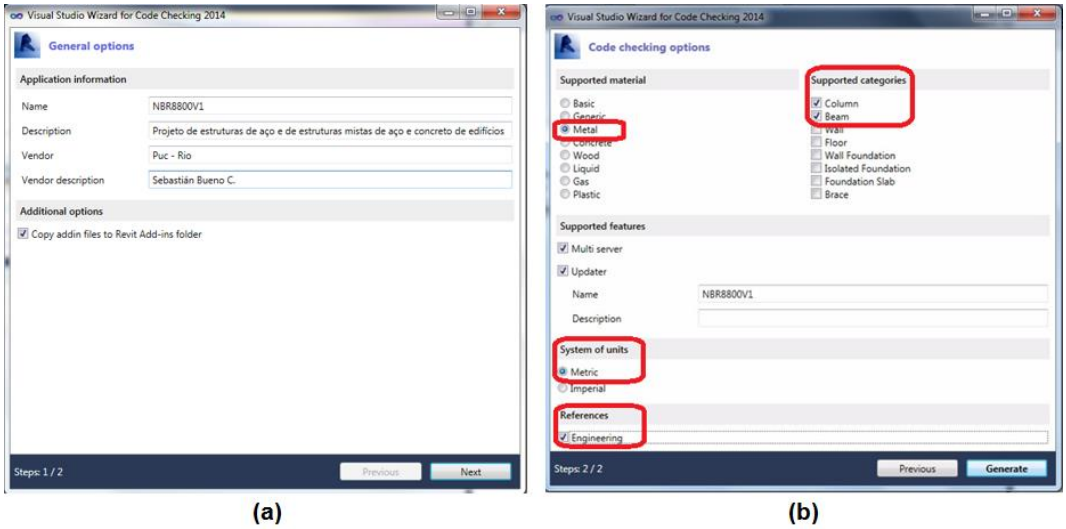


Figura 29. (a) passo 1: definição do nome, descrição, vendedor e descrição do vendedor, (b) passo 2: definição do material, elementos estruturais suportados, sistema de unidades e referências (*Engineering Component*).

Com a ajuda do *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014,* o programa gera diretamente um conjunto de arquivos ou classes, com as respectivas referências das bibliotecas necessárias para a criação do código computacional de verificação do dimensionamento NBR8800V1, as quais serão esclarecidas detalhadamente na próxima sub-seção. O projeto será armazenado na pasta:

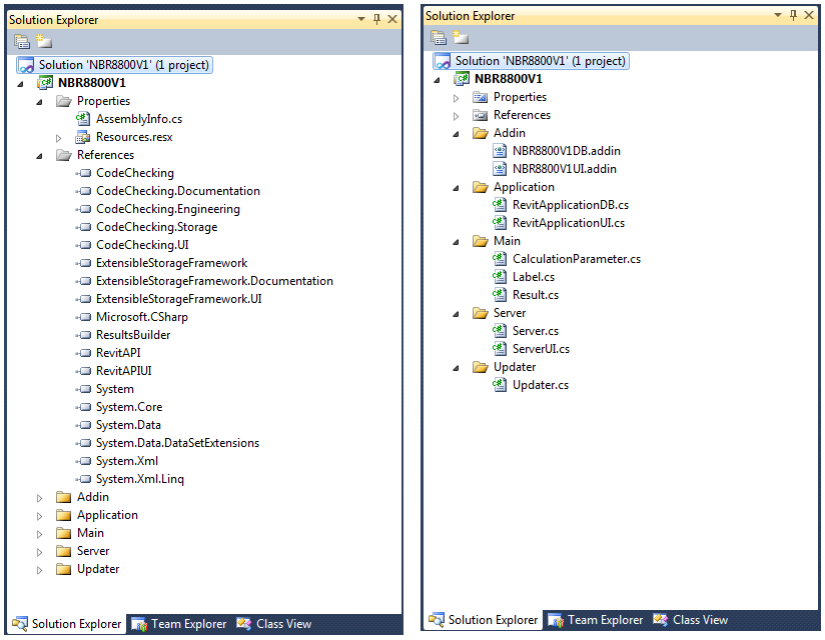
C:\ Users \ ... \ Documents \ Visual Studio 2010 \ Projects \ NBR8800V1

É importante ressaltar que toda a informação para a criação destes códigos de verificação se encontra no SDK - *software development* kit na pasta chamada *Documentation*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4.2.2. Estrutura do Projeto

Quando *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014* cria o Projeto, as pastas, arquivos e as configurações mais importantes deste, são predefinidos em sete pastas principais: *Properties*, *References, Addin, Application, Main, Server* e *Updater* (Figura 30).



(a) (b)

Figura 30. Arquivos gerados pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, (a) arquivos dentro das pastas *Properties e References*, (b) arquivos dentro das pastas *Addin, Application, Main, Server e Updater*.

Em seguida são descritos cada um dos arquivos dentro destas sete pastas da solução gerada NBR8800V1.

É importante mencionar que o desenvolvimento do código será feito, principalmente em cinco arquivos principais:

- *CalculationParameter.cs*
- *Label.cs*
- *ServerUI.cs*
- *Results.cs*
- *Server.Cs*

4.2.2.1. *Properties*

Esta pasta contém dois arquivos: *AssemblyInfo.cs* e *Resources.resx.*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- *AssemblyInfo.cs*: este arquivo é preenchido e criado com todas as informações definidas no assistente de dados ou *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, foram explicadas na sub-seção 4.2.1. (Figura 31).

Região do Código - AssemblyInfo.cs

```
[assembly: AssemblyTitle("NBR8800V1")]
[assembly: AssemblyDescription("Sebastián Bueno C.")]
[assembly: AssemblyConfiguration("")]
[assembly: AssemblyCompany("Puc - Rio")]
[assembly: AssemblyProduct("NBR8800V1")]
[assembly: AssemblyCopyright("Copyright © Puc - Rio. 2014")]
[assembly: AssemblyTrademark("")]
[assembly: AssemblyCulture("")]
[assembly: ComVisible(false)]
[assembly: Guid("a723a5fb-f3f9-48ca-8a1a-96026e50ccf6")]
[assembly: AssemblyVersion("2014.0.0.0")]
[assembly: AssemblyFileVersion("2014.0.0.1306")
```

Figura 31. Extrato de código arquivo do *AssemblyInfo.cs.*

- *Resources.resx*: este arquivo guarda espaço reservado para as variáveis *String* para localizar (ou *localize* em Inglês), mas neste caso especifico do NBR8800V1, não foi utilizado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4.2.2.2. *References*

Esta pasta contém os arquivos de referência das bibliotecas necessárias no código, as quais se não estiverem anexadas, podem ser acessadas fazendo um clique direito sobre a pasta de *References* no *Solution Explorer* do *Microsoft® Visual Studio® 2010, e dando* clique *no (>>Add Reference...),* como mostrado nas Figuras 32 e 33. Imediatamente, uma janela *Add Reference* aparecerá, onde se pode escolher a aba de *Browse* esse procurará as referências necessárias na seguinte pasta:

C:\ ProgramData \ Autodesk \ ApplicationPlugins \ Structural Toolkit for Revit 2014.bundle \ Contents...

Ou na pasta:

C:\ Program Files \ Autodesk \ Revit Structure 2014, onde estão as bibliotecas próprias do programa *Revit® Structure 2014*.

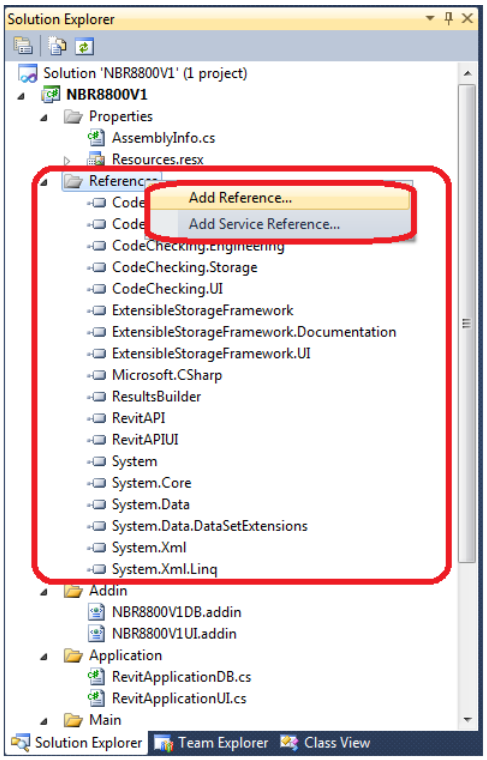


Figura 32. Adição de referência das bibliotecas necessárias para o código.

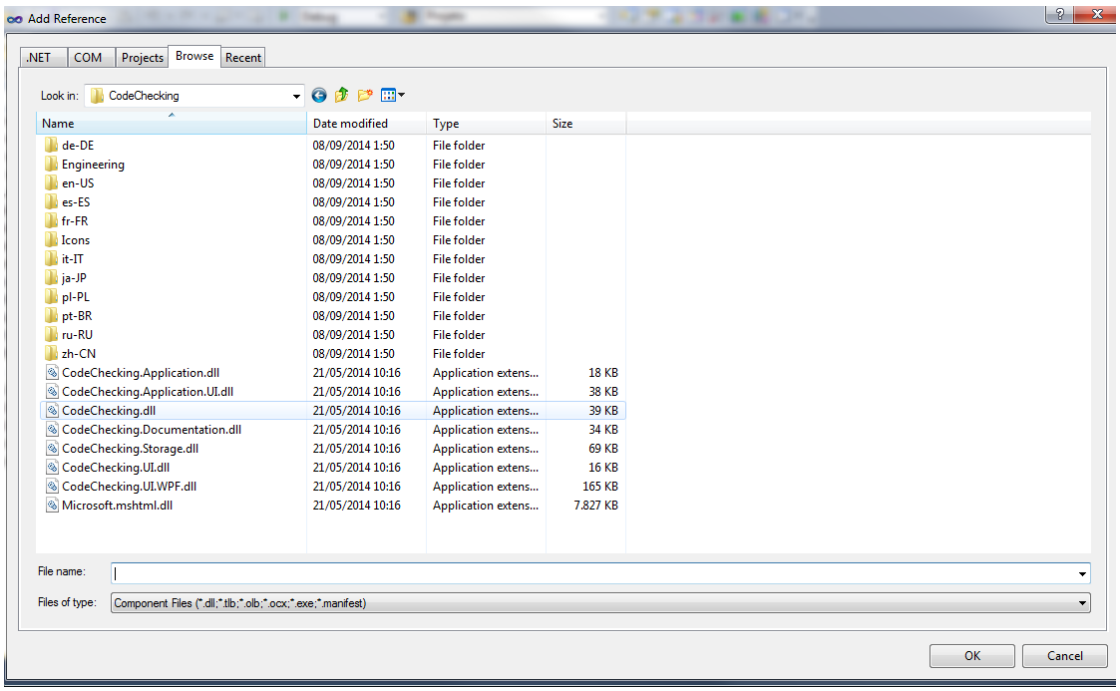


Figura 33. Janela *Add Reference* aparecerá onde se pode escolher a aba de *Browse* se procurará as referências necessárias nas pastas indicadas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

As referências mais usadas neste projeto são as mencionadas a seguir:

- Bibliotecas *.NET*: Estas são referências próprias da linguagem do *.Net* framework, as quais são especificamente determinadas para a linguagem C#, e permitem o desenvolvimento básico do código. As referências .NET mais usadas neste projeto são as seguintes: System, System.Core, System.Data, System.Data.DataSetExtesions, System.Xml, System.Xml.Linq.
- Bibliotecas *Revit*: Estas são as referências próprias do *Revit*, tomando em conta as suas extensões como *Revit® Structure, Architecture e Mep,* que permitem o acesso à informação paramétrica das bases de dados dos elementos do modelo, a manipulação dos elementos gráficos gerados no programa, acesso e a escrita dos resultados do modelo como código de verificação NBR8800V1. A aplicação de cada uma das bibliotecas é rapidamente esclarecida como se mostra a seguir:
    - *RevitAPI*: Interface de aplicação de programação a nível de base de dados do Revit.
    - *RevitUIAPI*: Interface de aplicação de programação a nível de interface de usuário do Revit.
    - *ResultsBuilder*: Componente para acessar aos resultados do modelo dentro do projeto de Revit.
    - *CodeChecking*: Controla as classes base e os fundamentos para as aplicações do código de verificação.
    - *CodeChecking.Storage*: Permite o acesso à base de dados de resultados já gerados.
    - *CodeChecking.Documentation*: Dispõe de um conjunto de ferramentas para criar relatórios de cálculo e seus resultados.
    - *CodeChecking.UI*: Permite a criação e o gerenciamento da interface de usuário do código de verificação dentro do Revit.
    - *ExtensibleStorageFramework*: Permite a gestão dos dados dos resultados já gerados.
    - *ExtensibleStorageFramework.UI*: Dispõe de um conjunto de ferramentas para realizar representação de dados dentro da interface de usuário.
    - *ExtensibleStorageFrameworkDocumentation*: Dispõe de um conjunto de ferramentas para criar relatórios com diferentes representações dos dados.

4.2.2.3. *Addin*

A presente pasta contém dois arquivos muito importantes, os arquivos de manifesto denominados: *NRB8800V1DB.addin* e *NRB8800V1DB.addin*. O

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

primeiro é dedicado a gerenciar aplicação de base de dados e o segundo é a aplicação da interface de usuário.

Estes dois arquivos são necessários para o funcionamento do código desenvolvido, visto que faz a ligação entre o código do NBR 8800V1 com o plug-in *Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®,* e por meio deste com o *Revit® Structure 2014*, porque estes contêm o endereço da pasta onde o código está localizado. O suplemento *VSCodeChecking*, antes mencionado na sub-seção 4.1., *SDK - software development kit*, atualizará os endereços de referência das pastas. Estes arquivos são automaticamente gerados com o *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014,* estes arquivos são copiados na pasta:

C:\ Users \ ... \ AppData \ Roaming \ Autodesk \ Revit \ Addins \ 2014

Se for necessário mudar estes arquivos, o arquivo original se encontra na pasta do projeto:

C:\ Users \ ... \ Documents \ Visual Studio 2010 \ Projects \ NBR8800V1 \ NBR8800V1 \ Addin, e só será necessário copiar os arquivos NRB8800V1DB.addin e NRB8800V1DB.addin na pasta:

C:\ Users \ ... \ AppData \ Roaming \ Autodesk \ Revit \ Addins \ 2014,

e mudar o endereço mostrado, sob o nome de <Assembly>, como é mostrado a seguir (Figuras 34 e 35):

Código - NRB8800V1DB.addin

```
<?xmlversion="1.0"encoding="utf-8"?>
<RevitAddIns>
<AddInType="DBApplication">
<Name>NBR8800V1</Name>
<Assembly>c:\users\sebastian\documents\visual studio
2010\Projects\NBR8800V1\NBR8800V1\bin\Debug\NBR8800V1.dll</Assembly>
<AddInId>05b23a97-e2f0-4758-9d2a-161560ec176b</AddInId>
<FullClassName>NBR8800V1.RevitApplicationDB</FullClassName>
<VendorId>Puc - Rio</VendorId>
<VendorDescription>Sebastián Bueno C.</VendorDescription>
</AddIn>
</RevitAddIns>
```

Figura 34. Código do arquivo NRB8800V1DB.addin.

Código - NRB8800V1UI.addin

```
<?xmlversion="1.0"encoding="utf-8"?>
<RevitAddIns>
<AddInType="Application">
<Name>NBR8800V1 (UI)</Name>
<Assembly>c:\users\sebastian\documents\visual studio
2010\Projects\NBR8800V1\NBR8800V1\bin\Debug\NBR8800V1.dll</Assembly>
<AddInId>7f203aa2-ca86-43d3-8e46-6073753f3278</AddInId>
<FullClassName>NBR8800V1.RevitApplicationUI</FullClassName>
<VendorId>Puc - Rio</VendorId>
<VendorDescription>Sebastián Bueno C.</VendorDescription>
</AddIn>
</RevitAddIns>
```

Figura 35. Código do arquivo NRB8800V1UI.addin.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

O endereço referido anteriormente é onde o arquivo .dll do código se encontra guardado, neste caso particular na direção:

C: \ ... \ visual studio 2010 \ Projects \ NBR8800V1 \ NBR8800V1 \ bin \ Debug \ NBR8800V1.dll

NBR8800V1.dll é gerado pelo *Visual Studio® 2010,* quando se gera uma solução (Build >> Build Solution), ou quando o código é passado pelo processo de identificação e correção de erros (Debug) (Figura 36).

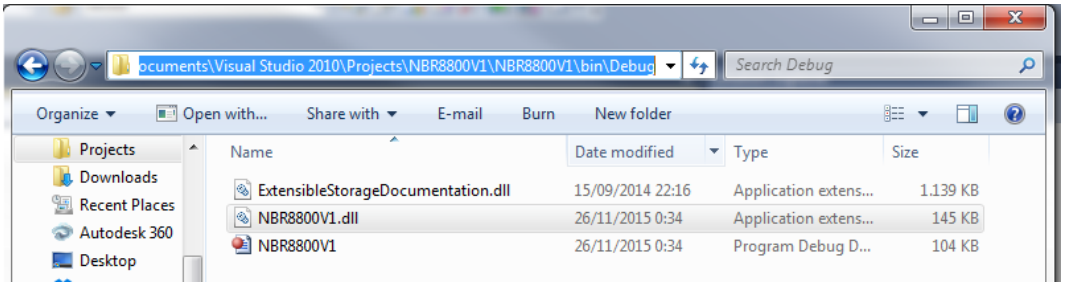


Figura 36. Endereço onde o arquivo NBR8800V1.dll do código de verificação se encontra guardado.

4.2.2.4. *Application*

As *Applications* permitem aos desenvolvedores anexar e associar seus códigos (como o NBR8800V1), ao *Revit® Structure 2014,* quando for iniciado. Existem dois tipos de aplicações:

- *RevitApplicationDB.cs:* toma todas as ações relacionadas com a *Data Base* ou base de dados própria do *Revit®.* Este arquivo é executado no início do *Revit®*, a sua principal tarefa é registrar o *Server.cs* dentro do *Code Checking Service* (ou Serviço de Verificação de Código) dentro do *Revit® Structure.*
- *RevitApplicationUI.cs:* toma todas as ações relacionadas com o User Interface ou Interface de Usuário própria do *Revit®.* A sua principal tarefa é registrar o *ServerUI.cs* dentro do *Code Checking Service* no *Revit Structure.*

A aplicação e a funcionalidade dos arquivos *Server.cs* e *ServerUI.cs*, serão descritas posteriormente.

Estes arquivos, *RevitApplicationDB.cs* e *RevitApplicationUI.cs,* são automaticamente gerados pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014* e não foram modificados para este caso particular.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4.2.2.5. *Main*

Nesta pasta se encontram três dos cinco arquivos mais importantes do código de verificação, os quais são: *CalculationParameter.cs, Label.cs* e *Results.cs.* Estes arquivos são baseados em estruturas de dados independentes, definidas por variáveis constituídas por propriedades e cada uma delas são definidas por atributos específicos, como o exemplo da Figura 37:

```
// COEFICIENTE A1 - UNITTEXTBOX
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty(
    FieldName = "a1",
    Unit = Autodesk.Revit.DB.UnitType.UT_Number,
    DisplayUnit = DisplayUnitType.DUT_GENERAL)]
[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.UnitTextBox(
    Description = "@g{a1} = ",
    ValidateMinimumValue = false,
    ValidateMaximumValue = false, AttributeUnit = Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL,
    Category = "* PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE FLAMBAGEM POR FLEXÃO E TORÇÃO",
    IsVisible = true,
    IsEnabled = false,
    Index = 2,
    Localizable = true,
    Tooltip = " TABELA 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γm - NBR
8800/2008 - pág. 23")]
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName(
    Name = "@g{a1}",
    Localizable = false,
    Index = 2)]
public Double a1 { get; set; }
```

PROPRIEDADES DO ESQUEMA
ATRIBUTOS DE ESQUEMA
PROPRIEDADES DE UI
ATRIBUTOS DE UI
PROP. DE DOCUMENTAÇÃO
ATRIBUTOS DE DOCUMENTAÇÃO
DEFINIÇÃO DA VARIÁVEL
DEFINIÇÃO DO TIPO DE VARIÁVEL

Figura 37. Exemplo de aplicação de propriedades e atributos em uma variável do código.

As propriedades empregadas pelo código são definidas como:

- Propriedade do Esquema *(SchemaProperty):* define como a variável, por meio de seus atributos; será salva e tratada dentro da base de dados.
- Propriedade da Interface de Usuário (UI – User Interface Property): define como a variável, por meio de seus atributos; será organizada, visualizada, tratada, controlada e apresentada na interface de usuário do *Revit® Structure.*
- Propriedade de Documentação (Documentation Property): define como a variável salva na base de dados através do *SchemaProperty*, será visualizada ou impressa no relatório final.

Cabe mencionar que cada tipo de variável (*e.g.*: *double, bool, string*, etc.) usará diferentes tipos de atributos, por causa da essência própria da variável. No código de verificação NBR8800V1, só se empregaram variáveis de tipo *bool* e *double*. Os atributos utilizados nas propriedades de cada variável, no código de verificação NBR8800V1, são esclarecidos na Tabela 2:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Tabela 2: Principais atributos empregados nas propriedades de cada variável no código de verificação NBR8800V1.

Atributos	Descrição
SchemaProperty Attributes – Atributos das Propriedades do Esquema	
Unit	A categoria da unidade de campo da variável. (e.g.: UT_Length)
DisplayUnit	A unidade na qual os dados são armazenados na classe (importante durante a gravação e carregamento)
FieldName	Se não definir o nome da propriedade, será feita diretamente, tomando o mesmo nome da variável, o qual funciona como nome interno dentro da base de dados.
UI attributes – Atributos de interface de usuário	
Common Attributes - Atributos comuns	
IsVisible	Indica se o campo da variável é visível.
Category	Indica a categoria na qual a variável deve ser atribuída.
IsEnable	Indica se o controle de edição da variável deve ser habilitado.
Localizable	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (True), o método GetResourse do ServerUI.cs será usado (e.g.: context, key, description, fieldname, tooltip, etc.).
Description	É a descrição do campo da variável. Se a descrição não está definida, o nome dado nos atributos das propriedades do esquema (SchemaProperty Attributes) será tomado. A descrição suporta a bandeira localizável.
Index	Decide sobre a posição de impressão do campo da variável na interface de usuário, seja no CalculationParameter.cs ou no Label.cs.
Tooltip	Apresenta uma descrição, etiqueta ou dica para determinado campo da variável. O Tooltip também suporta a bandeira localizável.
Enum Attributes	
Presentation	Este modo de apresentação permite que os desenvolvedores possam especificar se o Enum Attribute será mostrado como ComboBox, OptionList ou ToggleButton. (e.g.: Presentation= Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.PresentationMode.ComboBox
Item	Mostra como o atributo Presentation é definido: (e.g.: Texto, Imagem, Texto com imagem).
Context	Retorna o texto ao recurso baseado na chave e no contexto (key and context). Usado quando a bandeira Localizable está definida como verdadeira (true) e para o Control Enum.
UnitTextBox Attributes	
AttributeUnit	Define o tipo de unidade (Métricas ou Imperiais) na qual os valores dos atributos da variável são definidos (e.g.: MinimumValue)
MinimumValue	Controla o valor mínimo ingressado na variável no UI (User Interface). Se o valor ingressado no UI for menor ao valor determinado neste atributo, o valor mínimo é tomado pela variável.
MaximumValue	Controla o valor máximo ingressado na variável no UI (User Interface). Se o valor ingressado no UI for maior ao valor determinado neste atributo, o valor máximo é tomado pela variável.
ValidateMinimumValue	Indica se o valor deve ser verificado com o atributo MinimumValue. (e.g.: ValidateMinimumValue = true)
ValidateMaximumValue	Indica se o valor deve ser verificado com o atributo MaximumValue. (e.g.: ValidateMaximumValue = false)
Documentation attributes – Atributos de documentação	
Name	Define o nome do campo da variável que será impresso no documento final.
Localizable	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (True), O método GetResourse do ServerUI.cs será usado (e.g.: context, key, description, fieldname, tooltip, etc.)
Index	Decide sobre a posição de impressão do campo da variável no documento final, ou seja, no Results.cs.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

A seguir são detalhados os três arquivos contidos na pasta *Main*, visto que se apresentam na interface de usuário do *Revit® Structure 2014* em forma de variáveis, sendo estes três documentos a base dos dados onde serão salvas todas as informações geradas no projeto e no código de verificação.

a) *CalculationParameter.cs*

Este arquivo descreve os parâmetros de cálculo gerais para o código de verificação, isto é, estes parâmetros são comuns para todos os elementos, como por exemplo, o usado no código de verificação NBR8800V1, como são os coeficientes de ponderação das resistências, os quais são determinados só uma vez para todos os elementos.

Este arquivo com um código inicial foi automaticamente gerado pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, dentro do projeto NVR8800V1 no *Visual Studio® 2010.* Este arquivo foi modificado como se explicará na codificação usada no Arquivo *CalculationParameter.cs.*

O arquivo *CalculationParameter.cs* controla tudo o que acontece no ícone Code Settings, da barra de ferramentas Analyze (Structural Code Checking) do Revit® Structure 2014 (Figura 38):

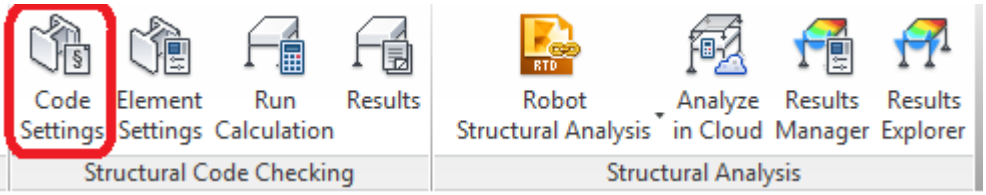


Figura 38. Ícone *Code Settings*, da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*.

Como neste momento ainda não foi desenvolvido nenhum tipo de código deste arquivo, ao ingressar dentro da janela ativada pelo ícone *Code Settings*, a interface de usuário aparece no seguinte formato (Figura 39):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

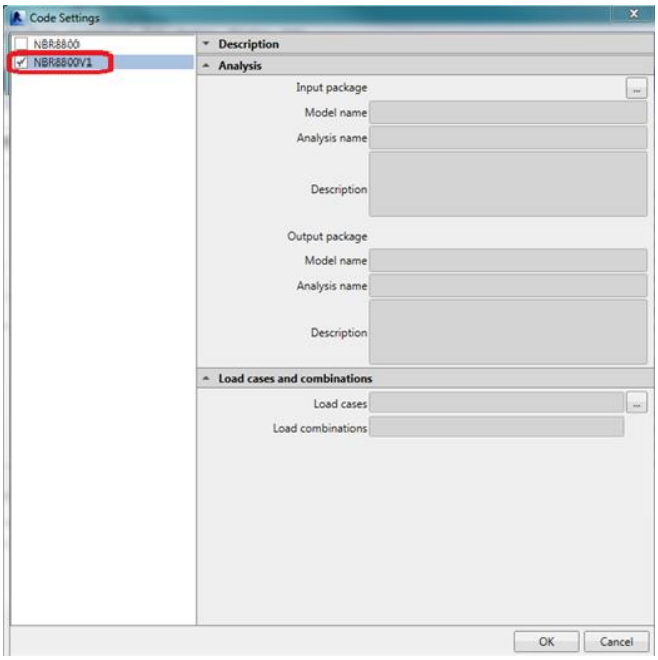


Figura 39. Janela *Code Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Na codificação empregada para consolidar a programação do arquivo CalculationParameter.cs utilizam se variáveis somente dos tipos *double* e *bool*. Neste arquivo têm se três tipos de estruturas de código que serão mostradas no *user interface* do *Revit® Structure 2014, no ícone de Code Settings,* com as quais o programa foi desenvolvido, e são:

A estrutura de dados *EnumControl* permite ao usuário escolher de uma lista de opções um dado em particular, como é indicado na Figura 40:

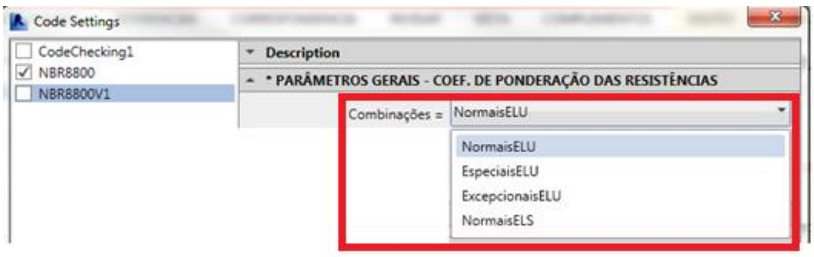


Figura 40. *Enum Control – ComboBox* na Janela *Code Settings*.

Sendo este o código necessário para representar a opção “Combinações” (*public Combinacao COEFPOND*), na interface de usuário da janela *Code Settings* (Figura 41):

Região do Código - CalculationParameter.cs

Variável public Combinacao COEFPOND

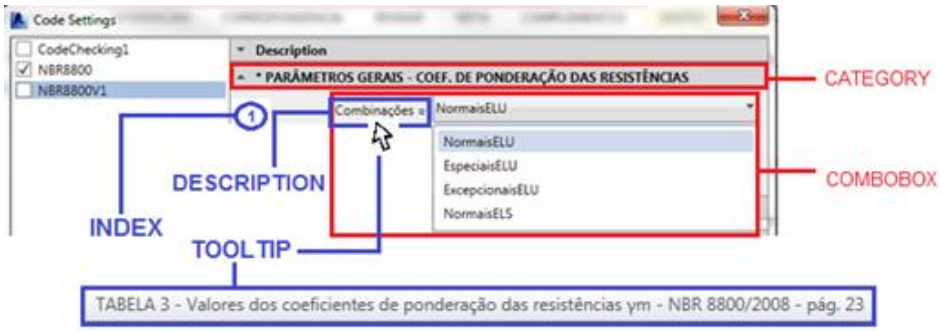
```
// …

// CATEGORY *PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS
        #region PARAMETROSGERAIS
// COMBINAÇÕES - ENUMCONTROL - COMBOBOX
        [Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty(
FieldName = "COEFPOND")]
[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.EnumControl(
Presentation =
Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.PresentationMode.Combobox,
            Item =
Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.PresentationItem.Text,
Context = "EnumComboboxCoefpond",
            Category = "* PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS",
Description = "Combinações = ",
IsVisible = true,
            IsEnabled = true,
Index = 1,
Localizable = true,
            Tooltip = " TABELA 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências
γm - NBR 8800/2008 - pág. 23")]
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName(
Name = "Combinações",
            Localizable = false,
            Index = 1)]
publicCombinacao COEFPOND { get; set; }
// …
```

Figura 41. Extrato de código arquivo do *CalculationParameter.cs*, "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND)* - *Enum Control - ComboBox*.

Na Figura 42 detalha-se como funcionam os atributos das propriedades da variável, antes apresentada, "Combinações" (*public Combinacao COEFPOND)*.

DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES E ATRIBUTOS DA VARIÁVEL:

public Combinacao COEFPOND { get; set; }



Atributos	Linha de código do atributo	Explicação do comportamento
SchemaProperty Attributes – Atributos do Propriedades do Esquema		
`[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty()]`		
FieldName	`FieldName = "COEFPOND"`	Permitirá a localização da variável pelo arquivo ServerUI.cs, para realizar mudanças imediatas na apresentação dos elementos na janela de interface de usuário dentro do Revit® Structure 2014. (Ver sub-seção 4.2.2.7.a. – ServerUI.cs).
UI attributes – Atributos de interface de usuário		

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.EnumControl()]		
Enum Attributes		
Presentation	Presentation = Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.PresentationMode.Combobox,	Indica que a variável se apresentará no UI como um ComboBox.
Item	Item = Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.PresentationItem.Text,	PresentationItem, mostra que tipo de apresentação terá o ComboBox, podendo ser: Texto, Imagem ou Texto com Imagem, neste caso particular foi selecionado só Texto.
Context	Context = "EnumComboboxCoefpond",	Permitirá a localização da variável pelo arquivo ServerUI.cs, para realizar mudanças imediatas na apresentação dos elementos na janela de interface de usuário dentro do Revit® Structure 2014. (Ver sub-seção 4.2.2.7.b. – ServerUI.cs).
Common Attributes - Atributos comuns		
Category	Category = "* PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS",	Category, mostra um conjunto de dadosaos quais serão agrupadas as variáveis. Neste caso particular será agrupado sob a Category de "* PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS".
Description	Description = "Combinações = ",	Determina o nome da variável, apresentada no UI.
IsVisible	IsVisible = true,	Determina se a variável é visualizada (true) ou não (false) no UI.
IsEnable	IsEnabled = true,	Determina se a variável pode ser usada ou modificada (true) ou não (false) no UI.
Index	Index = 1,	Determina a posição de apresentação da variável, dentro do conjunto de dados dentro da mesma Category.
Localizable	Localizable = true,	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (True), o método GetResourse do ServerUI.cs será usado, procurando a variável por meio do FieldName ou do Context.
Tooltip	Tooltip = " TABELA 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γm - NBR 8800/2008 - pág. 23"	Apresenta uma descrição ou dica sobre o campo da variável, quando o mouse é localizado na *Description*da variável, no UI. Neste caso particular, a dica anuncia que esta variável pode ser encontrada na "TABELA 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γm - NBR 8800/2008 - pág. 23".
Documentation attributes – Atributos de documentação		
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName()		
Parameters 1 Combinações: NormaisELU 2 γ_{a1}: 1.1 γ_{a2}: 1.35		
Name	Name = "Combinações",	Determina sob que nome será impressa a variável no relatório final.
Localizable	Localizable = false,	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (True), o método GetResourse do ServerUI.cs será usado, procurando a variável por meio do FieldName ou do Context.
Index	Index = 1	Determina a posição de impressão da variável no relatório final.

Figura 42. Descrição das propriedades e atributos da variável "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND) - Enum Control – ComboBox*, no arquivo *CalculationParameter.cs*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

O texto selecionado para ser apresentado no ComboBox vem do arquivo *Enum.cs* (Ver sub-seção 4.2.2.6. *Enum*) (Figura 43):

Região do Código - Enum.cs

```
// …
publicenumCombinacao
{
NormaisELU,
    EspeciaisELU,
    ExcepcionaisELU,
NormaisELS,
}
// …
```

Figura 43. Extrato de código arquivo do *Enum.cs*.

Depois de declarar a variável, é necessário inicializar a mesma assim (Figura 44):

Região do Código - CalculationParameter.cs
INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS
Variável public Combinacao COEFPOND

```
// …
public CalculationParameter()
        {
// INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS

// CATEGORY *PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS
// COMBINAÇÕES - ENUMCONTROL - COMBOBOX
            COEFPOND = Combinacao.NormaisELU;
            // …
        }
// …
```

Figura 44. Inicialização da variável "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND) - Enum Control - ComboBox.*

Esta inicialização permite que a variável tenha um valor inicial ao começar um novo projeto de verificação de código por *default*. Este será modificado a futuro pelo arquivo *ServerUI.cs,* para melhorar a apresentação e afabilidade do programa para o usuário.

A estrutura de dados *UnitTextBox*, derivada de um *TextBox* comum, indica que o campo deve ser apresentado com unidades de medida, assim (Figura 45):

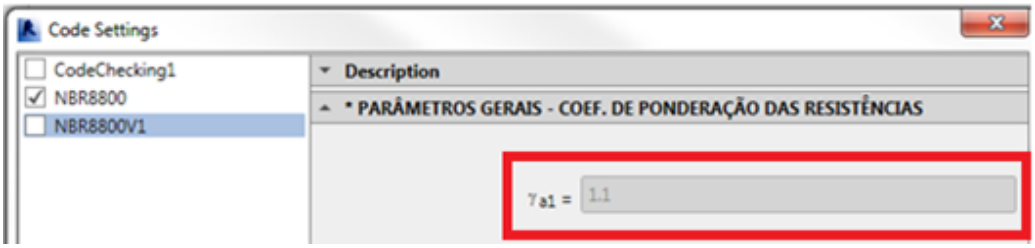


Figura 45. *UnitTextBox* - na Janela *Code Settings*.

Sendo este o código necessário para representar a opção "γ_{a1}" (public Double a1), na interface de usuário da janela *Code Settings* (Figura 46):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Região do Código - CalculationParameter.cs

Variável public Double a1

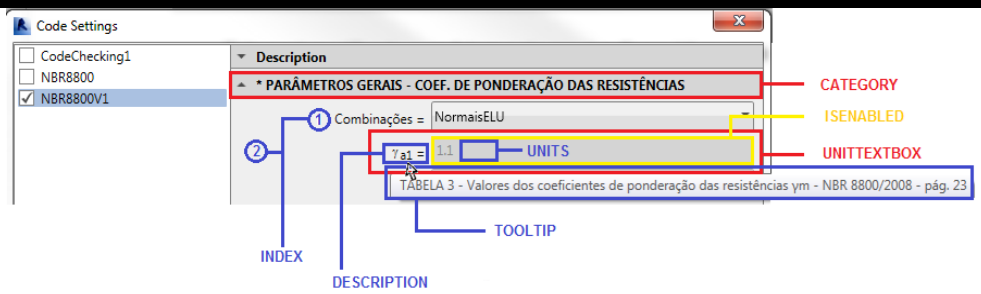
```
// …
// COEFICIENTE A1 - UNITTEXTBOX
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty(
FieldName = "a1",
            Unit = Autodesk.Revit.DB.UnitType.UT_Number,
            DisplayUnit = DisplayUnitType.DUT_GENERAL)]
[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.UnitTextBox(
            Description = "@g{a1} = ",
            ValidateMinimumValue = false,
            ValidateMaximumValue = false,
            AttributeUnit = Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL,
Category = "* PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS",
IsVisible = true,
            IsEnabled = false,
            Index = 2,
Localizable = true,
            Tooltip = " TABELA 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências
γm - NBR 8800/2008 - pág. 23")]
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName(
Name = "@g{a1}",
            Localizable = false,
            Index = 2)]
publicDouble a1 { get; set; }
// …
```

Figura 46. Extrato de código arquivo do *CalculationParameter.cs*, *"γa1" (public Double a1) – UnitTextBox.*

Na Figura 47, é detalhada como funcionam os atributos das propriedades da variável apresentada anteriormente, "γa1" *(public Double a1):*

DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES E ATRIBUTOS DA VARIÁVEL:

public Double a1 { get; set; }



Atributos	Linha de código do atributo	Explicação do comportamento
SchemaProperty Attributes – Atributos do Propriedades do Esquema		
`[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty()]`		
FieldName	`FieldName = "a1,`	Permitirá a localização da variável pelo arquivo ServerUI.cs, para realizar mudanças imediatas na apresentação dos elementos na janela de interface de usuário dentro do Revit® Structure 2014. (Ver sub-seção 4.2.2.7.a. – ServerUI.cs)
Unit	`Unit = Autodesk.Revit.DB.UnitType.UT_Number,`	Determina em que categoria de unidades será salva a variável na base de dados, isto é, unidades de comprimento, volume, etc. Neste caso particular, se determina que a categoria das unidades são "números sem unidade". (Ver sub-seção 4.3. Unidades usadas)
DisplayUnit	`DisplayUnit = DisplayUnitType.DUT_GENERAL`	Determina em que unidades será salva a variável na base de dados, isto é, no caso de unidades de comprimento: metros, centímetros, pés, etc. Neste caso particular, se determina que as unidades são "unidades gerais" ou números sem unidades. (Ver sub-

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

		seção 4.3. Unidades usadas)
UI attributes – Atributos de interface de usuário		
[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.UnitTextBox()]		
Common Attributes - Atributos comuns		
Description	Description = "@g{a1} = ",	Determina o nome da variável, apresentada no UI. Neste caso será: γ_{a1}
Category	Category = "* PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS",	Category, mostra um conjunto de dados nos quais serão agrupadas as variáveis. Neste caso particular será agrupado baixo a Category de: "* PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS".
IsVisible	IsVisible = true,	Determina se a variável é visualizada (true) ou não (false) no UI.
IsEnable	IsEnabled = false,	Determina se a variável pode ser usada ou modificada (true) ou não (false) no UI.
Index	Index = 2,	Determina a posição de apresentação da variável, dentro do conjunto de dados dentro da mesma Category.
Localizable	Localizable = true,	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (True), o método GetResourse do ServerUI.cs será usado, procurando a variável por meio do FieldName ou do Context.
Tooltip	Tooltip = " TABELA 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γm - NBR 8800/2008 - pág. 23"	Este apresenta uma descrição ou dica sobre o campo da variável, quando o mouse e localizado sobre a Description da variável, no UI. Neste caso particular a dica da variável anuncia que esta variável pode ser encontrada na " TABELA 3 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γm - NBR 8800/2008 - pág. 23"
UnitTextBox Attributes		
ValidateMinimumValue	ValidateMinimumValue = false,	Indica que esta variável não tem validação de valor mínimo.
ValidateMaximumValue	ValidateMaximumValue = false,	Indica que esta variável não tem validação de valor máximo.
AttributeUnit	AttributeUnit = Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL,	Determina em que unidades será ingressada a variável no UI, isto é, no caso de unidades de comprimento: metros, centímetros, pês, etc. Depois o programa fará uma conversão interna para assim salvar nas unidades determinadas no DisplayUnit, dos atributos do Esquema. Neste caso particular, se determina que as unidades são "unidades gerais" ou números sem unidades. (Ver sub-seção 4.3. Unidades usadas)
Documentation attributes – Atributos de documentação		
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName()]		
Parameters 1 Combinações: NormaisELU 2 γ_{a1}: 1.1 γ_{a2}: 1.35		
Name	Name = "@g{a1}",	Determina sob que nome será impressa a variável no relatório final. Neste caso será: γ_{a1}
Localizable	Localizable = false,	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (True), o método GetResourse do ServerUI.cs será usado, procurando a variável por meio do FieldName ou do Context.
Index	Index = 2	Determina a posição de impressão da variável no relatório final

Figura 47. Descrição das propriedades e atributos da variável "γ_{a1}" *(public Double a1) – UnitTextBox*, no arquivo *CalculationParameter.cs*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Os valores que serão atribuídos à variável "γ_{a1}" *(public Double a1),* dependerão da seleção do *ComboBox* da variável "Combinações" (*public Combinacao COEFPOND*), e esta mudança de valores será feita dentro do arquivo *ServerUI.cs,* ilustrado posteriormente (Ver sub-seção 4.2.2.7.a – *ServerUI.cs*).

Depois de declarar a variável, é necessário inicializar a mesma assim (Figura 48):

Região do Código - CalculationParameter.cs
INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS **Variável public Double a1.**

```
// …
public CalculationParameter()
        {
// INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS
            // …
// COEFICIENTE A1 e A2 - UNITTEXTBOX
a1 = 1.1;
a2 = 1.35;
            // …
        }
// …
```

Figura 48. Inicialização da variável "γ_{a1}" *(public Double a1)* – *UnitTextBox*.

Esta inicialização permite que a variável tenha um valor inicial ao começar um novo projeto de verificação de norma por *default*.

A variável "γa2" *(public Double a2),* será definida da mesma forma que a "γa1" *(public Double a1),* visto que as estruturas de dados são as mesmas. Assim, os valores que serão atribuídos à variável "γa2" (*public Double a2),* dependerão da seleção do *ComboBox* da variável "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND)* e esta mudança de valores será feita dentro do arquivo *ServerUI.cs,* ilustrado posteriormente (Ver sub-seção 4.2.2.7.a– *ServerUI.cs*).

Esta estrutura de dados *CategoryCheckBox* foi usada para decidir que tipo de análise se deseja fazer com o código de verificação NBR8800V1, tendo como opções: Tração, Compressão, Flexão e Combinação de esforços solicitantes. Cada uma se desempenhando como uma categoria diferente (Figura 49):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

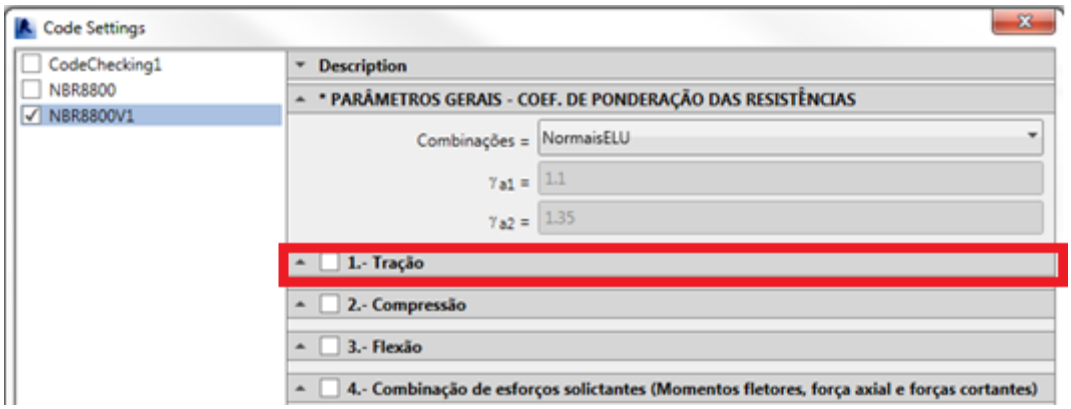


Figura 49. *CategoryCheckBox* – na Janela *Code Settings*.

Sendo o código necessário para representar a opção *"1.- Tração" (public bool Tracao),* na interface de usuário da janela Code Settings (Figura 50):

Região do Código - CalculationParameter.cs

Variável public bool Tracao

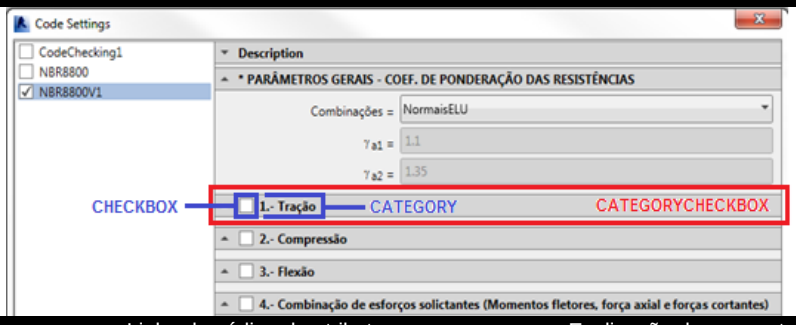
```
// …
//CATEGORY 1.- TRACAO
        #region TRACAO
//1.- TRACAO - CATEGORYCHECKBOX
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty()]
[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.CategoryCheckBox(
Category = "1.- Tração",
IsVisible = true,
            IsEnabled = true,
            Index = 4,
            Localizable = true
            )]
publicbool Tracao { get; set; }
#endregion TRACAO
// …
```

Figura 50. Extrato de código arquivo do *CalculationParameter.cs, "1.- Tração" (public bool Tracao) - CategoryCheckBox*.

Na Figura 51, detalha-se como funcionam os atributos das propriedades da variável apresentada anteriormente, *"1.- Tração" (public bool Tracao):*

DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES E ATRIBUTOS DA VARIÁVEL:

public bool Tracao { get; set; }



Atributos	Linha de código do atributo	Explicação do comportamento
SchemaProperty Attributes – Atributos do Propriedades do Esquema		
`[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty()]`		

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

UI attributes – Atributos de interface de usuário		
[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.UnitTextBox()]		
Common Attributes - Atributos comuns		
Category	Category = "1.- Tração",	Category mostra um conjunto de dados, os quais serão agrupados às variáveis. Neste caso particular, será agrupado sob a Category de: "1.- Tração".
IsVisible	IsVisible = true,	Determina se a variável é visualizada (true) ou não (false) no UI.
IsEnable	IsEnabled = true,	Determina se a variável pode ser usada ou modificada (true) ou não (false) no UI.
Index	Index = 4,	Determina a posição de apresentação da variável, dentro do conjunto de dados dentro da mesma Category.
Localizable	Localizable = true,	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (True), o método GetResourse do ServerUI.cs será usado, procurando a variável por meio do FieldName ou do Context.

Figura 51. Descrição das propriedades e atributos da variável "1.- Tração" *(public bool Tracao)* - *CategoryCheckBox*, no arquivo *CalculationParameter.cs*.

Pode-se apreciar que a variável "1.- Tração" *(public bool Tracao),* não foi definida na Propriedade do Esquema *(SchemaProperty)* nem na Propriedade de Documentação (Documentation Property), visto que é um elemento de seleção e não representa mais que um valor verdadeiro (*true*) ou falso (*false*), pelo qual não é necessário salvar atributos representativos na base de dados, e também não é necessário a impressão da variável no relatório final.

Depois de declarar a variável, é necessário inicializar a mesma assim (Figura 52):

Região do Código - CalculationParameter.cs

INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS

Variável public bool Tracao.

```
// …
public CalculationParameter()
        {
// INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS
            // …

            // CATEGORY
// 1.- TENSAO, 2.-COMPRESSAO, 3.-FLEXAO e 4.- FLEXOCOMPRESSAO
            Tracao = false;
            Compressao = false;
            Flexao = false;
            FlexoCompressao = false;
        }
// …
```

Figura 52. Inicialização da variável "1.- Tração" *(public bool Tracao)* - *CategoryCheckBox*.

Esta inicialização permite que a variável tenha um valor inicial ao começar um novo projeto de verificação de norma por *default*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

A variável “2.- Compressão” *(public bool Compressao),* “3.- Flexão” *(public bool Flexao)* e “4.- Combinação de esforços solicitantes” *(public bool FlexoCompressao)*, serão definidas da mesma forma que a variável “1.- Tração” (*public bool Tracao)*, porque as estruturas de dados são as mesmas (Figura 53).

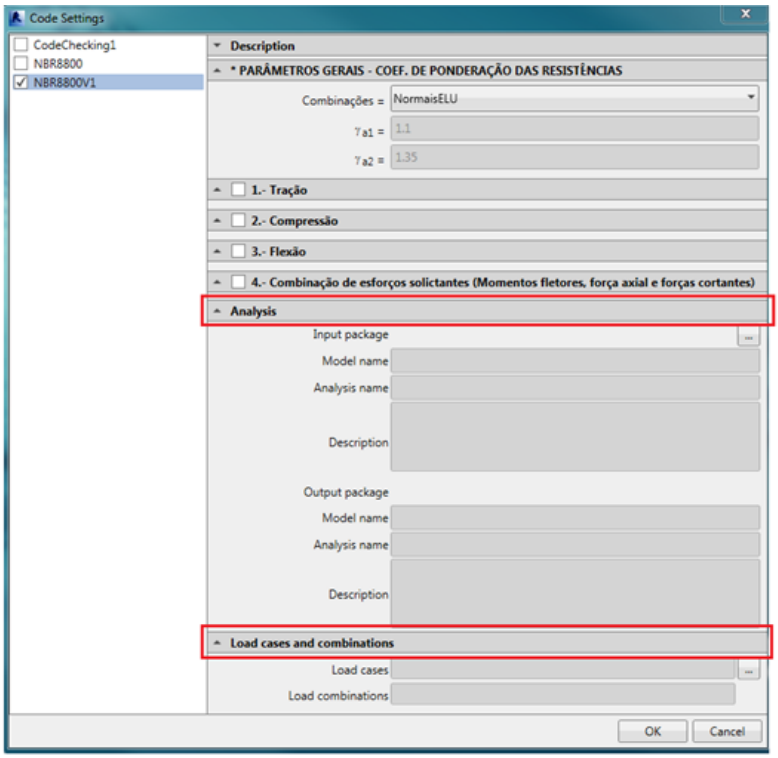


Figura 53. Interface de usuário após a implementação do código no arquivo *CalculationParameter.cs*.

Adicionalmente, vê-se que dentro da janela de *Code Settings*, podem se encontrar duas *Categorias,* além das que foram incluídas: *Analysis* e *Load Cases and combinations*. Estas não precisam de nenhum código para funcionar, visto que tanto *Analysis* como *Load Cases and combination,* já foram automaticamente incorporadas no *Code Settings* pelo *plug-in Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®* como parte da interface de usuário, porém é necessário explicar a seguir, qual é sua função.

O *plug-in Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®* gera automaticamente dentro do Ícone *Code Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014* uma categoria *Analysis,* necessária para a verificação da norma (Figura 54):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

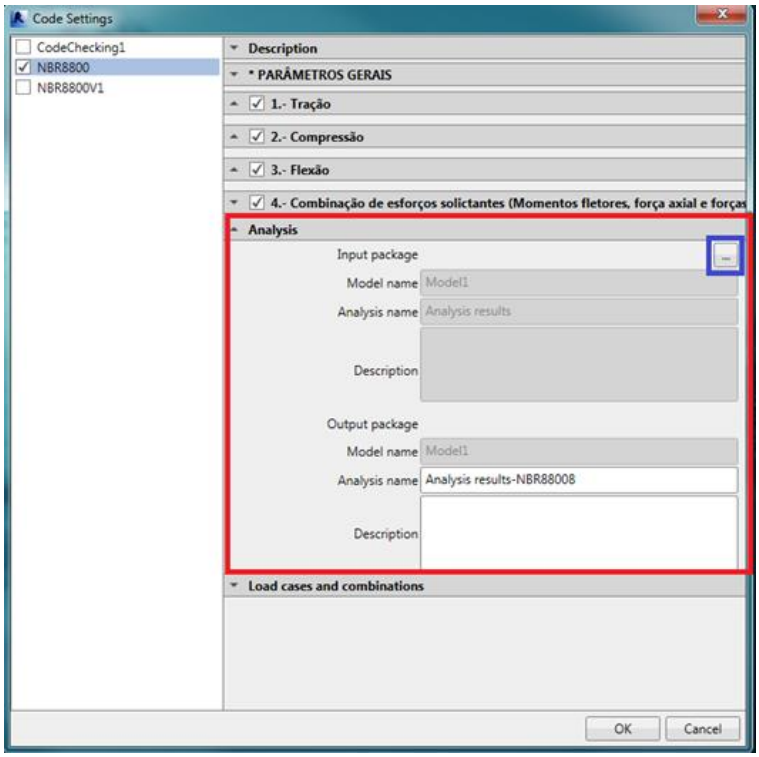


Figura 54. *Category Analysis* – na Janela *Code Settings*.

Nesta *Categoria* são escolhidas as diferentes análises realizadas pelo *Robot*™ *Structural Analysis Professional* ou pelo serviço que proporciona uma análise estrutural estática para edifícios, baseada em nuvem. Estas análises serão feitas com as combinações de carga determinadas no *Revit® Structure 2014.* As diferentes análises serão apresentadas em uma janela de diálogo, chamada *Analysis*, como se mostra na Figura 55. No Apêndice A, o seu uso é detalhado.

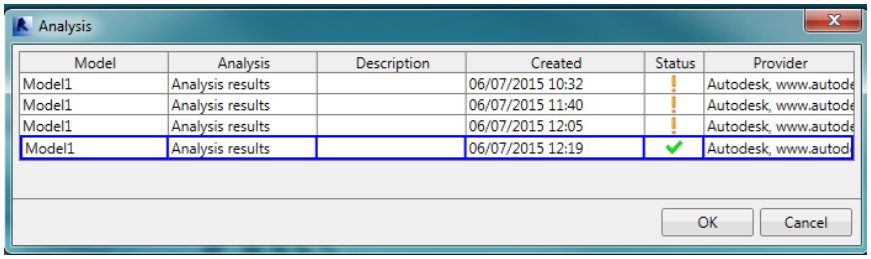


Figura 55. Exemplo de seleção da análise feita pelo *Robot* ou pelo serviço na nuvem para a verificação da norma.

Da mesma forma, o *plug-in Structural Analysis Toolkit 2014 for Autodesk® Revit®* gera automaticamente dentro do Ícone *Code Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014* uma categoria Load cases and combinations, necessária para a verificação da norma (Figura 56):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

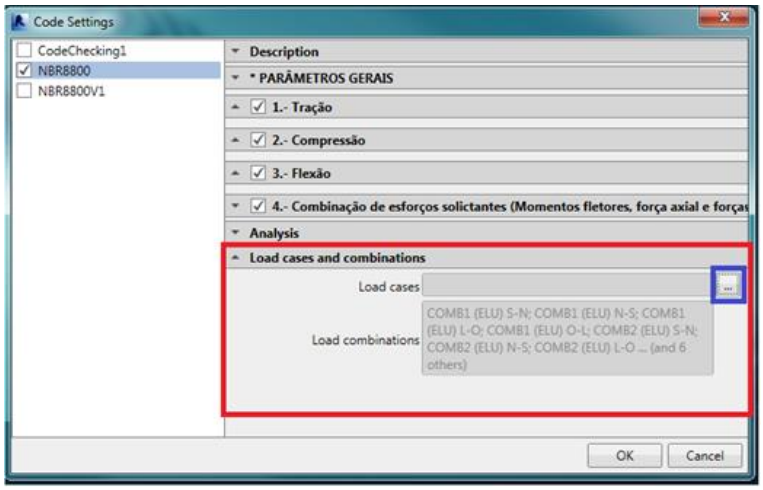


Figura 56. *Category Load cases and combinations* – na Janela *Code Settings*.

Nesta *Categoria* são escolhidas as diferentes combinações de carga determinadas no *Revit® Structure 2014 e* com as quais foram feitas as análises pelo *Robot™ Structural Analysis Professional* ou pelo serviço que proporciona uma análise estrutural estática para edifícios, baseada em nuvem. Os diferentes tipos de cargas e combinações serão apresentados em uma janela de diálogo, chamada *Load cases and combinations*, para a seleção do usuário (Figura 57):

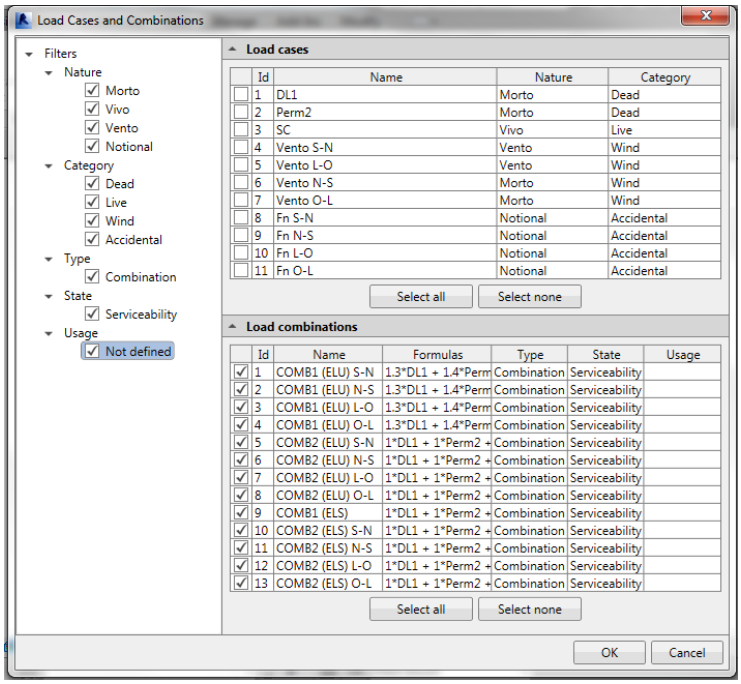


Figura 57. Exemplo de seleção de cargas e combinações disponíveis para a verificação da norma.

No Apêndice A, se detalhará minuciosamente o uso desta categoria.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

b) Label.cs

Este arquivo descreve os parâmetros de cálculo comuns para um grupo específico de elementos (*e.g.*: vigas de aço, colunas externas, etc.). Eles são atribuídos diretamente ao elemento pelo UI do *Revit® Structure* para cada código de verificação e para cada modelo, onde se tem um próprio conjunto de parâmetros específicos. Por exemplo: no caso do código de verificação NBR8800V1 são definidos independentemente para cada elemento os coeficientes de flambagem por flexão e torção por causa do comportamento próprio do elemento.

Este arquivo com um código inicial foi automaticamente gerado pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, dentro do projeto NVR8800V1 no *Visual Studio® 2010.* As modificações serão explicadas no item Codificação usada no Arquivo *Label.cs.* O arquivo *Label.cs* controla tudo o que acontece no ícone *Element Settings* da barra de ferramentas Analyze (Structural Code Checking) do Revit® Structure 2014 (Figura 58):

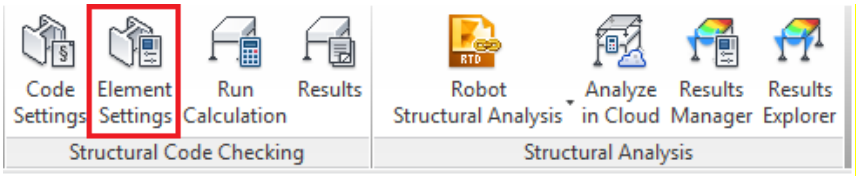


Figura 58. Ícone *Element Settings*, da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*.

Até este momento, ainda não foi desenvolvido nenhum tipo de código deste arquivo, ao entrar na janela ativada pelo ícone *Element Settings*, a interface de usuário é indicada, conforme se vê no formato da Figura 59.

A seguir, se ilustra detalhadamente, a implementação do código dentro deste arquivo. Na codificação criada para materializar a programação deste arquivo, utilizam-se variáveis somente dos tipos *double* e *bool*.

Neste arquivo têm se três tipos de estruturas de código que serão mostradas no *User Interface* do *Revit® Structure 2014, no ícone de Element Settings,* com as quais foi desenvolvida esta parte do programa, porém duas de elas (*Enum Control – ComboBox* e *UnitTextBox*) já foram explicadas na sub-seção 4.2.2.5.a *CalculationParameter.cs* e são usadas da mesma forma no *Label.cs*. Faltando somente explicar o funcionamento do *CheckBox* (Figura 60).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

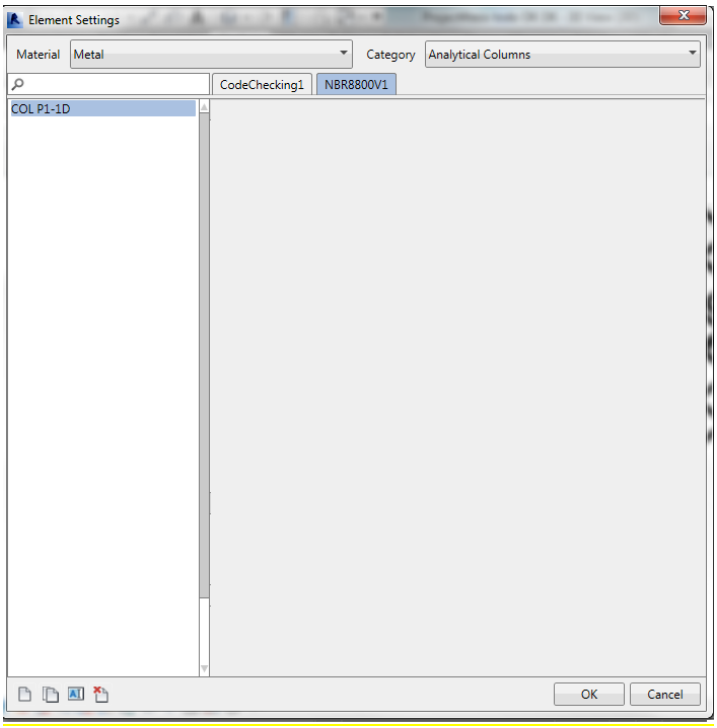


Figura 59. Janela *Element Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*.

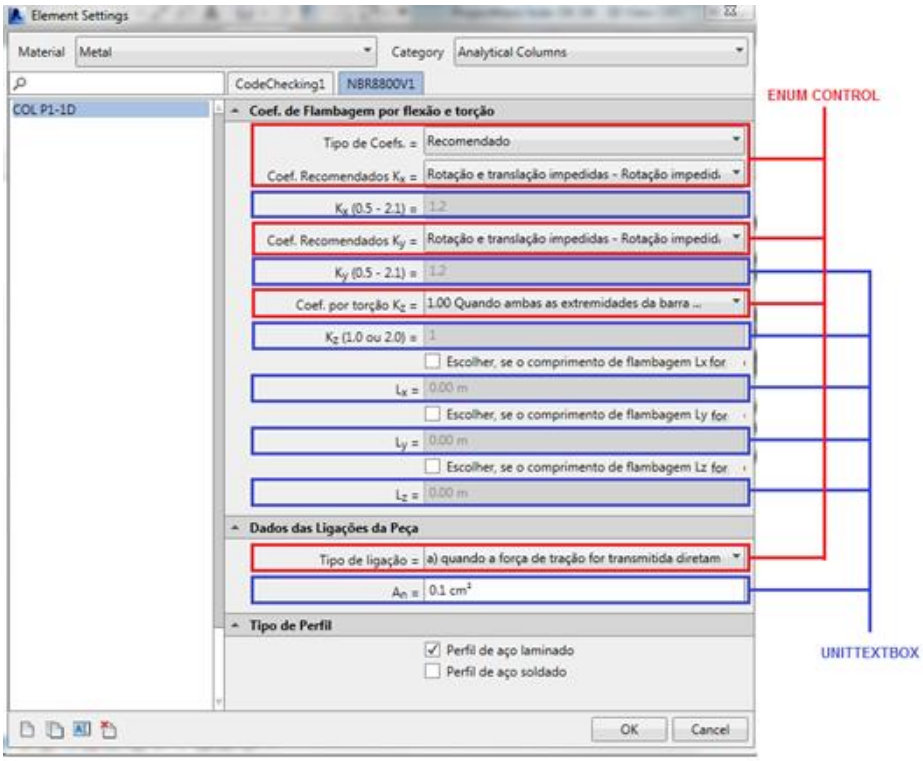


Figura 60. Uso de *Enum Control – ComboBox e UnitTextBox na Enum Control – ComboBox* na Janela *Element Settings*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

É importante mencionar que, segundo o que será demonstrado na subseção 4.2.2.7.a *ServerUI.cs*, podem existir variações na interface de usuário que são feitas para ter um programa mais amigável, como são demonstradas a seguir:

- A variável “Tipo de Coefs.” (*public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado – Emum Control*) apresenta duas opções de escolha: “Teórico” e “Recomendado” (arquivo *Enum*.cs); por meio do *ServerUI.cs* segundo a seleção, as variáveis: “Coef. Teóricos Kx” *(public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX – Emum Control*) e “Coef. Teóricos Ky” *(public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKY – Emum Control)* se alternarão com as variáveis: “Coef. Recomendados Kx” (*public EnumTeoricoOuRecomendado RecomendadosKX – Emum Control*) e “Coef. Recomendados Ky” (*public EnumTeoricoOu Recomendado Recomendados KY – Emum Control*); respectivamente na interface de usuário do *Revit® Structure 2014.*
- A variável “Coef. Teóricos Kx” (p*ublic EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX – Emum Control*) apresenta seis opções de escolha: “Op1”, “Op2”, “Op3”, “Op4”, “Op5”, e “Op6” (arquivo *Enum.cs*). O texto destas seis opções será mudado pelo *ServerUI.cs* segundo a seleção: "Rotação e translação impedidas - Rotação e translação impedidas (0.5)"; "Rotação e translação impedidas - Rotação livre, translação impedidas (0.7)"; "Rotação e translação impedidas - Rotação impedida, translação livre (1.0)"; "Rotação livre, translação impedidas - Rotação livre, translação impedidas (1.0)"; "Rotação e translação impedidas - Rotação e translação livres (2.0)"; "Rotação livre, translação impedida - Rotação impedida, translação livre (2.0)"; respectivamente na interface de usuário do Revit® Structure 2014.

  De forma idêntica estas transformações de texto acontecem nas variáveis: “Coef. Teóricos Ky” (*public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKY – Emum Control*), “Coef. Recomendados Kx” (*public EnumTeoricoOuRecomendado RecomendadosKX – Emum Control*), “Coef. Recomendados Ky” (*public EnumTeoricoOuRecomendado Recomendados KY – Emum Control*), “Coef. por torção Kz” (*public EnumKZ – Emum Control*) e "Tipo de ligação" (*public ConnectionType Connection - Emum Control*); por meio do *ServerUI.cs*, e sobre as suas variáveis correspondentes.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- A variável “Coef. Teóricos Kx” (*public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX – Emum Control*) feita já a modificação de texto, apresenta seis opções de escolha: "Rotação e translação impedidas - Rotação e translação impedidas (0.5)"; "Rotação e translação impedidas - Rotação livre, translação impedidas (0.7)"; "Rotação e translação impedidas - Rotação impedida, translação livre (1.0)"; "Rotação livre, translação impedidas - Rotação livre, translação impedidas (1.0)"; "Rotação e translação impedidas - Rotação e translação livres (2.0)"; "Rotação livre, translação impedida - Rotação impedida, translação livre (2.0)"; que por meio do *ServerUI.cs* segundo a seleção, alternarão a variável: “Kx (0.5 - 2.1)” (*public Double KX - UnitTextBox*); aos seguintes valores: KX = 0.5, KX = 0.7, KX = 1.0, KX = 1.0, KX = 2.0 e KX = 2.0; respectivamente na interface de usuário do *Revit® Structure 2014.*

  De forma idêntica estas transformações acontecem nas variáveis: “Coef. Teóricos Ky”, “Coef. Recomendados Kx”, “Coef. Recomendados Ky” e Coef. por torção Kz; por meio do *ServerUI.cs* e sobre as suas variáveis correspondentes.
- A variável “Tipo de ligação” (*public ConnectionType Connection - Emum Control*) feita já a modificação de texto, apresenta três opções de escolha: "a) quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos", "b) quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais", "c) nas barras com seções transversais abertas, quando a força de tração for transmitida somente por parafusos ou somente por soldas ..."; que por meio do *ServerUI.cs* segundo a seleção, aparecerão na interface de usuário as variáveis: “An”, “An” e “Ac” ou “An”, “ec” e “Lc”, respectivamente segundo a escolha variável do “Tipo de ligação” na interface de usuário do *Revit® Structure 2014.*

Para entender e ver estas mudanças na interface de usuário com detalhe, ir a sub-seção 4.2.2.7.a -. *ServerUI.cs*.

A estrutura de dados *CheckBox* foi empregada para decidir se um campo é ou não é usado (*e.g.:* Ly); tem uma ou outra característica (*e.g.:* Laminado ou Soldado) como se mostra no código de verificação NBR8800V1 (Figura 61).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

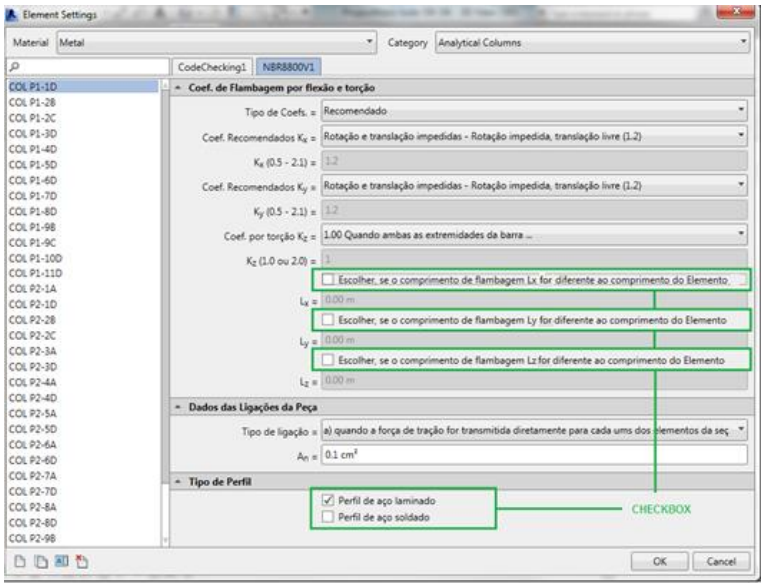


Figura 61. *CheckBox* na Janela *Element Settings*.

Sendo este o código necessário para representar a opção "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly for diferente ao comprimento do Elemento" (*public bool LyChkOnOff*), na interface de usuário da janela *Element Settings* (Figura 62):

Região do Código - Label.cs
Variável public bool LyChkOnOff

```
// …
// LY - CHECKBOX
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty(
            FieldName = "LyChkOnOff",
            Unit = Autodesk.Revit.DB.UnitType.UT_Undefined,
            DisplayUnit = DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED)]
[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.CheckBox(
Description = "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly for diferente ao comprimento do
Elemento",
            Category = "Coef. de Flambagem por flexão e torção",
IsVisible = true,
            IsEnabled = true,
            Index = 12,
Localizable = true,
            Tooltip = "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly for diferente ao
comprimento do Elemento ")]
publicbool LyChkOnOff { get; set; }
// …
```

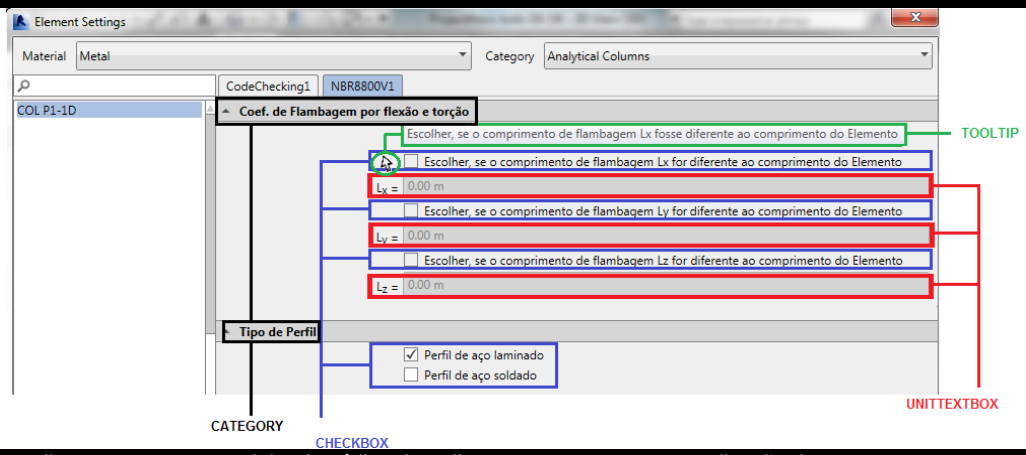
Figura 62. Extrato de código arquivo do *Label.cs*, "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly..." *(public bool LyChkOnOff), - CheckBox*.

Na Figura 63, se detalhará mais especificamente como funcionam os atributos das propriedades da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly …" (*public bool LyChkOnOff*), antes apresentada, assim:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES E ATRIBUTOS DA VARIÁVEL:

public bool LyChkOnOff { get; set; }



Atributos	Linha de código do atributo	Explicação do comportamento
SchemaProperty Attributes – Atributos do Propriedades do Esquema		
`[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty()]`		
FieldName	`FieldName = "LyChkOnOff",`	Permitirá a localização da variável pelo arquivo ServerUI.cs, para realizar mudanças imediatas na apresentação dos elementos na janela de interface de usuário dentro do Revit® Structure 2014. (Ver sub-seção 4.2.2.7.a. – *ServerUI.cs*)
Unit	`Unit = Autodesk.Revit.DB.UnitType.UT_Undefined,`	Determina em que categoria de unidades será salva a variável na base de dados, isto é, unidades de comprimento, volume, etc. Neste caso particular, se determina que a categoria das unidades são "números sem definição". (Ver sub-seção 4.3. Unidades usadas). Este atributo é necessário visto que as transformações serão feitas no *ServerUI.cs* e a estrutura de variações requer esta informação. (Ver sub-seção 4.2.2.7.a. – *ServerUI.cs*)
DisplayUnit	`DisplayUnit = DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED`	Determina em que unidades será salva a variável na base de dados, isto é, no caso de unidades de comprimento: metros, centímetros, pés, etc. Neste caso particular, se determina que as unidades são "unidades gerais" ou números sem unidades. (Ver sub-seção 4.3. Unidades usadas). Este atributo é necessário porque as transformações serão feitas no *ServerUI.cs* e a estrutura de variações requer esta informação. (Ver sub-seção 4.2.2.7.a. – *ServerUI.cs*)
UI attributes – Atributos de interface de usuário		
`[Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.UnitTextBox()]`		
Common Attributes - Atributos comuns		
Category	`Category = "Coef. de Flambagem por flexão e torção",`	Category mostra um conjunto de dados aos quais serão agrupadas as variáveis. Neste caso particular, será agrupado sob a Category de: `"Coef. de Flambagem por flexão e torção",`
IsVisible	`IsVisible = true,`	Determina se a variável é visualizada (`true`) ou não (`false`) no UI.
IsEnable	`IsEnabled = true,`	Determina se a variável pode ser usada ou modificada (`true`) ou não (`false`) no UI.
Index	`Index = 12,`	Determina a posição de apresentação da variável dentro do conjunto de dados na própria *Category*.
Localizable	`Localizable = true,`	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (`True`), o método *GetResourse* do *ServerUI.cs* será usado, procurando a variável por meio do *`FieldName`* ou do *`Context`*.
Tooltip	`Tooltip = "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly for`	Apresenta uma descrição ou dica sobre o campo da variável quando o mouse é

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

	diferente ao comprimento do Elemento ",	localizado sobre a *Description*da variável no UI. Neste caso particular, a dica dará uma explicação de seu uso: "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly for diferente ao comprimento do Elemento "

Figura 63. Descrição das propriedades e atributos da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly …" (*public bool LyChkOnOff) – CheckBox*, no arquivo *Label.cs*.

Pode-se apreciar que a variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly for diferente ao comprimento do Elemento" (*public bool LyChkOnOff),* não é definida na Propriedade de Documentação (*Documentation Property*), visto que é um elemento de seleção e não representa mais que um valor verdadeiro (*true*) ou falso (*false*), pelo qual não é necessário salvar atributos representativos na base de dados, e também não é necessário a impressão deste no relatório final.

Os valores que serão atribuídos à variável "Ly" *(public Double Ly),* dependerão da seleção do *CheckBox* da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly …" (public bool LyChkOnOff). E esta mudança de valores será feita dentro do arquivo *ServerUI.cs*, o qual será ilustrado posteriormente.

Depois de declarar a variável, é necessário inicializar a mesma assim (Figura 64):

Região do Código - Label.cs

INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS

Variável public bool LyChkOnOff

```
// …
public Label()
        {
// INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS

// …
// LX, LY, LZ - CHECKBOX
            LxChkOnOff = false;
            LyChkOnOff = false;
            LzChkOnOff = false;

// COMPRIMENTO LX, LY, LZ - UNITTEXTBOX
            Lx = 0.0000;
            Ly = 0.0000;
            Lz = 0.0000;
// …
        }
// …
```

Figura 64. Inicialização da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly …" *(public bool LyChkOnOff) - CheckBox*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Esta inicialização permite que a variável tenha um valor inicial ao começar um novo projeto de verificação da norma por *default*.

A variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Lx ..." (*LxChkOnOff*), a variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Lz ..." (*LzChkOnOff*), a variável "Perfil de aço laminado" (*public bool LaminadosChkOnOff*) e a variável “Perfil de aço soldado (*public bool SoldadosChkOnOff*), serão definidas da mesma maneira que a variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Ly …” (*public bool LyChkOnOff*), visto que as estruturas de dados são as mesmas.

Da mesma forma, os valores que serão atribuídos à variável “Lx” *e* “Lz”, dependerão da seleção do CheckBox da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Lx ..." e da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Lz ...", respectivamente. Esta mudança de valores será feita dentro do arquivo *ServerUI.cs*, que será ilustrado posteriormente (Ver sub-seção 4.2.2.7.a *ServerUI.cs*).

No caso das variáveis "Perfil de aço laminado" (*public bool LaminadosChkOnOff*) e “Perfil de aço soldado” (public bool SoldadosChkOnOff), seu funcionamento é o chamado “*Radio Button*”. Este comportamento é mutuamente excludente, isto é, se a opção do "Perfil de aço laminado" é selecionada, a outra opção “Perfil de aço soldado” será automaticamente desabilitada e vice-versa. Isto também será detalhado nesta sub-seção.

c) Results.cs

Este arquivo coleta e conserva todas as variáveis usadas no arquivo *Server.cs*, as quais são usadas para a realizar os próprios cálculos da verificação da norma, neste caso, os cálculos da Norma NBR 8800:2008.

Este arquivo com um código inicial foi automaticamente gerado pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, dentro do projeto NVR8800V1 no *Visual Studio® 2010.*

Quando o ícone *Run Calculations* é acionado, o arquivo *Server.cs* é chamado para a obter os próprios cálculos da verificação da norma e todos os dados produzidos por estes cálculos são salvos no arquivo *Results.cs*. Do mesmo jeito, quando o ícone Results é executado, o arquivo *Results.cs* é invocado. Depois do acionamento de qualquer um dos dois ícones mencionados, estes dados serão impressos em um relatório final (Figuras 65 e 66).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

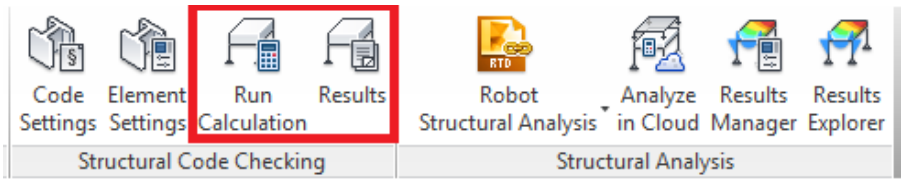


Figura 65. Ícone *Run Calculations* e ícone *Results* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014*.

Figura 66. Exemplo do relatório final apresentado pelo código de verificação da Norma NBR8800V1.

Para que os cálculos sejam apresentados pelo ícone *Run Calculations* ou pelo ícone *Results*, deve ser feito um cálculo estrutural por meio do *Robot™ Structural Analysis Professional* ou pelo serviço deque proporciona uma análise estrutural estática para edifícios, baseada em nuvem. Sem esta análise não se poderá ter acesso aos dados da categoria *Analysis* ou *Load cases and combinations*, do ícone *Code Settings,* como já foi explicado rapidamente nas sub-seçoes *Analysis,* e *Load cases and combinations;* sem o qual não poderia realizar cálculo nenhum, e, por conseguinte, não existiriam resultados.

No arquivo *Results.cs* temos um tipo de estrutura de código, com o qual foi desenvolvida esta parte do programa. As variáveis deste arquivo são principalmente, da base de dados dos cálculos desenvolvidos por todo o código de verificação da Norma. No caso das propriedades da interface de usuário, estas variáveis ao não fazem parte da interface de usuário do *Revit® Structure*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

2014, não precisam ser definidas com atributos *UI – User Interface Property*. E no caso das propriedades de Documentação, fica a critério do desenvolvedor se elas precisam ou não serem impressas no relatório final, visto que com o módulo de impressão próprio do *Server.cs*, não é necessário a impressão das variáveis tal como são.

Ao serem variáveis da base de dados, vão proporcionar a codificação dos tipos de variáveis usadas, *double* e *bool*.

No caso de uma variável do tipo *double*, o código necessário para salvar a informação da variável "fy" (*public Double fy*) na base dados do arquivo *Results.cs* é como na Figura 67:

Região do Código - Results.cs

Variável public Double fy

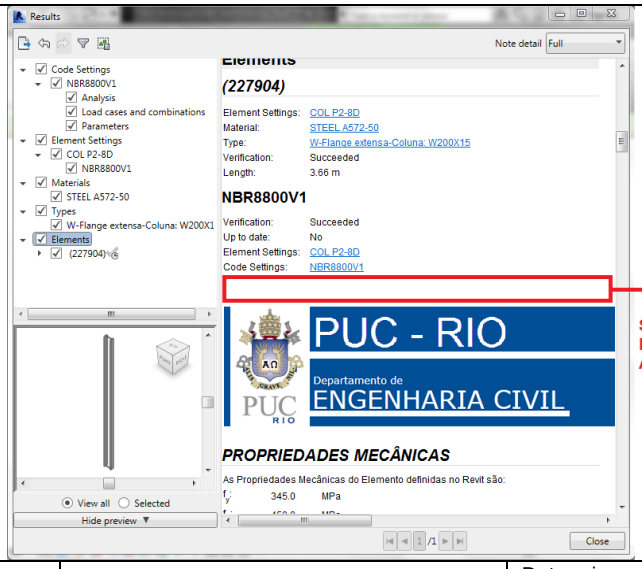
```
// …
// DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
// NOTA: AS VARIÁVEIS ESTÃO DISPOSTAS NA ORDEM DE APARECIMENTO NO CÓDIGO DO ARQUIVO
SERVER.CS

// CONTROLE RESULTS

// --- PROPRIEDADES MECÂNICAS ---
        #region PROPRIEDADES MECÂNICAS
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty(
            Unit = Autodesk.Revit.DB.UnitType.UT_Stress,
            DisplayUnit = DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER)]
//[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName(
            // Name = " fy "
            // Localizable = false,
            // Index = 1)]
publicDouble fy { get; set; }
// …
```

Figura 67. Extrato de código arquivo do *Results.cs, "fy" (public Double fy)*.

Na Figura 68 se detalha minuciosamente como funcionam os atributos das propriedades da variável, anteriormente apresentados, "fy" (*public Double fy)*:

DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES E ATRIBUTOS DA VARIÁVEL: public Double fy { get; set; }		
Atributos	Linha de código do atributo	Explicação do comportamento
SchemaProperty Attributes – Atributos do Propriedades do Esquema		
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty()]		
Unit	Unit = Autodesk.Revit.DB.UnitType.UT_Stress,	Determina em que categoria de unidades será salva a variável na base de dados, isto é, unidades de comprimento, volume, etc. Neste caso particular, se determina que a categoria das unidades é de Esforço". (Ver sub-seção 4.3. Unidades usadas)
DisplayUnit	DisplayUnit = DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER	Determina em que unidades será salva a variável na base de dados, isto é, no caso de unidades de comprimento: metros, centímetros, pés, etc. Neste caso particular, se determina que as unidades são "N/m2". (Ver sub-seção 4.3. Unidades usadas)
Documentation attributes – Atributos de documentação		
[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName()]		

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA



Name	`// Name = " fy "`	Determina sob que nome será impressa a variável no relatório final e se será necessário imprimir para controlar o desenvolvimento do código no processo de *Debug*. (Ver sub-seção 4.4. *Debug* ou Depuração do código)
Localizable	`// Localizable = false,`	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (`True`), o método *GetResourse* do *ServerUI.cs* será usado. Procurando a variável por meio do `FieldName` ou do `Context`.
Index	`// Index = 1)]`	Determina a posição de impressão da variável no relatório final.

Figura 68. Descrição das propriedades e atributos da variável *"fy (public double fy)* no arquivo*Results.cs*.

E no caso de uma variável do tipo *bool*, o código necessário para salvar a informação da variável "LxChkOnOff" (*public bool LxChkOnOff*) na base dados do arquivo *Results.cs* é (Figura 69):

Região do Código - Results.cs

Variável public bool LxChkOnOff

```
// …
// DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
// NOTA: AS VARIÁVEIS ESTÃO DISPOSTAS NA ORDEM DE APARECIMENTO NO CÓDIGO DO ARQUIVO
SERVER.CS

// CONTROLE RESULTS
// …

//  --- LX, LY, LZ  ---
#region LX, LY, LZ
        [Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty()]
//[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName(
// Name = " Escolher, se o comprimento de flambagem Lx
…",
            //Localizable = false,
            //Index = 2)]

publicbool LxChkOnOff { get; set; }
// …
// …
```

Figura 69. Extrato de código arquivo do *Results.cs*, "LxChkOnOff" *(public Double LxChkOnOff).*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Na Figura 70, se detalhará minuciosamente como funciona os atributos das propriedades da variável, anteriormente apresentados, “LxChkOnOff” (*public Double LxChkOnOff*):

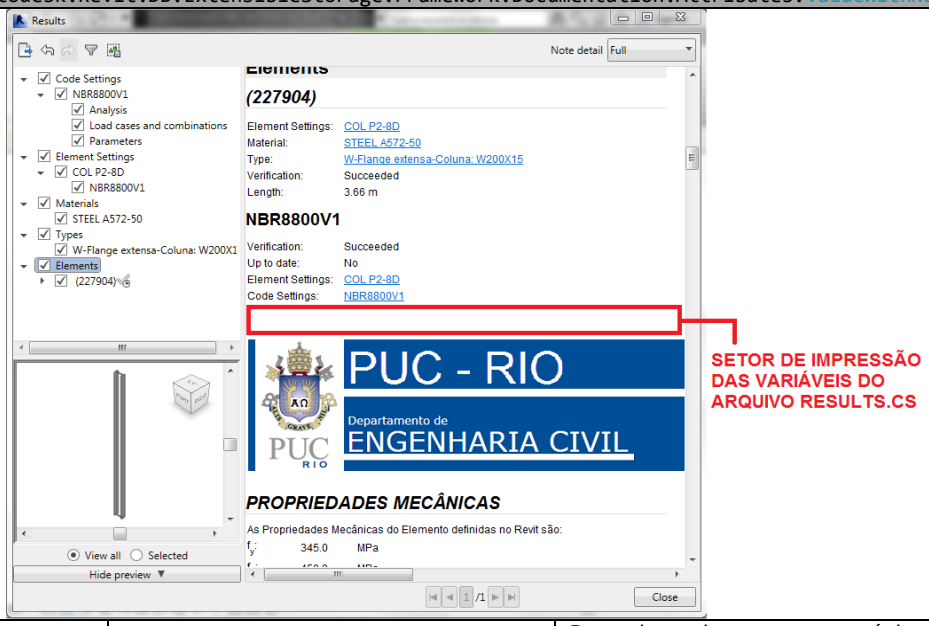
DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES E ATRIBUTOS DA VARIÁVEL: public bool LxChkOnOff { get; set; }		
Atributos	Linha de código do atributo	Explicação do comportamento
SchemaProperty Attributes – Atributos do Propriedades do Esquema		
`[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Attributes.SchemaProperty()]`		
Documentation attributes – Atributos de documentação		
`[Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Framework.Documentation.Attributes.ValueWithName()]`		
		
Name	`// Name = " Escolher, se o comprimento de flambagem Lx …",`	Determina sob que nome será impressa a variável no relatório final e se será necessário imprimir para controlar o desenvolvimento do código no processo de *Debug*. (Ver sub-seção 4.4. *Debug* ou Depuração do código)
Localizable	`//Localizable = false,`	Indica se o campo da variável é localizável e se for verdade (`True`), o método *GetResourse* do *ServerUI.cs* será usado. Procurando a variável por meio do `FieldName` ou do `Context`.
Index	`//Index = 2`	Determina a posição de impressão da variável no relatório final.

Figura 70. Descrição das propriedades e atributos da variável "Escolher, se o comprimento de flambagem Lx …” *(public bool LxChkOnOff)* no arquivo*Results.cs*.

Algumas das variáveis apresentadas no texto do arquivo Results.cs (assim como *public Double Bf2*) se encontram comentadas com os símbolos “//”; são propriedades geométricas das peças e outras variáveis que poderão ser incluídas em futuras versões do código NBR8800V1.

No Apêndice A, no Exemplo de Aplicação da Ferramenta, se indicará passo a passo a execução do programa com um exemplo de verificação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4.2.2.6. *Enum*

Este arquivo gerado pelo desenvolvedor tem uma lista de opções de cada uma das estruturas de dados do tipo *Enum Control* e foi criado da seguinte forma:

Na janela de *Solution Explorer* do *Visual Studio® 2010,* se faz um Clique no botão esquerdo do *mouse* (Add >> New Item...), assim (Figuras 71 e 72):

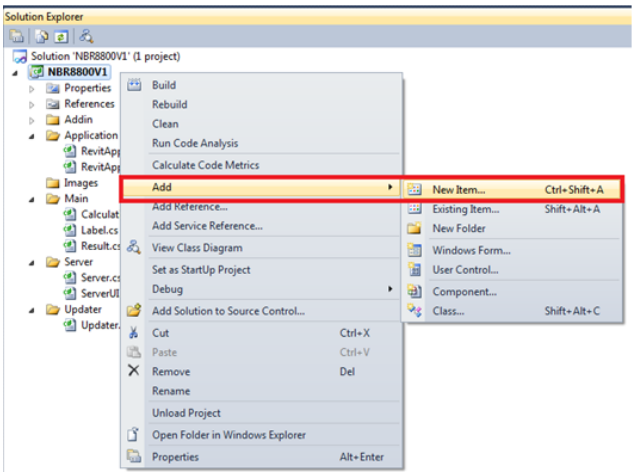


Figura 71. Criação do novo arquivo *Enum.cs*.

Figura 72. Tipo de arquivo Class *(Visual C# Ítems)*.

Escolha a opção de arquivo *Class (Visual C# Ítems),* nomeia-se a classe como *Enum.cs.* Esse arquivo com um código inicial foi automaticamente gerado pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, dentro do projeto NVR8800V1 no *Visual Studio® 2010.* Para os devidos efeitos, se excluirá o texto original e se escreverá as opções de cada uma das estruturas de dados do tipo *Enum Control* descritas na sub-seção 4.2.2.5.a sobre *Enum Control* (Figura 73):

Código – Enum.cs

```
publicenumCombinacao
{
NormaisELU,
    EspeciaisELU,
ExcepcionaisELU,
    NormaisELS,
}

publicenumConnectionType
{
AllConnected,
    Welded,
    SomeConnected,
// ChapaPlana      nas chapas planas, quando a força de tração for transmitida somente por
soldas longitudinais ao longo de ambas as suas
//                  bordas, Ver d)  - NBR 8800/2008 - 5.2.5  - pág. 40
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
// SecTubularesR   nas barras cm seções tubulares retangulares..., Ver e) - NBR 8800/2008
- 5.2.5  - pág. 40
// SecTubularesC   nas barras cm seções tubulares circulares..., Ver f) - NBR 8800/2008 -
5.2.5  - pág. 41
// Pino            Barras ligadas por pino..., Ver - NBR 8800/2008 - 5.2.6  - pág. 41
// Barrasredondas  com extremidades rosqueadas.., Ver - NBR 8800/2008 - 5.2.7  - pág. 43
}

publicenumTeoricoOuRecomendado
{
    Teórico,
    Recomendado,
}

publicenumEnumTeoricoOuRecomendado
{
    Op1,
    Op2,
    Op3,
    Op4,
    Op5,
    Op6,
}

publicenumEnumKZ
{
    Op1,
    Op2,
}
```

Figura 73. Arquivo *Enum.cs* modificado com as estruturas de dados do tipo *Enum Control*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Neste documento, é necessário enfatizar que (como pode se ver na Figura 21) os nomes de cada opção para as estruturas de dados tipo *EnumControl* só podem ser palavras sem espaços intermediários, separados por virgula (,). O ajuste do texto para a interface de usuário será feito no arquivo *ServerUI.cs,* como poderá ser visto a futuro.

As opções que se encontram comentadas com os símbolos "//" são alternativas da estrutura de dados tipo *Enum Control,* "ligação da peça" (*public enum ConnectionType*) que poderão ser incluídas em futuras versões do código NBR8800V1.

4.2.2.7. Server

Nesta pasta, encontram se os outros dois dos cinco arquivos mais importantes do código de verificação, a saber: *ServerUI.cs* e *Server.cs.* Um aplicativo de verificação da norma é baseado nestes dois arquivos. Esta pasta é o espaço reservado (*placeholder*) para o código fonte de *ServerUI.cs* e *Server.cs*, a fim de interagir com os usuários no UI do*Revit® Structure 2014* com o código de verificação da Norma NBR8800V1.

a) ServerUI.cs

Neste arquivo *ServerUI.cs*, especificam se estruturas de código quando os atributos das propriedades das variáveis especificadas na sub-seção 4.2.2.5.a *CalculationParameter.cs* (*Code Settings* no *UI*) e na 4.2.2.5.b. *Label.cs* (*Element Settings* no *UI*) mudam. Para tanto, é necessário criar um código que permite interagir com o diálogo na interface de usuário. Com a finalidade de poder realizar estas mudanças, o atributo *Localizable* deve estar ativado (*Localizable* = *true*), e assim, usar o método *GetResource* de *ServerUI.cs*.

Este arquivo com um código inicial foi automaticamente gerado pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, dentro do projeto NVR8800V1 no *Visual Studio® 2010.* Este arquivo foi modificado de acordo a codificação usada no Arquivo *ServerUI.cs.*

O arquivo *ServerUI.cs* é executado quando o *Revit® Structure 2014* é inicializado, realizando todas as mudanças necessárias no início do programa.

No arquivo *ServerUI.cs* existem quatro tipos de estruturas de código que modificarão o comportamento das variáveis que serão mostradas no user interface do *Revit® Structure 2014,* nos ícones *Code Settings* e *Element Settings.* Os detalhes são expostos a seguir:

O controle inicial do *ServerUI.cs* é executado quando o *Revit® Structure 2014* é inicializado, realizando todos os ajustes necessários ao programa.

Esta estrutura de mudança determina a disposição inicial de valores com diferentes escolhas de seleção ou apresentação; principalmente modifica os atributos das propriedades de *UI (User Interface) das variáveis*, *IsVisible (é visível)* e *IsEnabled (está ativado),* quando um projeto novo será iniciado.

Para explicar este caso, é apresentado como exemplo a variável “Tipo de Coefs.” (*public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado – Emum Control*) apresenta duas opções de escolha: “Teórico” e “Recomendado” (Figura 74):

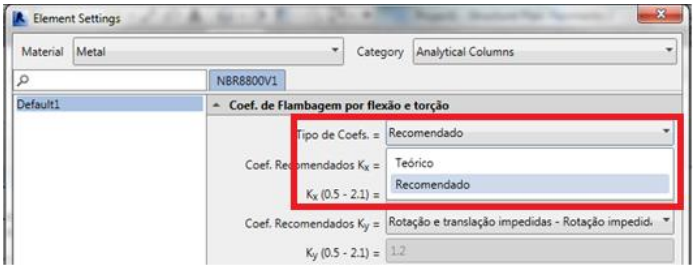


Figura 74. Opções de escolha da variável “Tipo de Coefs.”: “Teórico” e “Recomendado”.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Esta variável foi inicializada no arquivo *Label.cs*, assim (Figura 75):

Região do Código - Label.cs

INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS

Variável public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado

```
// …
public Label()
        {
// INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANTES DECLARADAS
// CATEGORY *PARÂMETROS GERAIS - COEF. DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS
// COMBINAÇÕES - COMBOBOX
// CATEGORY - COEF. DE FLAMBAGEM POR FLEXÃO E TORÇÃO
// TIPO DE COEFS. - ENUMCONTROL - COMBOBOX
TeoricoOuRecomendado = TeoricoOuRecomendado.Recomendado;// ISTO SIGNIFICA QUE RECOMENDADO
É VISIVEL POR DEFAULT
            // …
        }
// …
```

Figura 75. Inicialização da variável "Tipo de Coefs. = " - *EnumControl – ComboBox.*

O ServerUI.cs verifica a inicialização da variável no arquivo Label.cs e faz a colocação das variáveis que dependem da seleção indicada no código de Controle Inicial do UI – User Interface, como é mostrado na Figura 76:

Região do Código - ServerUI.cs

Controle inicial do UI – User Interface
Variável public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage;
using Autodesk.Revit.DB;

// ADIÇÃO DE BIBLIOTECAS NECESSÁRIAS
using Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage;
using Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework;
using Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes;
using Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Storage;
using Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Attributes;

namespace NBR8800V1
{
[Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Attributes.CalculationParamsStructure(typeof(CalculationPa
rameter))]
[Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Attributes.LabelStructure(typeof(Label),
BuiltInCategory.OST_ColumnAnalytical, StructuralAssetClass.Metal)]
[Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Attributes.LabelStructure(typeof(Label),
BuiltInCategory.OST_BeamAnalytical, StructuralAssetClass.Metal)]
publicclassServerUI : Autodesk.Revit.UI.CodeChecking.MultiStructureServer
{
        #region ICodeCheckingServerUI Members

//  ADICIONE CÓDIGO
// --- DISPOSIÇÃO INICIAL DO UI ---
#region DISPOSIÇÃO INICIAL DO UI
publicoverridevoid LayoutInitialized(object sender, LayoutInitializedEventArgs e)
        {
base.LayoutInitialized(sender, e);
if ((e.Entity asEntity).Schema.SchemaName == "Label")
{
// --- LAYOUTINITIALIZED UI - TIPO DE COEFS. - ENUMCONTROL - COMBOBOX ---
// -> CONTROLA A DISPOSIÇÃO INICIA DO UI DE COEF. TEÓRICOS KX - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// COEF. RECOMENDADOS KX - ENUMCONTROL - COMBOBOX
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
// COEF. TEÓRICOS KY - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// COEF. RECOMENDADOS KY - ENUMCONTROL - COMBOBOX
                #region LAYOUTINITIALIZED UI - TIPO DE COEFS. - ENUMCONTROL - COMBOBOX
var b = e.Editor.GetValue("TeoricoOuRecomendado", DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
switch ((int)b)
                {
//case TeoricoOuRecomendado.Teorico:
case 0:
                        e.Editor.SetAttribute("TeoricosKX", "IsVisible", true,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                        e.Editor.SetAttribute("RecomendadosKX", "IsVisible", false,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                        e.Editor.SetAttribute("TeoricosKY", "IsVisible", true,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                        e.Editor.SetAttribute("RecomendadosKY", "IsVisible", false,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
break;

//case TeoricoOuRecomendado.Recomendado:
case 1:
                        e.Editor.SetAttribute("TeoricosKX", "IsVisible", false,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                        e.Editor.SetAttribute("RecomendadosKX", "IsVisible", true,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                        e.Editor.SetAttribute("TeoricosKY", "IsVisible", false,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                        e.Editor.SetAttribute("RecomendadosKY", "IsVisible", true,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
break;

default:
break;
                }
                #endregion LAYOUTINITIALIZED UI - TIPO DE COEFS. - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// …
        }
// …
```

Figura 76. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle Inicial do UI – User Interface na variável "Tipo de Coefs." *(public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado)*, com a modificação das variáveis que dependem dela.

Segundo a seleção feita na inicialização da variável "Tipo de Coefs." (*public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado*) igual ao Recomendado (2ª opção para o *EnumControl*) no arquivo *Label.cs,* é feita a colocação dos atributos das variáveis que dependem da seleção indicada, como é: "Coef. Teóricos Kx" *(public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX – Emum Control*)e "Coef. Teóricos Ky" *(public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKY – Emum Control)* com atributo *IsVisible = False*, e é "Coef. Recomendados Kx" *(public EnumTeoricoOuRecomendado RecomendadosKX – Emum Control*) e "Coef. Recomendados Ky" *(public EnumTeoricoOu Recomendado RecomendadosKY – Emum Control)* com atributo *IsVisible = True;* mostrado respectivamente na interface de usuário do *Revit® Structure 2014,* assim (Figura 77):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

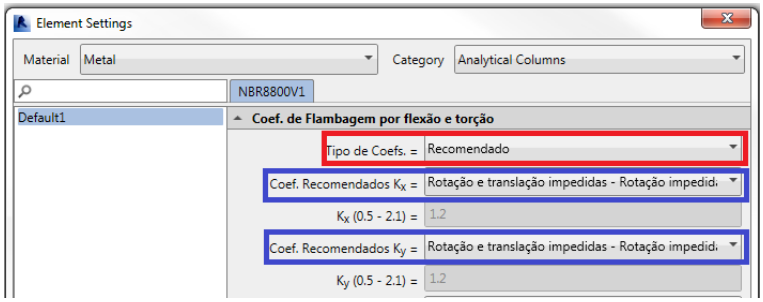


Figura 77. Resultado do Controle Inicial do UI – *User Interface* na variável "Tipo de Coefs." (*public TeoricoOuRecomendadoTeoricoOu Recomendado – Emum Control*).

Deve-se mencionar que o atributo *IsVisible* no Controle Inicial do *UI – User Interface* poderá ser substituído por *IsEnable*, a fim de realizar outros efeitos com a mesma estrutura.

O controle de mudanças de texto do *ServerUI.cs* é executado quando o *Revit® Structure 2014* é inicializado, realizando assim, todos os ajustes de texto para a correta apresentação da interface de usuário do código de verificação.

Este comando determina todas as opções fornecidas para as estruturas de dados do tipo *EnumControl* no arquivo *Enum.cs,* e como já foi expresso, são nomes que só podem ser palavras sem espaços intermediários, separados por virgulas (,), através do qual este controle fará uma mudança no *UI* para integrar o texto de acordo com a conveniência do desenvolvedor.

Para explicar isto, tomamos como exemplo a variável "Coefs. Teóricos Kx " (*public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control*) a qual apresenta seis opções de escolha: "Op1", "Op2", "Op3", "Op4", "Op5" e "Op6", como se pode ver no arquivo *Enum.cs* (Figura 78)*:*

Região do Código - Emun.cs
public enum EnumTeoricoOuRecomendado

```
// …
publicenumEnumTeoricoOuRecomendado
{
    Op1,
    Op2,
    Op3,
    Op4,
    Op5,
    Op6,
}
// …
```

Figura 78. Extrato de código arquivo do *Enum.cs*, opções da variável "Coefs. Teóricos Kx " *(public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control)*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Assim, a variável “Coefs. Teóricos Kx ” se apresenta desta forma na interface de usuário do *Revit® Structure 2014* (Figura 79):

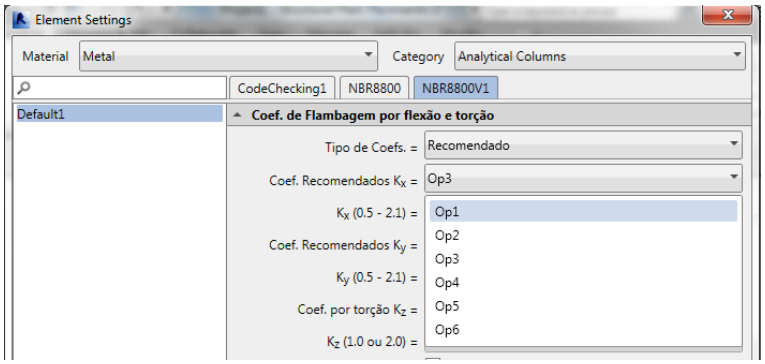


Figura 79. Apresentação da variável “Coefs. Teóricos Kx ” na interface de usuário do *Revit® Structure 2014*.

O arquivo *ServerUI.cs* verifica as opções entregues pela variável “Coefs. Teóricos Kx ” (*public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX–Emum Control*), por meio do seguinte código (Figura 80):

Região do Código - ServerUI.cs

Controle de Mudanças de texto no UI
Variável public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control

```
// …
// --- CONTROLE DE MUDANÇAS DE TEXTO ---
        #region CONTROLE DE MUDANÇAS DE TEXTO
publicoverridestring GetResource(string key, string context)
        {
string txt = NBR8800V1.Properties.Resources.ResourceManager.GetString(key);

if (context != null)
            {
switch (context)
                {
default:
break;

// …

// --- LABEL.CS ---
                    #region LABEL.CS
case"Teoricos":
                        {
switch (key)
                            {
case"Op1":
{
return"Rotação e translação impedidas - Rotação e translação impedidas (0.5)";
                                    }
case"Op2":
                                    {
return"Rotação e translação impedidas - Rotação livre, translação impedidas (0.7)";
                                    }
case"Op3":
                                    {
return"Rotação e translação impedidas - Rotação impedida, translação livre (1.0)";
                                    }
case"Op4":
                                    {
return"Rotação livre, translação impedidas - Rotação livre, translação impedidas (1.0)";
                                    }
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
case"Op5":
                                        {
return"Rotação e translação impedidas - Rotação e translação livres (2.0)";
                                        }
case"Op6":
                                        {
return"Rotação livre, translação impedida - Rotação impedida, translação livre (2.0)";
                                        }
                                }
break;
                        }
// …
```

Figura 80. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle de mudanças de texto no *UI* – na variável "Coefs. Teóricos Kx " *(Variável public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control)*.

Segundo a mudança feita pelo código de Controle de Mudanças de texto, na variável "Coefs. Teóricos Kx" (*public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control*),as opções de escolha: "Op1", "Op2", "Op3", "Op4", "Op5" e "Op6", serão modificadas pelos textos: "Rotação e translação impedidas - Rotação e translação impedidas (0.5)", "Rotação e translação impedidas - Rotação livre, translação impedidas (0.7)"; "Rotação e translação impedidas - Rotação impedida, translação livre (1.0)", "Rotação livre, translação impedidas - Rotação livre, translação impedidas (1.0)", "Rotação e translação impedidas - Rotação e translação livres (2.0)", "Rotação livre, translação impedida - Rotação impedida, translação livre (2.0)"; mostrado respectivamente na interface de usuário do *Revit® Structure 2014,* assim (Figura 81):

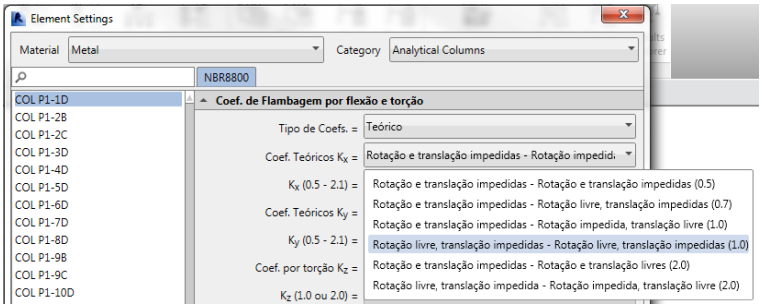


Figura 81. Resultado do Controle inicial do *UI* – Controle de mudanças de texto no *UI* – na variável "Coefs. Teóricos Kx " *(Variável public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKX– Emum Control)*.

O arquivo geral de mudanças de UI (*User interface*) em tempo real *ServerUI.cs* é executado quando o *Revit® Structure 2014* é inicializado, realizando assim todas as mudanças necessárias durante a operação do programa.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Esta estrutura de modificações identifica qualquer mudança com a seguinte codificação (Figuras 82 e 83):

Região do Código - Server.cs

Controle Geral de Mudanças de UI – User Interface

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage;
using Autodesk.Revit.DB;

// ADIÇÃO DE BIBLIOTECAS NECESSÁRIAS
using Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage;
using Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework;
using Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.Attributes;
using Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Storage;
using Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Attributes;

namespace NBR8800V1
{
[Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Attributes.CalculationParamsStructure(typeof(CalculationPa
rameter))]
    [Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Attributes.LabelStructure(typeof(Label),
BuiltInCategory.OST_ColumnAnalytical, StructuralAssetClass.Metal)]
    [Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Attributes.LabelStructure(typeof(Label),
BuiltInCategory.OST_BeamAnalytical, StructuralAssetClass.Metal)]
publicclassServerUI : Autodesk.Revit.UI.CodeChecking.MultiStructureServer
{
        #region ICodeCheckingServerUI Members
//  ADICIONE CÓDIGO

// …

// --- CONTROLE GERAL DE MUDANÇAS DE UI - USER INTERFACE ---
        #region CONTROLE GERAL DE MUDANÇAS DE UI
publicoverridevoid ValueChanged(object sender, ValueChangedEventArgs e)
{
base.ValueChanged(sender, e);
switch ((e as
Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.ValueChangedEventArgs).FieldName)
            {
// trigger dedicated events
case"COEFPOND":
onCoefficientPonderationChange(e);
break;
case"TeoricoOuRecomendado":
onTeoricoOuRecomendadoChange(e);
break;
// …
case"LaminadosChkOnOff":
onLaminadosChkOnOffChange(e);
break;
case"SoldadosChkOnOff":
onSoldadosChkOnOffChange(e);
break;
default:
break;
            }
        }
// …
```

Figura 82. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle Geral de Mudanças do *UI* – User Interface, exemplo das mudanças *onCoefficientPonderationChange(e); onTeoricoOuRecomendadoChange(e); onLaminadosChkOnOffChange(e)* e *onSoldadosChkOnOffChange(e)*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

O código Controle de concessão de valores em tempo real é o Código *ServerUI.cs (Figura 83).*

Região do Código - Server.cs
Código de chamado ao controle de concessão de valores em tempo real

```
// …
// trigger dedicated events
case"COEFPOND":
onCoefficientPonderationChange(e);
break;
// …
```

Figura 83. Código *ServerUI.cs*

O primeiro exemplo de Controle Geral de Mudanças de *UI - User Interface* em tempo real, é o *onCoefficientPonderationChange(e),* que controla os valores atribuídos às variáveis "γ_{a1}" (*public Double a1*) e "γ_{a1}" (*public Double a2*), pela escolha feita na variável "Combinações "(*public Combinacao COEFPOND*) com opções: NormaisELU, EspeciaisELU, ExcepcionaisELU e NormaisELS (Figura 84):

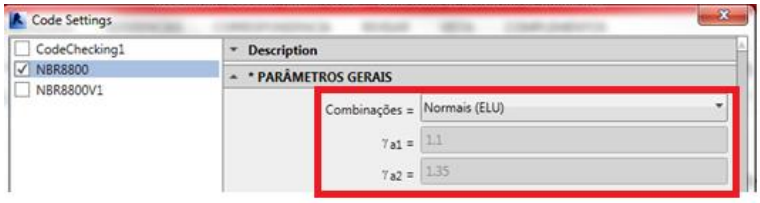


Figura 84. Opções de escolha da variável "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND)* que controla os valores atribuídos às variáveis "γa1" *(public Double a1)* e "γa1" *(public Double a2).*

O código de controle de concessão de valores em tempo real é apresentado a seguir (Figura 85):

Região do Código - ServerUI.cs
Controle de concessão de valores em tempo real **Variável public Combinacao COEFPOND**

```
// …
// --- CONTROLE DE VALOR ACIONADO PELO COMBOBOX - CALCULATIONPARAMETER.CS ---
// --- COMBINAÇÕES - ENUMCONTROL - COMBOBOX ---
        #region COMBINAÇÕES - ENUMCONTROL - COMBOBOX
privatevoid
onCoefficientPonderationChange(Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.SchemaEditorE
ventArgs e)
        {
double a1 = 0;
double a2 = 0;
var a = e.Editor.GetValue("COEFPOND", DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
switch ((int)a)
            {
//case Combinacao.NormaisELU:
case 0:
                    a1 = 1.1;
                    a2 = 1.35;
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
break;
//case Combinacao.EspeciaisELU:
case 1:
                    a1 = 1.1;
                    a2 = 1.35;
break;
//case Combinacao.ExcepcionaisELU:
case 2:
                    a1 = 1;
                    a2 = 1.15;
break;
//case Combinacao.NormaisELS
case 3:
                    a1 = 1.00;
                    a2 = 1.00;
break;
default:
break;
            }
            e.Editor.SetValue("a1", a1, DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
            e.Editor.SetValue("a2", a2, DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
}
        #endregion COMBINAÇÕES - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// …
```

Figura 85. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle de concessão de valores em tempo real na variável "Combinações" *(public Combinacao COEFPOND)* com a modificação das variáveis dependem dela.

Por meio do código do Controle de concessão de valores em tempo real, o programa verifica a dependência das variáveis "γ_{a1}" (*public Double a1*) e "γ_{a2}" (*public Double a2*), da variável "Combinações" (*public Combinacao COEFPOND*) e realiza a entrega de valores para as mesmas, conforme indicado abaixo:

Se for selecionada a primeira opção NormaisELU, os valores atribuídos serão: a1 = 1.1 e a2 = 1.35. Se for selecionada a segunda opção EspeciaisELU, os valores atribuídos serão: a1 = 1.1 e a2 = 1.35.Se for selecionada a terceira opção ExcepcionaisELU, os valores atribuídos serão: a1 = 1 e a2 = 1.15. Se for selecionada a quarta opção NormaisELS, os valores atribuídos serão: a1 = 1.00 e a2 = 1.00 (Figura 86):

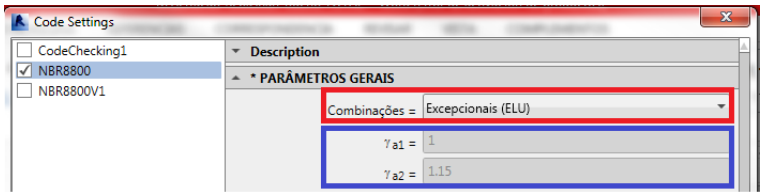


Figura 86. Resultado controle de concessão de valores em tempo real na variável "Combinações "*(public Combinacao COEFPOND)*.

É imprescindível mencionar que estes valores podem se modificar em qualquer momento dentro da operação do código de verificação NBR8800V1.

O Controle de concessão de atributos em tempo real é ilustrado na Figura 87.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Região do Código - Server.cs
Código de chamado ao controle de concessão de atributos em tempo real

```
// …
case"TeoricoOuRecomendado":
onTeoricoOuRecomendadoChange(e);
break;
// …
```

Figura 87. Código de chamado ao controle de concessão de atributos em tempo real.

O segundo exemplo de Controle Geral de Mudanças de *UI - User Interface* em tempo real, é o onTeoricoOuRecomendadoChange(e); que controla os atributos conferidos às variáveis “Coef. Recomendados Kx”, “Coef. Teóricos Kx”, “Coef. Recomendados Ky” e “Coef. Teóricos Ky”; pela variável “Tipo de Coefs.” que apresenta duas opções de escolha: “Teórico” e “Recomendado”, este é o mesmo exemplo usado pelo controle inicial do *UI – User Interface*, mas agora o controle será quando as mudanças ocorrerem, assim que o programa estiver em execução.

O arquivo *ServerUI.cs* revisa qual dos valores se encontra selecionado pela variável “Tipo de Coefs.”, e caso haja uma mudança pelo usuário durante a execução do programa, o controle de concessão de atributos em tempo real realizará a modificação dos atributos, com o código que se mostra a seguir (Figura 88):

Região do Código - ServerUI.cs
Controle de concessão de atributos em tempo real **Variável public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado – Emum Control**

```
// …
// --- CONTROLE DE VALOR ACIONADO PELO COMBOBOX - LABEL.CS ---
// --- TIPO DE COEFS. - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// -> CONTROLA OAPARECIMENTO DE COEF. TEÓRICOS KX - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// COEF. RECOMENDADOS KX - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// COEF. TEÓRICOS KY - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// COEF. RECOMENDADOS KY - ENUMCONTROL - COMBOBOX
        #region TIPO DE COEFS. - ENUMCONTROL - COMBOBOX
privatevoid
onTeoricoOuRecomendadoChange(Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.SchemaEditorEve
ntArgs e)
{
var a = e.Editor.GetValue("TeoricoOuRecomendado", DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
switch ((int)a)
            {
//case TeoricoOuRecomendado.Teorico:
case 0:             e.Editor.SetAttribute("TeoricosKX", "IsVisible", true,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
e.Editor.SetAttribute("RecomendadosKX", "IsVisible", false,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                    e.Editor.SetAttribute("TeoricosKY", "IsVisible", true,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                    e.Editor.SetAttribute("RecomendadosKY", "IsVisible", false,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
break;
//case TeoricoOuRecomendado.Recomendado:
case 1:             e.Editor.SetAttribute("TeoricosKX", "IsVisible", false,
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                    e.Editor.SetAttribute("RecomendadosKX", "IsVisible", true,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                    e.Editor.SetAttribute("TeoricosKY", "IsVisible", false,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
                    e.Editor.SetAttribute("RecomendadosKY", "IsVisible", true,
Autodesk.Revit.DB.DisplayUnitType.DUT_GENERAL);
break; default: break;}
        }
        #endregion TIPO DE COEFS. - ENUMCONTROL - COMBOBOX
// …
```

Figura 88. Extrato de código arquivo do *ServerUI.cs*, Controle de concessão de atributos em tempo real na variável "Tipo de Coefs.*"* com a modificação das variáveis que dependem dela.

Segundo a seleção feita na inicialização da variável "Tipo de Coefs." (*public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado*) "Teórico" e "Recomendado, é feita a colocação dos atributos nas varáveis que dependem da seleção indicada, como é: "Coef. Teóricos Kx" *(public EnumTeorico OuRecomendado TeoricosKX – Emum Control*) e "Coef. Teóricos Ky" *(public EnumTeoricoOuRecomendado TeoricosKY – Emum Control)* com atributo *IsVisible = True*, e é "Coef. Recomendados Kx" *(public EnumTeorico OuRecomendado RecomendadosKX – Emum Control*) e "Coef. Recomendados Ky" *(public EnumTeoricoOuRecomendado RecomendadosKY – Emum Control)* com atributo *IsVisible = False;* mostrado respectivamente na interface de usuário do *Revit® Structure 2014,* assim (Figura 89):

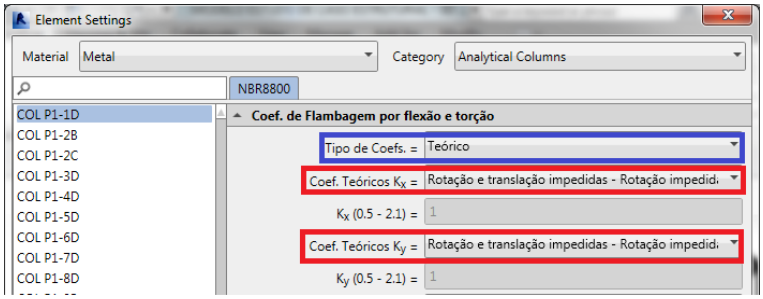


Figura 89. Resultado do Controle de concessão de atributos em tempo real, na variável "Tipo de Coefs." (*public TeoricoOuRecomendado TeoricoOuRecomendado – Emum Control*).

Deve-se mencionar que o atributo *IsVisible* no controle inicial do *UI – User Interface* poderá ser substituído por *IsEnable* para realizar outros efeitos com a mesma estrutura.

Código de chamado ao controle de *RadioButton* como mostrado na Figura 90.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Região do Código - Server.cs
Código de chamado ao Controle de RadioButton

```
// …
case"LaminadosChkOnOff":
onLaminadosChkOnOffChange(e);
break;
case"SoldadosChkOnOff":
onSoldadosChkOnOffChange(e);
break;
// …
```

Figura 90. Código de chamado ao controle de *RadioButton*.

O terceiro exemplo de Controle Geral de Mudanças de *UI - User Interface* em tempo real, são o *onLaminadosChkOnOffChange*(e) e *onSoldadosChkOnOff Change*(e), que controlam os atributos das variáveis "Perfil de aço laminado" (*public bool LaminadosChkOnOff*) e "Perfil de aço soldado" (Figura 91): (*public bool SoldadosChkOnOff*) mutuamente, se comportando como RadioButton. Ou seja, existem dois *CheckBoxes*, um pode estar ativado e o outro desativado; e quando o usuário pressiona um botão do *mouse* sobre o *CheckBox* desativado, automaticamente o outro botão selecionado é desativado também.

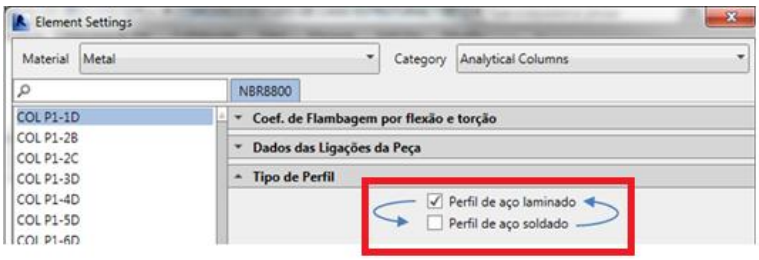


Figura 91. Resultado do Controle de *RadioButton* nas variáveis "Perfil de aço laminado" (*public bool LaminadosChkOnOff*) e "Perfil de aço soldado" (*public bool SoldadosChkOnOff*).

Este comportamento é dado com o seguinte código (Figura 92):

Região do Código - ServerUI.cs
Código de chamado ao Controle de RadioButton **Variáveis public bool LaminadosChkOnOff e public bool SoldadosChkOnOff**

```
// …
#region PERFIL DE AÇO LAMINADO - CHECKBOX
privatevoid
onLaminadosChkOnOffChange(Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.SchemaEditorEventA
rgs e)
        {
bool f = Convert.ToBoolean(e.Editor.GetValue("LaminadosChkOnOff",
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED));
if (f == true)
            {
                e.Editor.SetValue("LaminadosChkOnOff", true,
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED);
                e.Editor.SetValue("SoldadosChkOnOff", false,
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED);

            }
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
else
            {
                e.Editor.SetValue("LaminadosChkOnOff", false,
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED);
                e.Editor.SetValue("SoldadosChkOnOff", true,
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED);
}
        }
        #endregion PERFIL DE AÇO LAMINADO - CHECKBOX

// --- PERFIL DE AÇO SOLDADO - CHECKBOX ---
// -> CONTROLA OAPARECIMENTO DE VALORES SELECIONADOS NO PERFIL DE AÇO LAMINADO - CHECKBOX
//PERFIL DE AÇO SOLDADO - CHECKBOX
        #region PERFIL DE AÇO SOLDADO - CHECKBOX
privatevoid
onSoldadosChkOnOffChange(Autodesk.Revit.UI.ExtensibleStorage.Framework.SchemaEditorEventAr
gs e)
        {
bool g = Convert.ToBoolean(e.Editor.GetValue("SoldadosChkOnOff",
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED));
if (g == true)
            {
                e.Editor.SetValue("LaminadosChkOnOff", false,
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED);
                e.Editor.SetValue("SoldadosChkOnOff", true,
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED);
            }
else
            {
                e.Editor.SetValue("LaminadosChkOnOff", true,
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED);
                e.Editor.SetValue("SoldadosChkOnOff", false,
DisplayUnitType.DUT_UNDEFINED);
}
        }
        #endregion PERFIL DE AÇO SOLDADO - CHECKBOX
// …
```

Figura 92. Extrato de código arquivo do ServerUI.cs, controle de *RadioButton* nas variáveis "Perfil de aço laminado" *(public bool LaminadosChkOnOff)* e "Perfil de aço soldado" *(public bool SoldadosChkOnOff)*.

Qualquer alteração que seja necessária no meio de uma verificação da norma que precise do Controle Geral de Mudanças de *UI - User Interface pode* ser conseguida sem nenhum problema, sem limitações e não requerem da reinicialização do programa.

b) *Server.cs*

Este arquivo está dividido em duas partes para a sua compreensão e fins didáticos. A primeira que é o "MÓDULO DE CÁLCULO DA NORMA" e a segunda que é o "MÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO". O primeiro módulo será exposto nesta sub-seção e o segundo módulo será apresentado na sub-seção 4.5. Documentação, deste mesmo capítulo.

O arquivo *Server.cs,* MÓDULO DE CÁLCULO DA NORMA realiza todos os cálculos provenientes da Norma NBR 8800:2008, conforme explicados

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

anteriormente no capítulo 3 - Dimensionamento de peças segundo a Norma NBR 8800:2008. A verificação da norma é baseada em casos de carga e combinações de carga que podem ser introduzidas pelo usuário ou usar a forma padrão de sua seleção e gestão, dentro do Revit® Structure 2014 e enviada para o *Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional* ou para a nuvem, para ser apropriadamente analisada; em qualquer dos dois casos a informação da análise feita, retornará. Se o *Server.cs* retorna um "*True*" na verificação total do código, sem encontrar erros de programação, a categoria *Analysis* e *Load cases and combinations* (explicados na sub-seção 4.2.2.5.a) estarão disponíveis para a seu emprego. Nestas duas categorias dentro da caixa de diálogo *Code Settings* do *Revit Structure*, oferecem ao usuário a possibilidade de selecionar a análise e os casos de carga e combinações, que serão empregados na verificação da norma, mais especificamente, nos cálculos do *Server.cs*.

Este arquivo com um código inicial foi automaticamente gerado pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014*, dentro do projeto NVR8800V1 no *Visual Studio® 2010.* Este arquivo foi modificado como se explicará na sub-seção 4.2.2.7.b sobre a codificação usada no arquivo Server.cs.

Depois de obter os resultados da análise, defina os parâmetros de cálculo, determine a análise a ser usada e os tipos de carga e combinações de carga, defina os parâmetros de cada um dos elementos e selecione a estrutura ou parte dela. O arquivo *Server.cs* é executado quando o ícone *Run Calculations* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure 2014,* é pressionado, realizando assim todos os cálculos necessários para finalizar a comprovação do da norma com o código NBR8800V1.

Se quaisquer destas mudanças acontecerem em tempo real, no meio de uma verificação da norma, as mesmas podem ser utilizadas sem a necessidade de reiniciar o programa.

O código de verificação precisa de algumas estruturas de codificação para seu desenvolvimento, estas mesmas estruturas cumprem diferentes funcionalidades dentro do código, as quais são descritas a seguir.

As propriedades mecânicas do material (como resistência ao escoamento do aço, resistência à ruptura do aço à tração, o módulo de elasticidade do aço e o módulo de elasticidade transversal do aço no centro geométrico da peça) usado pelo engenheiro estrutural no *Revit® Structure*, são chamadas diretamente pelo código de verificação da Norma, da seguinte forma (Figura 93):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Região do Código – Server.cs

PROPRIEDADES MECÂNICAS

```
// …
//  ADICIONE CÓDIGO

//  --- PROPRIEDADES MECÂNICAS ---
                        #region PROPRIEDADES MECÂNICAS
Material mat = Tools.GetMaterialOfElement(element);
PropertySetElement propertySetelement = mat.Document.GetElement(mat.StructuralAssetId)
asPropertySetElement;
StructuralAsset structuralAsset = propertySetelement.GetStructuralAsset();
myResult.fy = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(structuralAsset.MinimumYieldStress,
DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER);
myResult.fu = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(structuralAsset.MinimumTensileStrength,
DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER);
myResult.E = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(structuralAsset.YoungModulus.X,
DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER);
myResult.G = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(structuralAsset.ShearModulus.X,
DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER);
#endregion PROPRIEDADES MECÂNICAS
// …
```

Figura 93. Extrato do código da estrutura de chamado de propriedades mecânicas.

As propriedades da seção transversal da peça de cada um dos elementos, necessárias para conseguir fazer os cálculos na Norma NBR 8800:2008 (comprimento da peça, área neta da peça, raios de giração, inercias, largura das mesas, espessuras, entre outras) são chamadas pelo código de verificação da Norma, referindo-se diretamente à base de dados do *Revit® Structure* e são apontadas da seguinte forma (Figura 94):

Região do Código – Server.cs

PROPRIEDADES DA PEÇA

```
// …
//  --- PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA PEÇA ---
                        #region PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA PEÇA
Autodesk.Revit.DB.CodeChecking.Engineering.Tools.ElementAnalyzer revitElementAnalyzer =
newElementAnalyzer();
ElementInfo elementInfo = revitElementAnalyzer.Analyze(element);
myResult.L = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(elementInfo.GeomLength(),
DisplayUnitType.DUT_METERS);

SectionsParamsInfo paramInfo = elementInfo.SectionsParams.AtTheBeg;
if (paramInfo != null)
                        {
myResult.A = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Characteristics.A,
DisplayUnitType.DUT_SQUARE_METERS);
myResult.Ry = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Characteristics.ry,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
myResult.Rz = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Characteristics.rz,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
myResult.Iy = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Characteristics.Iy,
DisplayUnitType.DUT_METERS_TO_THE_FOURTH_POWER);
myResult.Iz = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Characteristics.Iz,
DisplayUnitType.DUT_METERS_TO_THE_FOURTH_POWER);

AnalyticalModel analyticalmodel = element asAnalyticalModel;
Parameter Rotacao = analyticalmodel.get_Parameter("Cross-Section Rotation");
myResult.RotSectrans = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(Rotacao.AsDouble(),
DisplayUnitType.DUT_DECIMAL_DEGREES);
#endregion PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA PEÇA

// …
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
myResult.B = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.b,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Bf = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.bf,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Bf1 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.bf1,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Bf2 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.bf2,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
myResult.H = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.h,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.H1 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.h1,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.H2 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.h2,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
myResult.Hw = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.hw,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Hw1 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.hw1,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Hw2 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.hw2,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.L1 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.l1,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.L2 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.l2,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.S = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.s,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.T = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.t,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
myResult.Tf = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.tf,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Tf1 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.tf1,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Tf2 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.tf2,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
myResult.Tw = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.tw,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Tw1 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.tw1,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Tw2 = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.tw2,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Vpy = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.vpy,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Vpz = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.vpz,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
myResult.Vy = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.vy,
DisplayUnitType.DUT_METERS);
//myResult.Vz = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(paramInfo.Dimensions.vz,
DisplayUnitType.DUT_METERS);

// …
```

Figura 94. Extrato do código da estrutura de chamado de propriedades da peça.

A Norma NBR 8800:2008 cobre com amplitude todas as opções de perfis usadas comumente na análise de estruturas de aço, porém, como foi indicado no escopo deste documento (sub-seção 1.3 Limitações), o código de verificação NBR8800V1 se limita só aos Perfis de tipo I, deixando a estrutura de seleção das diferentes seções suportadas pelo *Revit® Structure* já prontas só para desenvolver a codificação de outros perfis, conforme demonstrado na Figura 95.

Região do Código – Server.cs
ESTRUTURA DE SELEÇÃO DOS TIPOS DE PERFIS SUPORTADOS PELO PROGRAMA REVIT® STRUCTURE.
// …

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
caseSectionShapeType.I:
                                        {myResult.SectionShapeI = true;
//... CODIGO NBR8800V1
                                        } break;

                                    caseSectionShapeType.Unusual:
                                        {myResult.SectionShapeUnusual = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.RectangularHollowConstant:
                                        {myResult.SectionShapeRectangularHollowConstant =
true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.RectangularBar:
                                        {myResult.SectionShapeRectangularBar = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.RoundTube:
                                        {myResult.SectionShapeRoundTube = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.RoundBar:
                                        {myResult.SectionShapeRoundBar = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.HalfRoundBar:
                                        {myResult.SectionShapeHalfRoundBar = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.QuarterRoundBar:
                                        {myResult.SectionShapeQuarterRoundBar = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.RectangularHollowNotConstant:
                                        {
myResult.SectionShapeRectangularHollowNotConstant = true;
//adicionar código                      } break;
caseSectionShapeType.IASymmetrical:
                                        {myResult.SectionShapeIASymmetrical = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.T:
                                        {myResult.SectionShapeT = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.L:
                                        {myResult.SectionShapeL = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.C:
                                        {myResult.SectionShapeC = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.Z:
                                        {myResult.SectionShapeZsteel = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.PolygonalBar:
                                        {myResult.SectionShapePolygonalBar = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.PolygonalHollow:
                                        {myResult.SectionShapePolygonalHollow = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.DoubleRectangularBar:
                                        {myResult.SectionShapeDoubleRectangularBar = true;
//adicionar código
                                        } break;
caseSectionShapeType.DoubleSection:
                                        {myResult.SectionShapeDoubleSection = true;
//adicionar código
                                        } break;
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
default:
                                        {myResult.SectionShape0 = true;
//adicionar código
                                        } break;
}
// …
```

Figura 95. Extrato do código da estrutura de seleção dos tipos de perfis suportados pelo programa *Revit® Structure*.

A análise estrutural feita pelo *Robot*™ ou pela nuvem, devolve os resultados da análise estrutural, assim como são forças e momentos, os quais são necessários para realizar a comparação entre as forças e momentos solicitantes e as forças e momentos resistentes, bem como, para apresentar as gráficas das forças e momentos envolventes, de todas as combinações de carregamento escolhidas pelo projetista. Estas são chamadas pelo código de verificação da seguinte maneira (Figura 96):

Região do Código – Server.cs

ESTRUTURA DE CHAMADO DAS FORÇAS E MOMENTOS DOS RESULTADOS DA ANÁLISE ESTRUTURAL

```
// …
//  --- FORÇAS E MOMENTOS ---
                              #region FORÇAS E MOMENTOS
List<ElementId> loadCasesAndCombinations =
storageDocument.CalculationParamsManager.CalculationParams.GetLoadCasesAndCombinations(ID)
;

// OBTER O INPUT PACKAGE (PACOTE DE ENTRADA) SELECIONADO PELO USUÁRIO NA CAIXA DE DIÁLOGO
// CODE SETTINGS (CONFIGURAÇÕES DE CÓDIGO)
ResultsPackage inputPackage =
storageDocument.CalculationParamsManager.CalculationParams.GetInputResultPackage(ID);

// INTERESE NOS RESULTADOS DAS FORÇAS
IList<LinearResultType> linearResultTypesFx = newList<LinearResultType>() {
LinearResultType.Fx };
IList<LinearResultType> linearResultTypesFy = newList<LinearResultType>() {
LinearResultType.Fy };
IList<LinearResultType> linearResultTypesFz = newList<LinearResultType>() {
LinearResultType.Fz };
// INTERESE NOS RESULTADOS DOS MOMENTOS
//IList<LinearResultType> linearResultTypesMx = new List<LinearResultType>() {
LinearResultType.Mx };
IList<LinearResultType> linearResultTypesMy = newList<LinearResultType>() {
LinearResultType.My };
IList<LinearResultType> linearResultTypesMz = newList<LinearResultType>() {
LinearResultType.Mz };

// OBTER O ELEMENTID (ELEMENTO DE IDENTIFICAÇÃO) DO ELEMENTO ESTRUTURAL PARA GRÁFICOS DE
FORÇAS
AnalyticalModel am = element asAnalyticalModel;
List<ElementId> elementIds = newList<ElementId>() { am.GetElementId() };
IList<LineGraph> graphsFx = inputPackage.GetLineGraphs(elementIds,
loadCasesAndCombinations, linearResultTypesFx,
newLineGraphParameters(UnitsSystem.Metric));
IList<LineGraph> graphsFy = inputPackage.GetLineGraphs(elementIds,
loadCasesAndCombinations, linearResultTypesFy,
newLineGraphParameters(UnitsSystem.Metric));
IList<LineGraph> graphsFz = inputPackage.GetLineGraphs(elementIds,
loadCasesAndCombinations, linearResultTypesFz,
newLineGraphParameters(UnitsSystem.Metric));
//IList<LineGraph> graphsMx = inputPackage.GetLineGraphs(elementIds,
loadCasesAndCombinations, linearResultTypesMx, new
LineGraphParameters(UnitsSystem.Metric));
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
IList<LineGraph> graphsMy = inputPackage.GetLineGraphs(elementIds,
loadCasesAndCombinations, linearResultTypesMy,
newLineGraphParameters(UnitsSystem.Metric));
IList<LineGraph> graphsMz = inputPackage.GetLineGraphs(elementIds,
loadCasesAndCombinations, linearResultTypesMz,
newLineGraphParameters(UnitsSystem.Metric));

// …
```

Figura 96. Extrato do código da estrutura de chamado das Forças e Momentos dos resultados da análise estrutural.

As propriedades da seção transversal da peça de cada um dos elementos dependem da posição ou rotação da seção, necessárias para conseguir fazer os cálculos na Norma NBR 8800:2008 (raios de giração em x, inercias em y, entre outras). Os parâmetros entregues pela base de dados do *Revit® Structure, são* informações da seção nos eixos principais, ou seja, quando o perfil estiver nas posições múltiplos de 90° (graus) de rotação da peça. O usuário final pode fazer modificações na rotação da peça, no qual programa efetuará os cálculos para estas posições com uma tolerância de ± 1°, visto que se efetuam rotações da peça no *Revit® Structure*, e às vezes, não toma um valor exato da rotação. Se a peça estiver rotada fora das especificações mencionadas anteriormente, o código não chama as propriedades, porém deixa a possibilidade de implementar este processo em versões futuras do programa. A estrutura de controle de rotação da peça é mostrada a seguir (Figura 97):

Região do Código – Server.cs

ESTRUTURA DE CONTROLE DE ROTAÇÃO DA PEÇA

```
// …
//  --- CONTROLE DE ROTAÇÃO  ---
                              #region CONTROLE DE ROTAÇÃO
if ((myResult.RotSectrans < 1.00) && (myResult.RotSectrans > -1.00))
                              {
myResult.RotAct = true;
                                  myResult.DirIMaior = true;
                                  myResult.RemY = myResult.Ry;
                                  myResult.RemZ = myResult.Rz;
                                  myResult.IemY = myResult.Iy;
                                  myResult.IemZ = myResult.Iz;
}
else
{
if ((myResult.RotSectrans < 91) && (myResult.RotSectrans > 89))
{
                                      myResult.RotAct = true;
                                      myResult.DirIMaior = false;
                                      myResult.RemY = myResult.Rz;
                                      myResult.RemZ = myResult.Ry;
                                      myResult.IemY = myResult.Iz;
                                      myResult.IemZ = myResult.Iy;
}
else
{
if ((myResult.RotSectrans > -91) && (myResult.RotSectrans < -89))
{
                                          myResult.RotAct = true;
                                          myResult.DirIMaior = false;
                                          myResult.RemY = myResult.Rz;
                                          myResult.RemZ = myResult.Ry;
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
                                        myResult.IemY = myResult.Iz;
                                        myResult.IemZ = myResult.Iy;
}
else
{
if ((myResult.RotSectrans <= 180) && (myResult.RotSectrans > 179))
{
                                            myResult.RotAct = true;
                                            myResult.DirIMaior = true;
                                            myResult.RemY = myResult.Ry;
                                            myResult.RemZ = myResult.Rz;
                                            myResult.IemY = myResult.Iy;
                                            myResult.IemZ = myResult.Iz;
}
else
{
if ((myResult.RotSectrans >= -180) && (myResult.RotSectrans < -179))
{
                                                myResult.RotAct = true;
                                                myResult.DirIMaior = true;
                                                myResult.RemY = myResult.Ry;
                                                myResult.RemZ = myResult.Rz;
                                                myResult.IemY = myResult.Iy;
                                                myResult.IemZ = myResult.Iz;
}
else
{

myResult.RotAct = false;
}
}
}
}
}
                            #endregion CONTROLE DE ROTAÇÃO

// …
```

Figura 97. Extrato do código da estrutura de controle de rotação da peça.

4.2.2.8. *Updater*

Este arquivo *Updater.cs* foi automaticamente gerado pelo *Visual Studio Wizard for Code Checking 2014* e não foi modificado neste caso particular.

4.3. Unidades usadas

O componente e os cálculos realizados no código são totalmente independentes das unidades, no entanto, todos os dados de entrada (no *UI*) devem ser definidos em um sistema consistente de unidades, o qual pode ser utilizado com as unidades métricas (SI), unidades Imperiais (Imperial) ou quaisquer outros sistemas. É claro que as unidades de saídas são dependentes das unidades de dados de entrada.

Como foi visto nas propriedades das variáveis e nos atributos, temos duas características principais que determinam as unidades, a saber:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- *Unit:* Determina em que categoria de unidades será salva a variável na base de dados, isto é, unidades de comprimento, volume, etc.
- *UnitDisplay:* Determina em que unidades será salva a variável na base de dados, isto é, no caso de unidades de comprimento: metros, centímetros, pés, etc.

A forma mais fácil é recomendada para usar estes atributos é definir todos os dados de entrada em unidades de base, por exemplo, [M], [N] ou [in], [lb] e unidades derivadas e.g. [Pa = N / (m2)] ou [psi = libras / (in2)], respectivamente.

Neste caso, os dados de saída serão na base e também nas unidades derivadas. A lista que exemplifica as unidades para entrada e saída é apresentada a seguir (Figuras 98 e 99):

Unit - UNIDADES			
Tipo de Unidade Revit		Unidades	
Sistema de unidades métricas (SI)			
length, distance	comprimento, distância	UT_Length	[m]
		UT_Section_Property	[m]
		UT_Section_Dimension	[m]
area	área	UT_Section_Area	[m2]
first moment	primeiro momento	UT_Moment	[N.m]
moment of inertia	momento de inércia	UT_Moment_of_Inertia	[m4]
force	força	UT_Force	[N]
Mass per Unit of length	Massa por unidade de comprimento	UT_Mass_per_Unit_Length	[kg/m]
stress	esforço	UT_Stress	[N/m2]
angle	ângulo	UT_Angle	[Radian]
Sistema de unidades Imperial (Imperial)			
length, distance	comprimento, distância	UT_Length	[in.]
		UT_Section_Property	[in.]
		UT_Section_Dimension	[in.]
area	área	UT_Section_Area	[in. 2]
first moment	primeiro momento	UT_Moment	[kip .ft]
moment of inertia	momento de inércia	UT_Moment_of_Inertia	[in. 4]
force	força	UT_Force	[kip]
Mass per Unit of length	Massa por unidade de comprimento	UT_Mass_per_Unit_Length	[lbs]
stress	esforço	UT_Stress	[kip/ft.2]
angle	ângulo	UT_Angle	[Radian]

Figura 98. Exemplo de uso de atributo *Unit* nas unidades métricas e imperiais.

UnitDisplay - UNIDADES DE EXIBIÇAO			
Unidades		Unidades de entrada	Unidades de saída
Sistema de unidades métricas (SI)			
length, distance	comprimento, distância	[m]	[m]
area	área	[m2]	[m2]
first moment	primeiro momento	-	[m3]
moment of inertia	momento de inércia	-	[m4]
force	força	[N]	[N]
moment	momento	[N .m]	[N .m]
stress	esforço	[N / (m2)]	[N / (m2)]
angle	ângulo	[Radian]	[Radian]
Sistema de unidades Imperial (Imperial)			
length, distance	comprimento, distância	[in]	[in]
area	área	[in2]	[in2]
first moment	primeiro momento	-	[in3]

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

moment of inertia	momento de inércia	-	[in4]
force	força	[lb]	[lb]
moment	momento	[lb □ in]	[lb □ in]
stress	esforço	[lb / (in2)]	[lb / (in2)]
angle	ângulo	[Radian]	[Radian]
Outro sistema de unidades do usuário			
length, distance	comprimento, distância	[length]	[length]
Area	área	[length2]	[length2]
first moment	primeiro momento	-	[length3]
moment of inertia	momento de inércia	-	[length4]
Force	força	[force]	[force]
moment	momento	[force □ length]	[force .length]
Stress	esforço	[force / (length2)]	[force / (length2)]
Angle	ângulo	[Radian]	[Radian]

Figura 99. Exemplo de uso de atributo *DisplayUnit* nas unidades métricas, imperiais e outro sistema definidas pelo usuário.

Caso os resultados não sejam tão simples, lembre-se de que as operações diferentes em unidades distintas dão resultados não semelhantes. No caso particular do NBR8800V1, as unidades estão completamente de acordo com o que foi anteriormente mencionado. Então, assim sendo qualquer das unidades de entrada tomadas no *Revit® Structure 2014,* os resultados ou dados de saída serão impressos em unidades SI (Figuras 100 e 101):

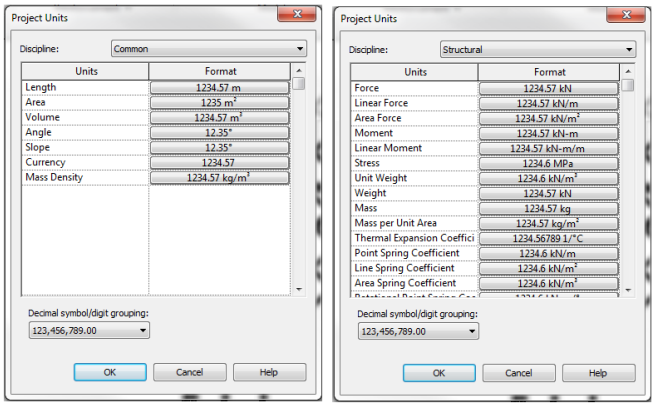


Figura 100. Project *Units* do *UI* do *Revit® Structure 2014*.

Resistência ao cisalhamento na maior inércia :

Perfil Laminado:

λ:	19.771283		Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 50
λ_p:	59.222009		Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 50
λ_r:	73.758321		Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 50
A_w:	16.2	cm²	Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 51
V_{pl}:	335.59	kN	Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 51
V_{Rd}:	305.08	kN	Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 47
V_{Sd}:	6.09	kN	Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 47

Figura 101. Exemplo de Unidades de impressão do relatório final do NBR8800V1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

É importante mencionar que as unidades de comprimento internas do programa *Autodesk® Revit® 2014* são unidades inglesas, ou seja, pés, polegadas, etc., o que produz uma pequena diferença entre os dados calculados por causa dos decimais.

4.4. *Debuggin* ou Depuração do Código

A depuração do programa é o processo de identificação e correção de "*bugs"* (bichos tradução no português). Em Inglês é conhecido como a *debuggin*, é semelhante a eliminação de erros (bugs), como é informalmente conhecido os erros de programação.

O processo de *debuggin* é repetitivo durante todo o processo de desenvolvimento do código, assim realizar um *debug* dentro do *Visual Studio® 2010,* e ingressar ao *Revit® Structure 2014,* a fim de realizar a verificação, é necessário seguir os seguintes passos:

Na aba projeto do Visual Studio, procurar as Propriedades do Código (NBR8800V1), (Project >> NBR8800V1 Properties...), assim (Figura 102):

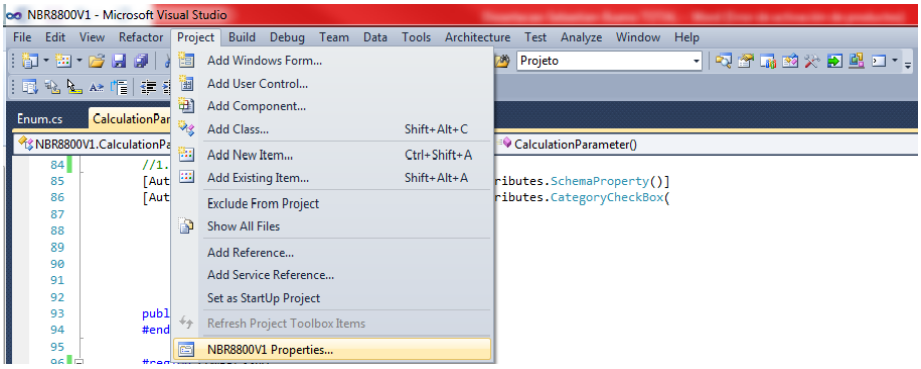


Figura 102. Configuração das Propriedades do Código NBR8800V1 no *Visual Studio® 2010*.

Para salvar o projeto NBR8800V1, na janela de propriedades do projeto, procure a aba *DEBUG*, onde está localizado o endereço do arquivo executável .exe do *Revit® Structure 2014:* C:\Program Files\Autodesk\Revit Structure 2014\ Revit.exe (Figura 103):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

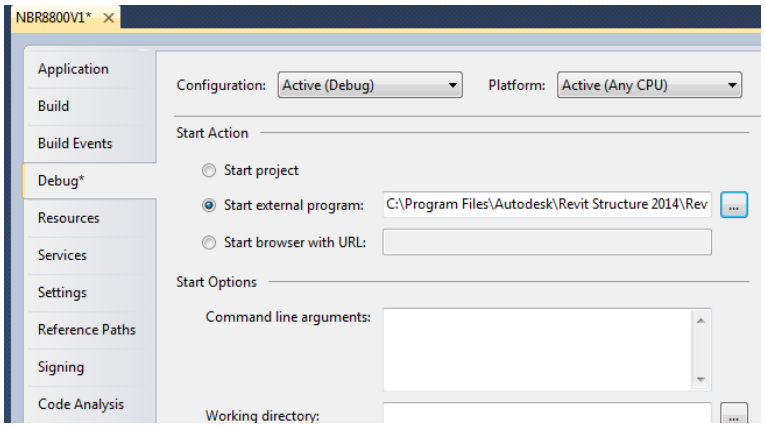


Figura 103. Configuração das Propriedades do Código NBR8800V1 no *Visual Studio® 2010* para o *Debuggin*.

Adicionalmente, constate que os arquivos *NRB8800V1DB.addin* e *NRB8800V1DB.addin*que foram copiados anteriormente na pasta:

C:\ Users \ ... \ AppData \ Roaming \ Autodesk \ Revit \ Addins \ 2014

incluam o endereço correto, onde se encontra a pasta do código NBR8800V1, especificamente no endereço:

C: \ ... \ visual studio 2010 \ Projects \ NBR8800V1 \ NBR8800V1 \ bin \ Debug \ NBR8800V1.dll, o qual já foi revisado na sub-seção 4.2.2.3. Addin.

NBR8800V1.dll é gerado pelo *Visual Studio® 2010,* quando dá origem a uma solução (Build >> Build Solution) ou quando o código é passado por o processo de identificação e correção de *bugs* (*debug*).

4.5. Documentação

4.5.1. Módulo de Impressão de Documentação

Esta classe foi desenvolvida para que o relatório final tenha uma apresentação de dados ordenada e formatada segundo as necessidades do desenvolvedor.

A documentação do programa é feita no mesmo arquivo *Server.cs,* “MÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO”, em uma classe criada para estes fins. O módulo de impressão de documentação coleta os dados que foram passados desde o *Server.cs* “MÓDULO DE CÁLCULO DA NORMA” para o arquivo *Results.cs*, onde os dados são armazenados e depois os mesmos são passados para outra vez para o arquivo *Server.cs* *“*MÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO”, para realizar o relatório final da verificação da Norma, assim (Figura 104):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Região do Código - Server.cs

DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO

```
// …
        // --- MÓDULO DE CALCULO DA NORMA ---
// …
        switch (elementInfo.SectionsParams.ShapeType)
                                {
                                    #region SECTIONI
caseSectionShapeType.I:
                                        {
myResult.SectionShapeI = true;
// …
// --- MÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO ---
        #regionMÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO
publicoverrideDocumentBody
BuildResultDocumentBody(Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Entity results, Element
element, Autodesk.Revit.DB.Document document)
{
DocumentBody body = newDocumentBody();
Result res = newResult();
res.SetProperties(results);
        // …
if (res.SectionShapeI == true)
{
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentStatus("IMAGEM DE PERFIL TIPO I", "CORRETO", "OK -
PERFIL CORRETO", true, res.Ratio));
}
else
        // …
// …
```

Figura 104. Transferência de dados do *Results.cs* ao *Server.cs* "MÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO" para realizar o relatório final do código de verificação da Norma NBR8800V1.

Então, como pode-se visualizar na região de código antes apresentada, todas as variáveis ***myResult.*** *... no* módulo de cálculo da norma são passados para o módulo de impressão de documentação, como **res.** Os códigos que permitem a formatação do documento são os explicados a seguir:

O corpo do documento consiste em una lista de elementos, tais como (Figura 105):

Região do Código - Server.cs

CORPO DO DOCUMENTO

```
// …
        // --- MÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO ---
        #regionMÓDULO DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTAÇÃO
publicoverrideDocumentBody
BuildResultDocumentBody(Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage.Entity results, Element
element, Autodesk.Revit.DB.Document document)
{
DocumentBody body = newDocumentBody();
Result res = newResult();
res.SetProperties(results);
        // …
// …
```

Figura 105. Definição do corpo do Documento final.

Abaixo se mostra os elementos que poderão ser adicionados a esta lista:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4.5.1.1. *DocumentSection*

Representa a seção do documento. Permite ao documento ser dividido em partes lógicas e gerar automaticamente do mesmo (Figura 106):

Região do Código - Server.cs

CORPO DO DOCUMENTO

```
// …
DocumentSection TITULO = newDocumentSection("EXEMPLO DE TEXTO DE DOCUMENTAÇÃO", 1);
TITULO.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
body.Elements.Add(TITULO);

DocumentSection TEST1 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 1", 1);
            body.Elements.Add(TEST1);
DocumentSection TEST2 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 2", 2);
body.Elements.Add(TEST2);
DocumentSection TEST3 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 3", 3);
            body.Elements.Add(TEST3);
DocumentSection TEST4 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 4", 4);
// Pode inserir partes dependentes da seção do documento como por exemplo:
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("O texto pode ter diferentes tipos de
formatação:"));

body.Elements.Add(TEST4);
 // …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

EXEMPLO DE TEXTO DE DOCUMENTAÇÃO

SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 1

SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 2

SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 3

SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 4

O texto pode ter diferentes tipos de formatação:

Figura 106. Implantação do código de *DocumentSection*, no módulo de impressão de documentação.

Como pode-se ver na Figura 106, esta região de código permite realizar texto em quatro diferentes formatos, para poder distinguir entre diferentes subdivisões do documento.

4.5.1.2. *DocumentLineBreak*

Representa um salto de linha. Permite dar saltos de linha (quando é entre texto e texto) ou deixa uma linha em branco (quando é entre texto e variável impressa), dependendo de sua aplicação, assim (Figura 107):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Região do Código - Server.cs

SALTO DE LINHA

```
// …
DocumentSection TEST4 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 4", 4);
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("O texto pode ter diferentes tipos de
formatação:"));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("Texto{sub-índice}"));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("Texto{^sub-índice}"));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@a"));
            // …
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@c = "));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("1,2,3"));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@d = "));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValue(res.fy));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@d = "));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValue("3, 4, 5"));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValueWithDescription("f{y}", "", "",
res.fy, DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER, UnitType.UT_Stress,
document.GetUnits(), true));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValueWithName("f{y}", res.fy));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
body.Elements.Add(TEST4);
DocumentSectionIMAGEM = newDocumentSection("EXEMPLO DE GRÁFICOS DE DOCUMENTAÇÃO", 4);
// …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

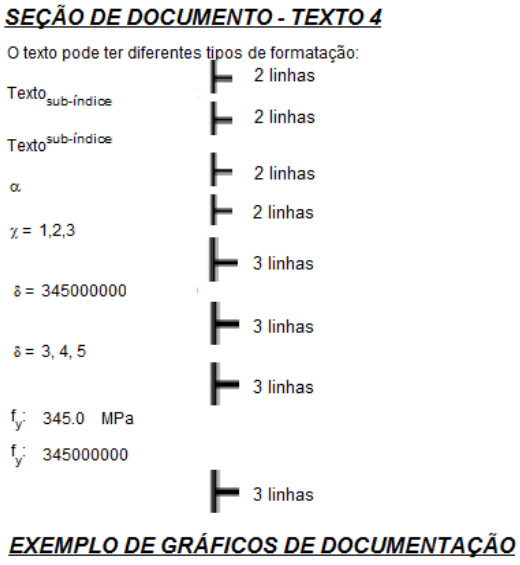


Figura 107. Implantação do código de *DocumentLineBreak* no módulo de impressão de documentação.

4.5.1.3. *DocumentText*

Representa um texto simples. Em todos os elementos (não sendo somente exclusivo ao *DocumentText*), se pode utilizar índices dentro do texto com seguinte forma (Figura 108):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Região do Código - Server.cs

TEXTO

```
// …
DocumentSection TEST4 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 4", 4);
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("O texto pode ter diferentes tipos de
formatação:"));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("Texto{sub-índice}"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("Texto{^sub-índice}"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@a"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@a{^sub-índice}"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@b"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@b{^@c}"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@a"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@c = "));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("1,2,3"));
// …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 4

O texto pode ter diferentes tipos de formatação:

$Texto_{sub\text{-}índice}$

$Texto^{sub\text{-}índice}$

α

$\alpha^{sub\text{-}índice}$

β

β^{χ}

α

$\chi = 1,2,3$

Figura 108. Implantação do código de *DocumentText* no módulo de impressão de documentação.

4.5.1.4. *DocumentValue*

Representa um valor como texto (Figura 109).

Região do Código - Server.cs

VALOR

```
// …
TEST4.Body.Elements.Add(new DocumentText("@d = "));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValue(res.fy));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@d = "));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValue("3, 4, 5"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
// …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

$\delta = 345000000$

$\delta = 3, 4, 5$

Figura 109. Implantação do código de *DocumentValue* no módulo de impressão de documentação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4.5.1.5. *DocumentValueWithDescription*

Representa um valor com um nome (“*string name”*), uma descrição (“*Description*”), uma nota (“*note*”), uma variável do tipo Double (res.fy), as unidades para imprimir (MPa), a categoria das unidades que se refere (Esforço - Stress), escolhe as unidades nas quais está configurado o Revit Structure (document.GetUnits()) e pergunta com base em um valor *True* ou *False* se quer adicionar um salto de linha (*DocumentLineBreak*) (Figura 110).

Região do Código - Server.cs

VALOR COM DESCRIÇÃO

```
// …
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValueWithDescription("f{y}", "DESCRIÇÃO",
"NOTA", res.fy, DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER, UnitType.UT_Stress,
document.GetUnits(), true));
// …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

f_y: 345.0 MPa DESCRIÇÃO NOTA

Figura 110. Implantação do código de *DocumentValueWithDescription* no módulo de impressão de documentação.

4.5.1.6. *DocumentValueWithName*

Representa um valor numérico com um nome, com diferença ao *DocumentValueWithDescription.* No entanto não considera as unidades de cálculo (Figura 111):

Região do Código - Server.cs

VALOR COM NOME

```
// …
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValueWithName("f{y}", res.fy));  // …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

f_y: 345000000

Figura 111. Implantação do código de *DocumentValueWithName* no módulo de impressão de documentação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

4.5.1.7. *DocumentImage*

Insere uma imagem já elaborada do tipo *.png* no relatório final. O código de chamado da imagem será detalhado a seguir (Figura 112), mas a ligação das fotos no código é explicada na sub-seção 4.5.2. *Images*, neste mesmo capítulo.

Região do Código - Server.cs

IMAGEM

```
// …
            DocumentSectionIMAGEM = newDocumentSection("EXEMPLO DE GRÁFICOS DE
DOCUMENTAÇÃO", 4);
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));

            res.SectionShapeI = true;

            res.SectionShapeI = true;

if (res.SectionShapeI == true) { IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentImage(newUri(
@"pack://application:,,,/NBR8800V1;component/Images/sectionI.png")));
}
// …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

EXEMPLO DE GRÁFICOS DE DOCUMENTAÇÃO

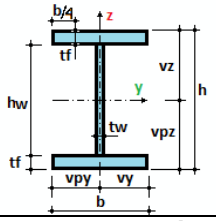


Figura 112. Implantação do código de *DocumentImage* no módulo de impressão de documentação.

4.5.1.8. *DocumentStatus*

Representa um elemento de avaliação de estado de uma variável, isto é, que pode mostrar graficamente um nome do *DocumentStatus,* que ocorrerá se estiver certo ou errado sob uma condição (o estado *True* ou *False),* para definir qual das duas opções está ativada e a variável com a qual está avaliando o Status. Assim (Figura 113):

Região do Código - Server.cs

STATUS DO DOCUMENTO

```
// …
DocumentSectionIMAGEM = newDocumentSection("EXEMPLO DE GRÁFICOS DE DOCUMENTAÇÃO", 4);
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            res.SectionShapeI = true;
if (res.SectionShapeI == true)
{
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentStatus("IMAGEM DE PERFIL TIPO I", "CORRETO", "OK -
PERFIL CORRETO", true, res.Ratio));

            }
else
                    {
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentStatus("OUTRO TIPO DE PERFIL", "NÃO CORRETO", "NOT OK
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
- PERFIL INCORRETO", false, res.Ratio));
                    }
// …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

IMAGEM DE PERFIL TIPO I:	CORRETO	OK - PERFIL CORRETO	0
OUTRO TIPO DE PERFIL:	NÃO CORRETO	NOT OK - PERFIL INCORRETO	0

Figura 113. Implantação do código de *DocumentStatus* no módulo de impressão de documentação.

4.5.1.9. *DocumentDiagram*

Insere um diagrama de análise de dados em um eixo coordenado (Figura 114).

Região do Código - Server.cs

DIAGRAMA

```
// …
DocumentSection GRAFICO = newDocumentSection("FORÇA DE CISALHAMENTO Vz SOLICITANTE", 2);
DocumentDiagram DIAGRAMAVz = newDocumentDiagram("Comprimento Vs. Força de CISALHAMENTO
Vz", "Força de CISALHAMENTO Vz") { Height = 400, Width = 400 };
                    DIAGRAMAVz.Legend = true;
var SERIESVz = DIAGRAMAVz.Series[0];
                    SERIESVz.DiagramType = DiagramType.Area;
SERIESVz.Color = newColor(255, 0, 100);
int CONTVz = 0;

foreach (var DATOSVz in LgGraphZ)
                    {
Random RANDONGENVz = newRandom();
int AVz = RANDONGENVz.Next(255);
int BVz = RANDONGENVz.Next(255);
int CVz = RANDONGENVz.Next(255);

List<UV> SVz = DATOSVz.Points.ToList();

                        SERIESVz = newDocumentDiagramSeries(CONTVz.ToString()) { Color =
newColor((byte)AVz, (byte)BVz, (byte)CVz), DiagramType = DiagramType.Area };
foreach (var puntosVz in SVz)
                        {
                            SERIESVz.AddXY(puntosVz.U, puntosVz.V);
}
                        DIAGRAMAVz.Series.Add(SERIESVz);
                        CONTVz = CONTVz + 1;
}
                    GRAFICO.Body.Elements.Add(DIAGRAMAVz);
                    body.Elements.Add(GRAFICO);
// …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

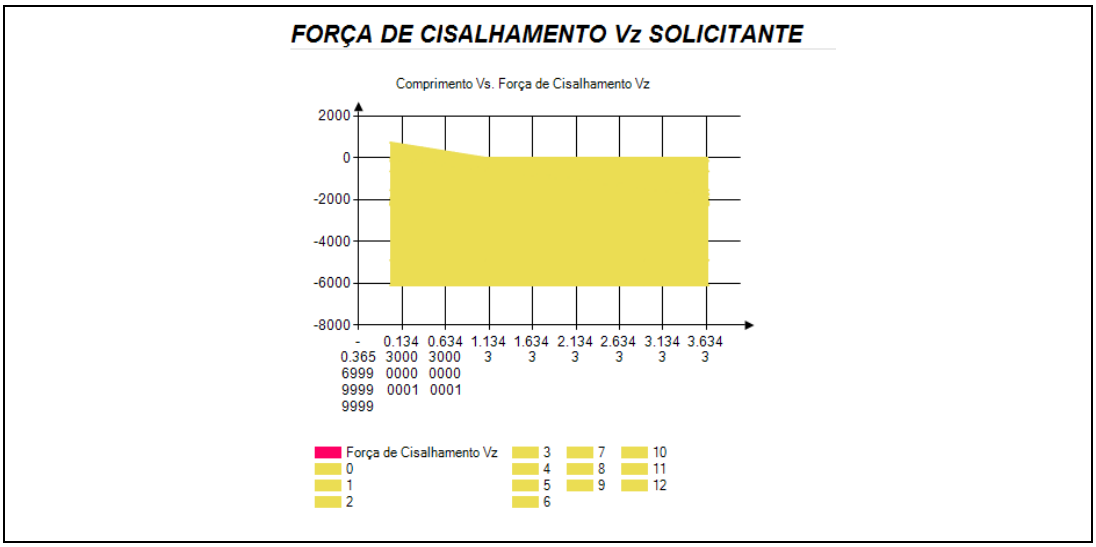


Figura 114. Implantação do código de *DocumentDiagram* no módulo de impressão de documentação.

4.5.1.10. DocumentDiagramSeries

Insere no diagrama de análise de dados em um eixo coordenado uma ou várias séries de dados para apresentação de gráficos (Figura 115).

Região do Código - Server.cs

SERIE DE DIAGRAMAS

```
// …
DocumentSection GRAFICO = newDocumentSection("FORÇA DE CISALHAMENTO Vz SOLICITANTE", 2);
DocumentDiagram DIAGRAMAVz = newDocumentDiagram("Comprimento Vs. Força de CISALHAMENTO
Vz", "Força de CISALHAMENTO Vz") { Height = 400, Width = 400 };
                    DIAGRAMAVz.Legend = true;
var SERIESVz = DIAGRAMAVz.Series[0];
                    SERIESVz.DiagramType = DiagramType.Area;
SERIESVz.Color = newColor(255, 0, 100);
int CONTVz = 0;

foreach (var DATOSVz in LgGraphZ)
                    {
Random RANDONGENVz = newRandom();
int AVz = RANDONGENVz.Next(255);
int BVz = RANDONGENVz.Next(255);
int CVz = RANDONGENVz.Next(255);

List<UV> SVz = DATOSVz.Points.ToList();

SERIESVz = newDocumentDiagramSeries(CONTVz.ToString()) { Color = newColor((byte)AVz,
(byte)BVz, (byte)CVz), DiagramType = DiagramType.Area };
foreach (var puntosVz in SVz)
                        {
                            SERIESVz.AddXY(puntosVz.U, puntosVz.V);
}
                        DIAGRAMAVz.Series.Add(SERIESVz);
                        CONTVz = CONTVz + 1;
}
                    GRAFICO.Body.Elements.Add(DIAGRAMAVz);
                    body.Elements.Add(GRAFICO);
// …
```

APRESENTAÇÃO NO RELATÓRIO FINAL

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

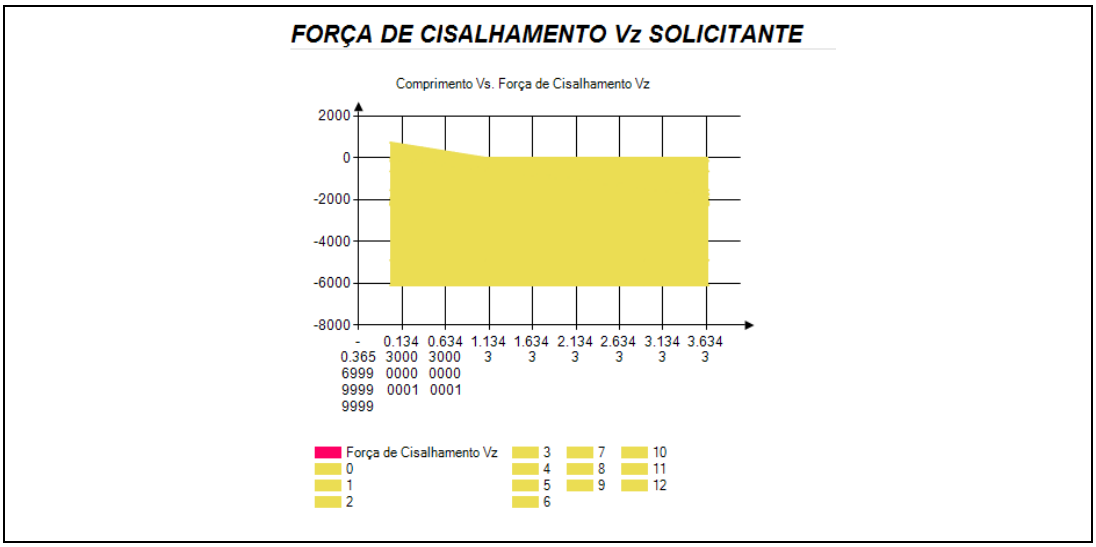


Figura 115. Implantação do código de *DocumentDiagramSeries* no módulo de impressão de documentação.

Na Figura 116, é apresentado o código do exemplo de documentação para ver a interação dos elementos no total e o resultado que o mesmo apresenta (Figura 117):

Código – Exemplo de formatação do documento

```
// …
            //-------------------------
// EXEMPLO DE DOCUMENTAÇÃO
            //DocumentBody body = new DocumentBody();
//Result res = new Result();
  //res.SetProperties(results);
DocumentSection TITULO = newDocumentSection("EXEMPLO DE TEXTO DE DOCUMENTAÇÃO", 1);
TITULO.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            body.Elements.Add(TITULO);
DocumentSection TEST1 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 1", 1);
            body.Elements.Add(TEST1);
DocumentSection TEST2 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 2", 2);
            body.Elements.Add(TEST2);
DocumentSection TEST3 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 3", 3);
            body.Elements.Add(TEST3);
DocumentSection TEST4 = newDocumentSection("SEÇÃO DE DOCUMENTO - TEXTO 4", 4);
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("O texto pode ter diferentes tipos de
formatação:"));
TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("Texto{sub-índice}"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("Texto{^sub-índice}"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@a"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@a{^sub-índice}"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@b"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@b{^@c}"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(2));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@a"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@c = "));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("1,2,3"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@d = "));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValue(res.fy));
```

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

```
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentText("@d = "));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValue("3, 4, 5"));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));

            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValueWithDescription("f{y}", "DESCRIÇÃO",
"NOTA", res.fy, DisplayUnitType.DUT_NEWTONS_PER_SQUARE_METER, UnitType.UT_Stress,
document.GetUnits(), true));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentValueWithName("f{y}", res.fy));
            TEST4.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
body.Elements.Add(TEST4);

DocumentSectionIMAGEM = newDocumentSection("EXEMPLO DE GRÁFICOS DE DOCUMENTAÇÃO", 4);
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));

            res.SectionShapeI = true;

if (res.SectionShapeI == true) {
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentImage(newUri(@"pack://application:,,,/NBR8800V1;compon
ent/Images/sectionI.png"))); }

if (res.SectionShapeI == true)
            {
                IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentStatus("IMAGEM DE PERFIL TIPO I",
"CORRETO", "OK - PERFIL CORRETO", true, res.Ratio));
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentStatus("OUTRO TIPO DE PERFIL", "NÃO CORRETO", "NOT OK
- PERFIL INCORRETO", false, res.Ratio));
            }
else
                    {
IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentStatus("OUTRO TIPO DE PERFIL", "NÃO CORRETO", "NOT OK
- PERFIL INCORRETO", false, res.Ratio));
}
            IMAGEM.Body.Elements.Add(newDocumentLineBreak(3));
body.Elements.Add(IMAGEM);

DocumentSection GRAFICO = newDocumentSection("FORÇA DE CISALHAMENTO Vz SOLICITANTE", 2);
DocumentDiagram DIAGRAMAVz = newDocumentDiagram("Comprimento Vs. Força de CISALHAMENTO
Vz", "Força de CISALHAMENTO Vz") { Height = 400, Width = 400 };
                    DIAGRAMAVz.Legend = true;
var SERIESVz = DIAGRAMAVz.Series[0];
                    SERIESVz.DiagramType = DiagramType.Area;
SERIESVz.Color = newColor(255, 0, 100);
int CONTVz = 0;

foreach (var DATOSVz in LgGraphZ)
                    {
Random RANDONGENVz = newRandom();
int AVz = RANDONGENVz.Next(255);
int BVz = RANDONGENVz.Next(255);
int CVz = RANDONGENVz.Next(255);

List<UV> SVz = DATOSVz.Points.ToList();

                        SERIESVz = newDocumentDiagramSeries(CONTVz.ToString()) { Color =
newColor((byte)AVz, (byte)BVz, (byte)CVz), DiagramType = DiagramType.Area };
foreach (var puntosVz in SVz)
                        {
                            SERIESVz.AddXY(puntosVz.U, puntosVz.V);
}
                        DIAGRAMAVz.Series.Add(SERIESVz);
                        CONTVz = CONTVz + 1;
}
                    GRAFICO.Body.Elements.Add(DIAGRAMAVz);
                    body.Elements.Add(GRAFICO);
//-------------------------
// …
```

Figura 116. Código do exemplo de documentação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

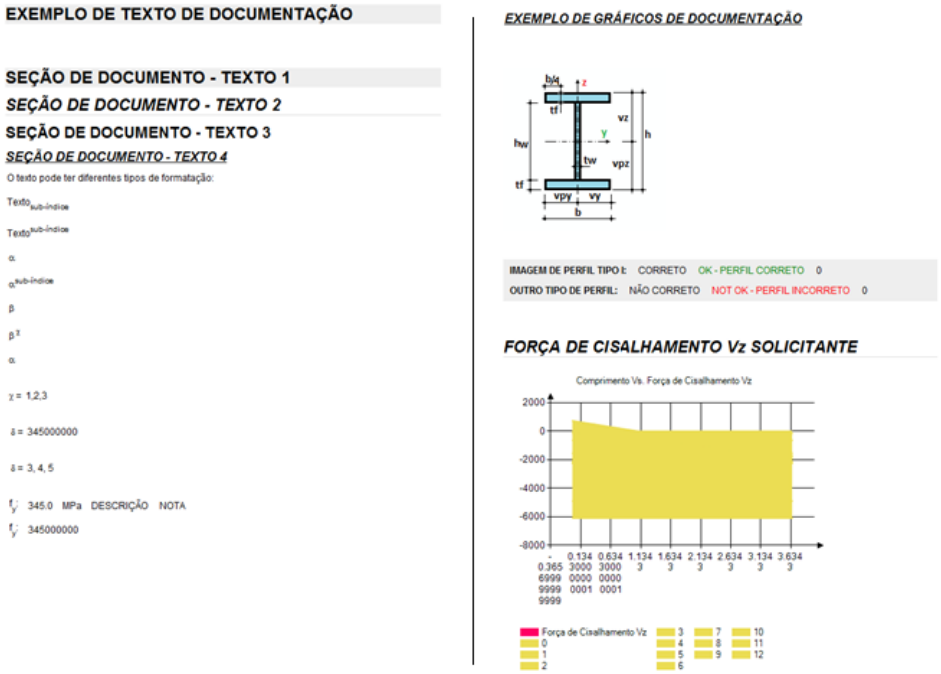


Figura 117. Resultado do relatório final produto do código do exemplo de documentação.

4.5.2. *Images*

Esta pasta é gerada pelo desenvolvedor para conter todas as imagens que serão impressas no relatório final e foi criada da seguinte forma:

Na janela de *Solution Explorer* do *Visual Studio® 2010,* se faz um Clique no botão esquerdo do *mouse* (Add >> New Folder) assim (Figura 118):

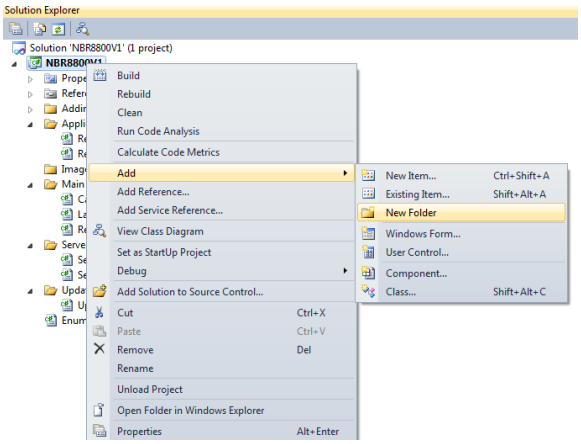


Figura 118. Criação da nova pasta Images.

Feito isto, a nova pasta aparecerá no endereço:

C: \ ... \ Visual Studio 2010 \ Projects \ NBR8800V1 \ NBR8800V1

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

onde se poderá colar qualquer tipo de imagem do tipo .png, desta forma (Figura 119):

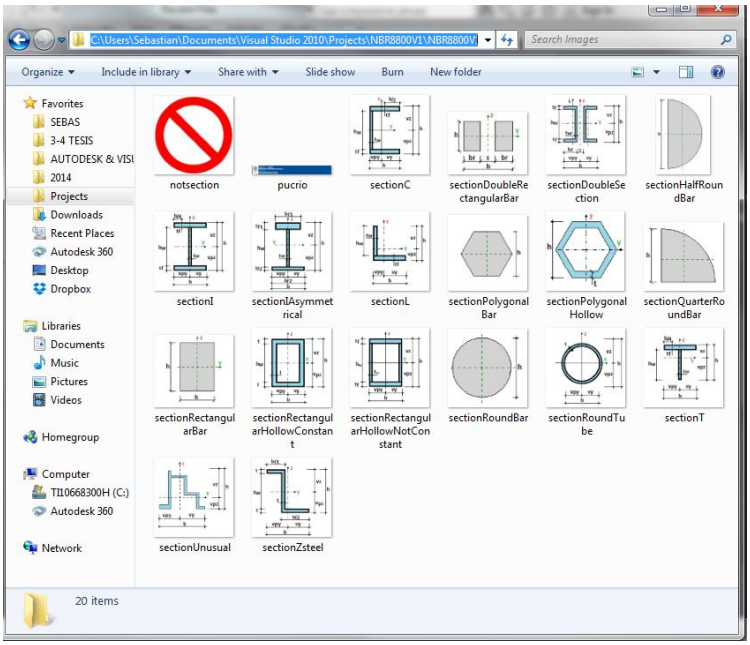


Figura 119. Figuras coladas na pasta Images.

Feito isto, se atribuirão e relacionarão as fotos ao código NBR8800V1, assim:

Na janela de *Solution Explorer* do *Visual Studio® 2010,* se faz um clique no botão esquerdo do *mouse* (Add >> Existing Item...), e procurarão todas as fotos na pasta criada (C: \ ... \ Documents \ Visual Studio 2010 \ Projects \ NBR8800V1 \ NBR8800V1 \ Images), assim (Figura 120):

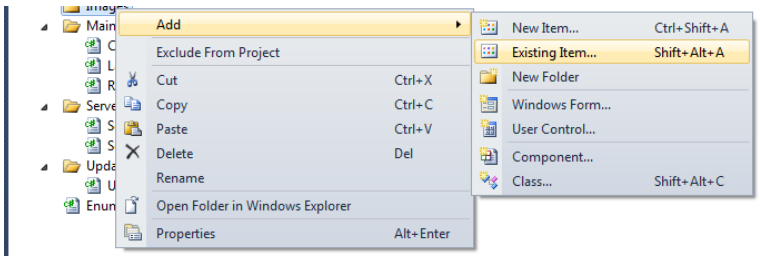


Figura 120. Incorporação das imagens necessárias no código NBR8800V1.

Realizado este processo, agora é necessário revisar que a propriedade *Build Action* esteja selecionada na opção *Resource*, assim (Figura 121):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

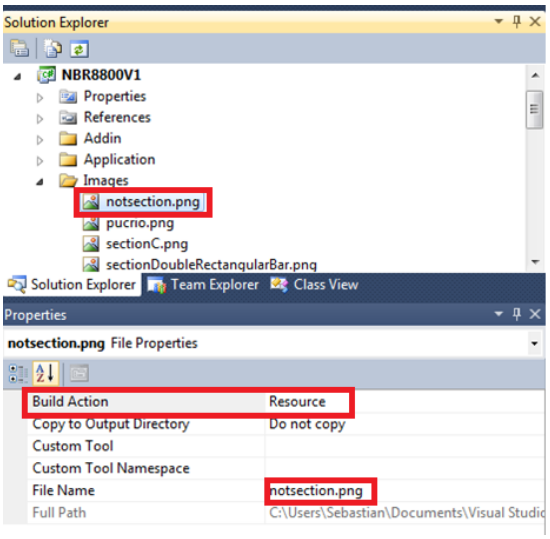


Figura 121. Propriedades da imagem *Notsection.png*.

As figuras usadas no módulo de impressão de documentação estarão disponíveis para seu emprego no relatório final.

4.6. Avaliação do Código

Esta seção apresenta a utilização do código de dimensionamento NBR8800V1 para resolução de exercícios encontrados na bibliografia técnica revisada. O exemplo escolhido foi tirado do livro: Projeto e Cálculos de Estruturas de Aço. Edifício Industrial Detalhado. Chamberlain, Ficanha e Fabeane (2013). O exercício tomado é *"Memória de Cálculo 1: Verificação do Elemento 5"* da página 117 do livro". Com este exercício se tenta comparar o código de verificação implementado com um exemplo da bibliografia técnica revisada, a fim de validar o programa (Tabela 3). O perfil calculado é um perfil tipo W 310x52, com as seguintes dimensões (Figura 122):

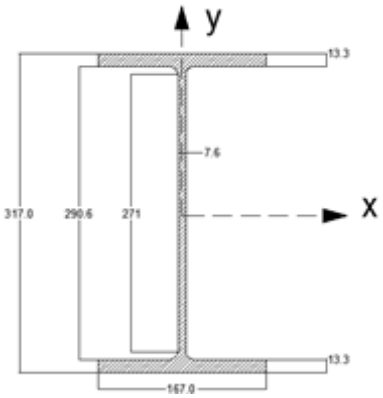


Figura 122. Perfil W 310x52 usado no exemplo de avaliação do Código.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Tabela 3: Avaliação do Código de verificação NBR8800V1 em relação ao exemplo da literatura técnica.

RESULTADOS	DIMEN. PELO NBR8800V1.	BIBLIOGRAFIA TÉCNICA	UNID.	% DE ERRO	VARIÁVEIS DEPENDENTES	OBS.
PARAMETERS						
Combinações	Normais ELU	Normais ELU				
ɣa1:	1.10	1.10		0.00%		
ɣa2:	1.35	1.35		0.00%		
ELEMENT SETTINGS						
Ky:	1.00	1.00		0.00%		
Kx:	1.00	1.00		0.00%		
Kz:	1.00	1.00		0.00%		
PROPRIEDADES MECÂNICAS						
f_y:	345.00	345.00	MPa	0.00%		
f_u:	450.00	450.00	MPa	0.00%		
Rel. f_u/f_y:	1.300	1.300		0.00%		
E:	200000.00	200000.00	MPa	0.00%		
G:	76923.00	76923.00	MPa	0.00%		
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA PEÇA						
L:	7.80	7.80	m	0.00%		
A:	69.20	67.00	cm²	3.28%		As propriedades geométricas referidas no livro se diferenciam das propriedades da base de dados do Revit Structure, para a mesma seção W310x52.
Ry:	13.40	13.33	cm	0.53%		
Rz:	3.90	3.91	cm	-0.26%		
Iy:	12400.91	11909.00	cm4	4.13%		
Iz:	1027.93	1026.00	cm4	0.19%		
Rotação da Seção Transversal:	0.00	0.00	rad	0.00%		
H:	31.80	31.70	cm	0.32%		
hw:	29.20	29.06	cm	0.48%		
tw:	0.80	0.76	cm	5.26%		
b:	16.70	16.70	cm	0.00%		
tf:	1.30	1.32	cm	-1.52%		
W_x:	779.90	751.40	cm³	3.79%		
W_y:	123.10	122.90	cm³	0.16%		
Z_x:	833.90	842.50	cm³	-1.02%		
Z_y:	188.30	188.80	cm³	-0.26%		
C_w:	237980.90	236422.00	cm6	0.66%		
J:	30.10	31.81	cm4	-5.38%		
ANÁLISE À TRAÇÃO						
5.2 Barras Prismáticas submetidas à força axial de tração - NBR 8800/2008 - pág. 37						
DADOS DA LIGAÇÃO DA PEÇA						
a) Quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos:						
Ct:	1.00					
An:	69.20		cm²			
Ae:	69.20		cm²			
ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA						
$N_{t,Rd}$:	2170.50		kN			
RUPTURA DA SEÇÃO LÍQUIDA						
$N_{t,Rd}$:	2306.67		kN			
NOTA: O LIVRO EXPRESSA: DEVIDO AO BAIXO VALOR DE SOLICITAÇÃO PARA O ESFORÇO DE TRAÇÃO, SABENDO QUE A RESISTÊNCIA DOS PERFIS À TRAÇAO É MUITO ELEVADA E TAL VERIFICAÇÃO É DISPENSADA.						

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ MÁXIMA A TRAÇÃO						
Ver - 5.2.8 - Limitação do índice de esbeltez - NBR 8800/2008 - pág. 43						
l_x:	58.27	58.50		-0.39%	depende de: K, L, **ry**.	<= 300 OK - PERFIL CORRETO, o principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
l_y:	202.38	199.50		1.44%	depende de: K, Lx, **rz.**	
ANÁLISE À COMPRESSÃO						
5.3 Barras Prismáticas submetidas à força axial de Compressão - NBR 8800/2008 - pág. 43						
ESTUDO DA FLAMBAGEM LOCAL FLA + FLM						
Estudo da Flambagem Local da Alma:						
Perfil Laminado:						
$(b/t)_{lim}$:	35.87	35.90		-0.08%	depende de: E, fy.	
b/t:	34.80	35.70		-2.52%	depende de: H, **tw**.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
Q_a:	1.00	1.00		0.00%		
Estudo da Flambagem Local das Mesas:						
Perfil Laminado:						
$(b/t)_{lim}$:	13.48	13.50		-0.15%	depende de: E, fy.	
$(b/t)_{lim}$:	24.80					
b/t:	6.33	6.30		0.48%	depende de: b, **tf**.	
Q_s:	1.00	1.00		0.00%		
$Q = Q_a * Q_s$:	1.00	1.00		0.00%		
Q:	1.00	1.00		0.00%		
ESTUDO DA FLAMBAGEM GLOBAL						
N_{ex}:	4023.41	3863.80	kN	4.13%	depende de: E,**Iy**, L.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
N_{ey}:	333.50	332.90	kN	0.18%	depende de: E,**Iz**, L.	
r_o:	13.93	13.89	cm	0.29%	depende de: **Ry**, **Rz**.	
N_{ez}:	1591.03	1665.90	kN	-4.49%	depende de: **ro**, E, **Cw**, Kz, L, G,**J**.	
N_e = menor valor (N_{ex};N_{ey};N_{ez}):	333.50	332.90	kN	0.18%	depende de: Nex, **Ney**, Nez.	
c:	0.12	0.13		-5.77%	depende de: **l0**.	
l_0:	2.68	2.63		1.90%	depende de:Q, **A**, fy, Ne.	
RESISTÊNCIA DE CÁLCULO						
$N_{c,Rd}$:	265.89	273.20	kN	-2.68%	depende de: **c**, Q, **A**, Fy, γa1.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ MÁXIMA A COMPRESSÃO						
Ver - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez - NBR 8800/2008 - pág. 46						
l_x:	58.27	58.50		-0.39%	depende de: K, L, **ry**.	<= 200 OK - PERFIL CORRETO
l_y:	202.38	199.50		1.44%	depende de: K, L, **rz**.	> 200, O PERFIL FALHA! A

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

						CONDIÇÃO NÃO FOI SATISFEITA, O principal erro vem das diferença das propriedades geométricas da peça.
ANÁLISE À FLEXÃO						
5.4 Barras Prismáticas submetidas ao momento fletor e força cortante - NBR 8800/2008 - pág. 46						
VERIFICAÇÃO DO ESFORÇO CORTANTE						
Resistência ao cisalhamento na maior inércia:						
Perfil Laminado:						
l:	34.80	35.70		-2.52%	depende de: hw, **tw**, **tf**.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
l_p:	59.21	59.20		0.02%	depende de:E,fy.	
l_r:	73.75					
A_w:	24.23	24.10	cm²	0.54%	depende de: **H**, **tw**.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
V_{pl}:	501.64	498.90	kN	0.55%	depende de: **Aw**,fy.	
V_{Rd}:	456.04	453.50	kN	0.56%	depende de:**Vpl**, γ_{a1}	
Resistência ao cisalhamento na menor inércia:						
l:	6.33	6.30		0.48%	depende de: b, **tf**.	
l_p:	29.01	29.00		0.03%	depende de: kv,E,fy.	
l_r:	36.13					
A_w:	44.09	44.10	cm²	-0.02%	depende de: **B**, **tf.**	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
V_{pl}:	912.71	912.90	kN	-0.02%	depende de: **Aw**, fy	
V_{Rd}:	829.73	829.90	kN	-0.02%	depende de: **Vpl**, γ_{a1}	
RESISTÊNCIA DE CÁLCULO NO MOMENTO FLETOR						
Resistência à flexão no eixo de maior inércia :						
FLT :						
L_b:	7.80	7.80	m	0.00%		
r_y:	3.90	3.91	cm	-0.26%		
b_1:	0.03	0.03		0.00%	depende de: fy, **Wx**, E, **J**.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
l:	202.37	199.50		1.44%	depende de: Lb,**ry.**	
l_p:	42.37	42.40		-0.07%	depende de: E, fy.	
l_r:	128.07	130.80		-2.09%	depende de: **Iz**,**J**,**Rz**,b_1, **Cw**.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
C_b:	1.92	1.92		0.00%		
M_{pl}:	287.72	290.66	kN-m	-1.01%	depende de:**Zx**, fy.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
M_{cr}:	194.89	198.65	kN-m	-1.89%	depende de: Cb, E, **Iz**, **Cw**, **Mpl**, γ_{a1}.	
M_{Rd}:	177.17	180.59	kN-m	-1.89%	depende de: γ_{a1}, **Mcr**.	
FLM :						

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

l:	6.33	6.30		0.48%	depende de: b,**tf**.	
l_p:	9.15	9.10		0.55%	depende de: E,fy	
l_r:	23.88					
M_{pl}:	287.72	290.66	kN-m	-1.01%	depende de:**Zx**, fy.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
M_{Rd}:	261.56	264.24	kN-m	-1.01%	depende de:**Mpl**, ɣa1.	
FLA :						
l:	34.80	35.70		-2.52%	depende de: **h**,**tw**,**tf**.	
l_p:	90.53	90.50		0.03%	depende de: E, fy	
l_r:	137.23					
M_{pl}:	287.72	290.66	kN-m	-1.01%	depende de: **Zx**, fy.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
M_{Rd}:	261.56	264.23	kN-m	-1.01%	depende de:**Mpl**, ɣa1.	
DEFINIÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DA SEÇÃO :						
$M_{x,Rd}$ = menor valor (($M_{rDx,\ FLT}$; $M_{rDx,\ FLM}$; $M_{rDx,\ FLA}$))						
$M_{x,Rd}$:	177.17	180.59	kN-m	-1.89%	depende de: menor valor, **MRdx,FLT**; MRDX,FLM; M Rd,FLA	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
VERIFICAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DA SEÇÃO :						
Conforme indica o item 5.4.2.2 da NBR 8800/2008, para garantir a validade da análise elástica, o M_{Rd} deve ser tomado menor ou igual a 1.5 Wf_y/g_{a1}, onde W corresponde ao módulo de resistência elástico mínimo da seção em relação ao eixo de flexão considerado. Portanto:						
$M_{x,Rd}$:	177.17	180.59	kN-m	-1.89%	depende de: menor valor **MRdx,FLT**; MRDX,FLM; M Rd,FLA	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
$M_{x,Rd}$ = 1.5 Wf_y/g_{a1} :	366.96	353.50	kN-m	3.81%	depende de: **Wx**,fy, ga1	
$M_{x,Rd}$:	177.17	180.59	kN-m	-1.89%	depende de: menor valor MRdx,FLT; MRDX,FLM; M Rd,FLA	
Resistência à flexão no eixo de menor inércia :						
FLM :						
l:	6.33	6.30		0.48%	depende de: b,**tf**.	
l_p:	9.15	9.15		0.00%		
l_r:	23.88					
M_{pl}:	64.97	65.13	kN-m	-0.25%	depende de: **Zy**, fy.	
M_{Rd}:	59.06	59.21	kN-m	-0.25%	depende de: **Zy**, fy,ga1.	
FLA :						
Conforme explica a nota 3 da Tabela G.1, o estado-limite de FLA só se aplica à alma de seções U, quando comprimidas pelo momento fletor. Portanto, para o elemento em questão sua verificação é dispensada.						
DEFINIÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DA SEÇÃO :						
$M_{y,Rd}$ = menor valor (($M_{rDy,\ FLM}$; $M_{rDy,\ FLA}$))						
$M_{y,Rd}$:	59.06	59.21	kN-m	-0.25%	depende de: **Zy**, fy,ga1.	

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

VERIFICAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DA SEÇÃO :						
Conforme indica o item 5.4.2.2 da NBR 8800/2008, para garantir a validade da análise elástica, o M_{Rd} deve ser tomado menor ou igual a 1.5 Wf_z/g_{a1}, onde W corresponde ao módulo de resistência elástico mínimo da seção em relação ao eixo de flexão considerado. Portanto:						
$M_{y,Rd}$:	59.06	59.21	kN-m	-0.25%	depende de: **Zy**, fy,ga1.	O principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça.
$M_{y,Rd}$ = 1.5 Wf_z/g_{a1} :	57.92	57.81	kN-m	0.19%	depende de: **Wy**, fy, ga1	
$M_{x,Rd}$:	57.92	57.81		0.19%	depende de: **Wy** ,fy, ga1	
ANÁLISE À FLEXO-COMPRESSÃO						
5.5 Barras Prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes - NBR 8800/2008 - pág. 535 5.1 Barras submetidas aos momentos fletores, força axial e forças cortantes - NBR 8800/2008 - pág. 53						
Barras submetidas aos momentos fletores, força axial de compressão						
$N_{c,Sd}$:	24.30	24.30	kN	0.00%		
$N_{c,Rd}$:	265.89	273.20	kN	-2.68%		
$M_{x,Sd}$:	53.70	53.70	kN-m	0.00%		
$M_{x,Rd}$:	177.17	180.59	kN-m	-1.89%		
$M_{y,Sd}$:	24.90	24.90	kN-m	0.00%		
$M_{y,Rd}$:	57.92	57.81	kN-m	0.19%		
(NSD / (2 * NRD)) + (($M_{x,Sd}$ / $M_{x,Rd}$) + ($M_{y,Sd}$ / $M_{y,Rd}$))):	0.73	0.77		-4.88%		<= 1 OK - PERFIL CORRETO

Realizada detalhadamente a análise de todo o processo de cálculo do exemplo, pode se visualizar que o principal erro vem da diferença das propriedades geométricas da peça, e dizer, que as propriedades dos perfis da base de dados do programa são ligeiramente diferentes que as propriedades usadas no exemplo. Isto pode ocorrer, porque as unidades de comprimento internas do programa *Revit® Structure*, são imperiais, ou seja, baseadas em polegadas e pés. Então, quando o programa faz uma mudança de qualquer destas unidades para o sistema métrico, o mesmo já tem um erro de decimais, o que pode afetar a todas as medidas derivadas das unidades de comprimento.

Uma solução a futuro para isto, seria fazer uma base de dados com as características próprias dos perfis de venda no Brasil, para assim obter estes elementos com as características próprias dos perfis do mercado nacional.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

5 Conclusões

5.1. Resumo e Conclusões

Neste trabalho desenvolveu-se uma ferramenta computacional de pós-processamento de modelos estruturais para verificação de sua adequação à Norma NBR8800:2008 dentro de um ambiente *BIM*. A ferramenta foi desenvolvida só para perfis do tipo I duplamente simétrico, mas por ser um código computacional aberto, ele pode ser modificado e extendido para outras configurações.

A ferramenta foi avaliada através da comparação de resultados com os obtidos em um exemplo extraído do livro de Chamberlain et al. (2013). Deve-se ressaltar que os valores obtidos pela ferramenta diferiram um pouco dos relatados no livro porque a base de dados interna do *Revit® Structure* é baseada em unidades de comprimento do Sistema Imperial (polegadas e pés). Quando se faz qualquer mudança de unidades para o Sistema Métrico isso produz um pequeno erro que afeta todas as medidas derivadas das unidades de comprimento, como por exemplo os parâmetros das características dos membros. Isso pode ser solucionado com a criação de uma base de dados para os perfis de empresas brasileiras no Revit Structure.

A revisão bibliográfica revelou que ferramentas de aplicação de API's são usados em várias áreas, como na arquitetura, acústica, sustentabilidade, operação, manutenção, design, controle e planejamento, etc. No entanto, não foi encontrada nenhuma ferramenta deste tipo aplicada à análise estrutural e verificação de projetos estruturais. Também não foi encontrada nenhum relato de aplicação do Plug-in *Structural Analysis* Toolkit 2014 dentro do mesmo ambiente do *Autodesk® Revit®.* Pode-se concluir, portanto, que o plug-in desenvolvido neste trabalho é o primeiro deste tipo.

É importante observar que as novas versões do programa *Revit® Structure* são compatíveis com a programação desenvolvida neste aplicativo. Portanto, isso permitirá a sua constante atualização.

Considerando que o ciclo de vida de uma edificação proposto pelo *New Zeland BIM HandBook* (2014) e composto por a seguintes fases: 1) Pré-concepção, 2) Concepção, 3) Construção, 4) Operação e 5) Renovação, a a

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

ferramenta aqui desenvolvida poderia ser aplicada no ciclo de vida de uma edificação, da seguinte forma:

- Nas fases de Pré-concepção e Concepção do empreendimento: visto que, a ferramenta poderia diminuir os tempos nas tarefas de execução de análises, cálculo das estruturas, dimensionamento e otimização. No caso de profissionais da área de arquitetura, permitiria dimensionar peças de aço durante o desenvolvimento do projeto arquitetônico como uma forma de pré-dimensionamento. Já o engenheiro estrutural além de usar a ferramenta para verificar o projeto estrutural, ele poderia usá-la para otimizar a estrutura, uma vez que poderia realizar vários tipos de análise. Isso só é possível porque a ferramenta está ligada a um sofisticado software de análise estrutural (*Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional 2014*).
- Para todas as fases, a ferramenta ajuda no desenvolvimento da documentação, uma vez que ela é capaz de produzir um relatório com a documentação de todos os passos do dimensionamento da estrutura.
- Nas fases de Construção, Operação e Renovação: a ferramenta permitiria realizar com segurança uma modificação na estrutura, já que simplificaria a sua verificação de acordo com a Norma.

Através do desenvolvimento de uma aplicação prática utilizando o código de verificação da Norma NBR8800V1, observou-se o seguinte:

- A ferramenta possui uma aparência consistente e amigável no decorrer da experiência de verificação da Norma.
- A ferramenta tem comportamento consistente alinhado com os produtos do Revit.
- A realização de um cálculo estrutural através da ligação com as ferramentas de análise de estruturas como o *Robot™ Structural Analysis Professional* ou serviço de *Structural Analysis* na nuvem é efetiva, porém um pouco lenta.
- A ferramenta possui uma ampla documentação de ajuda.
- Os relatórios finais para qualquer tipo de projeto auxiliam na documentação do projeto estrutural.
- É possível realizar vários tipos de análises para um mesmo modelo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- Pode-se realizar a análise sem ter que importar todas as combinações de carga.

5.2. Sugestão para Trabalhos Futuros

O ferramenta desenvolvida neste trabalho pode ser extendida e modificada para ser ainda mais abrangente. A seguir apresentam-se sugestões de trabalho para a continuidade do trabalho exposto:

- Implementar o código de programação para outros perfis e com diferentes geometrias.
- Complementar o trabalho realizado neste estudo para incluir um módulo de optimização de perfis.
- Automatizar o dimensionamento das ligações soldadas de aço;
- Automatizar o dimensionamento das ligações parafusadas de aço;
- Analisar de forma mais detalhada os perfis assimétricos, considerando os modelos mais complexos definidos na Norma;
- Implementar as diretrizes da norma para estruturas mistas (aço – concreto);
- Criar uma base de dados dos perfis das empresas brasileiras de aço, e assim trabalhar com perfis com propriedades próprias da região.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

6 Referências bibliográficas

AKSAMIJA, A.; GUTTMAN, M.; RANGARAJAN, H.; MEADOR, T. **Parametric Control of BIM Elements for Sustainable Design in Revit: Linking Design and Analytical Software Applications through Customization.** Perkins+Will Research Journal, Massachusetts, Vol. 3 Iss. 1 (2011). Disponível em: <https://works.bepress.com/ajla_aksamija/15/> Acesso em: 28 Abr. 2016.

ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** Pereira, XV. Maceió. Anais. Maceió: 2954, V1, 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_591.pdf> Acesso em: 21 Jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA NORMAS TÉCNICAS**. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** Rio de Janeiro, 2008.

AUTODESK INC. **Autodesk App Store. Autodesk**, [S.l.], 2011 - 2014. *Structural Analysis* Toolkit 2014, Item Detail. Disponível em: <https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=appstore.exchange.autodesk.com%3Astructuralanalysisandcodecheckingtoolkit2014%3Aen> Acesso em: 19 Nov. 2012.

____. **Help Document**. Disponível em: <https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/HelpDoc?appId=4697966004824722045&appLang=en&os=Win32_64> Acesso em: 01 Jan. 2015.

AUTODESK INC. **Autodesk Developer Network. Autodesk**, [S.l.], 2012. Disponível em: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=2484975> Acesso em: 23 Nov. 2013.

AUTODESK INC. **Autodesk University**. Desenvolvido pela Autodesk,. [S.l.], 2014. Disponíveis em:
<http://auworkshop.autodesk.com/au-workshop> Acesso em: 15 ago. 2015.
<http://auworkshop.autodesk.com/bim-curriculum-downloads> Acesso em: 15 Ago. 2015.

AUTODESK INC. **Metric Getting Started Guide. Robot *Structural Analysis* 2011**. [S.l.]: Autodesk, 2010.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

AUTODESK INC. **Revit Structure 2011. User's Guide**. [S.l.]: Autodesk, 2010.

AUTODESK INC. ***Structural Analysis* Toolkit 2014**. 3. Ed. [S.l.], Autodesk Dls-Simulation Team. Autodesk Inc., 2014. Disponível em: <file:///C:/ProgramData/Autodesk/ApplicationPlugins/Structural%20Toolkit%20for%20Revit%202014.bundle/Contents/Resources/Help.htm> Acesso em: 06 Mai. 2013.

AUTODESK INC. **User Manual for Code Checking Framework SDK**. [S.l.]: Autodesk 2013.

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em aço**. 2.ed. São Paulo: PINI Ltda., 1998.

BELLEI, I. H. PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2.ed. São Paulo: PINI Ltda., 2008.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL, **A neutral, international and unique non for profit organization supporting open BIM through the life cycle**. 2008-2013. Disponível em: <http://www.buildingsmart.org> Acesso em: 26 Out. 2014.

CESEC – Centro de Estudos de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná. 2007. P.1 Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-44.pdf> Acesso em: 20 Nov. 2014.

CHENG, J.; MA, L. **A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning.** Waste Management. International Journal of Integrated Waste Management, Science and Technology. Vol. 33, Issue 6, 2013. Pages 1539-1551. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13000068> Acesso em: 15 Set. 2016.

D'ALAMBERT, F. C., **Memória de cálculo X estruturas metálicas. Memória de cálculo (Entidades e calculistas questionam entrega do memorial junto com os projetos estruturais)**. Revista Téchne, 159. Ed. São Paulo, jun. 2010. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/159/artigo286711-2.aspx> Acesso em: 30 Mar. 2014.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2nd ed. United States of America: Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

FERREIRA, S. L. **Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): contribuição das ferramentas ao processo de projeto e produção e vice-versa**. In: Workshop Brasileiro de gestão do processo de projetos na construção de edifícios. 7. Curitiba. Anais eletrônicos. Curitiba,

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

LOURENÇO, P. B. et al.; **Sobre o Cálculo Automático no Projeto de Estruturas de Betão Armado**, Encontro Nacional de Mecânica Computacional, 5. Braga, Portugal: Universidade do Minho, 1997.

MEADATI, P.; IRIZARY, J.; AKHNOUKH, **A. BIM and RFID Integration: A Pilot Study.** In: Second International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–II) "Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice", 2010, Cairo, Egypt. Proceedings of the II International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–II). Amman: School of Engineering, University of Jordan, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Pavan_Meadati/publication/228962800_BIM_and_RFID_Integration_A_Pilot_Study/links/09e41508aba2e9698a000000.pdf > Acesso em: 29 Abr. 2016.

MERINO, M. **¿Qué es una API y para qué sirve?**. TICBeat, España, Jul. 2014. Seção Tecnología. Disponível em: <http://www.ticbeat.com/tecnologias/que-es-una-api-para-que-sirve/> Acesso em: 14 Set. 2016.

MIDIAS. **O que é Tecnologia BIM e seus Benefícios. PMKB - Project Management Knowledge Base**, Minas Gerais, Set. 2013. Seção de Artigos. Disponível em: <http://pmkb.com.br/artigo/o-que-e-tecnologia-bim-e-seus-beneficios/> Acesso em: 25 Fev. 2014.

MICROSOFT®: 2016. **MICROSOFT DEVELOPER NETWORK**. Documentação útil para a Rede de Desenvolvedores da Microsoft. C#. Disponível em: <https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/kx37x362.aspx> Acesso em: 01 Jul. 2015.

____.**Introdução ao Visual Studio**. Disponível em: <https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/fx6bk1f4(v=vs.100).aspx> Acesso em: 01 Jul. 2015.

____.**Visual Studio**. Disponível em: <https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/52f3sw5c(v=vs.100).aspx> Acesso em: 01 Jul. 2015.

NEVADA CENTRAL MEDIA; **CIVILFX,** Disponível em: <http://www.civilfx.com/2014/06/21/bim-3d-visualization/o> Acesso em: 07 Mar. 2016.

OLOFSSON, T.; JENSEN, P.; RÖNNEBLAD, A. **Configuration and design automation of industrialized building systems. In: 27th International Conference**, 2010, Cairo. Proceedings of the CIB W78 2010. Cairo. 2010. Disponível em: < http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB21857.pdf > Acesso em: 29 Abr. 2016.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

PARTNERSHIP et al., **The Building and Construction Productivity,** BIM Handbook, The New Zeland. 1. ed. [S.I.: s.n.], 2014.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço, Dimensionamento Prático**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Ltda., 2009.

ROCHA A. P. AsBEA, **Tabela comparativa de softwares BIM para modelagem paramétrica**. PINIWEB, Grande São Paulo, dez. 2011. Seção Arquitetura. Disponível em: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/arquitetura/asbea-divulga-tabela-comparativa-de-softwares-bim-para-modelagem-parametrica-243722-1.aspx> Acesso em: 21 Dec. 2013.

SANTOS DE ANDRADE, L.; SILVA, N; DE LIMA, E; MONTEIRO, I. **Os Sistemas BIM e a Redução de Inexatidões e Tempo nas Obras Públicas Brasileiras.** CUMINCAD - Cumulative Index in Computer-Aided Architectural Design. Volume: SIGraDi XVII, 2013. Disponível em: <http://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/sigradi2013_95.content.pdf> Acesso em: 14 Set. 2016.

STOYANOV, M. **Análise Lumínica Virtual de Elementos Construídos por Meio de Programação: Exemplo de Aplicação em Software do Tipo BIM.** CUMINCAD - Cumulative Index in Computer-Aided Architectural Design. Volume: SIGraDi XIII, 2009. Disponível em: <http://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/sigradi2009_833.content.pdf> Acesso em: 14 Set. 2016.

WANG, J.; LI, J.; CHEN, X. **Parametric Design Based on Building Information Modeling for Sustainable Buildings**. IEEE ***Xplore***® Digital Library. Volume: 2 – (6-7 March 2010), 2010. Disponível em: < http://ieeexplore.ieee.org/document/5493269/> Acesso em: 14 Set. 2016.

WU, C.; CLAYTON, M. **Bim-Based Acoustic Simulation Framework. Digital library of construction informatics and information technology in civil engineering and construction.** Volume: w78-2013-paper-66, 2013. Disponível em: <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2013-paper-66.pdf> Acesso em: 01 Ago. 2016.

YAN, W.; LIU, G. **BIMGame: Integrating Building Information Modeling and Games to Enhance Sustainable Design and Education.** CUMINCAD - Cumulative Index in Computer-Aided Architectural Design. Volume: 25th eCAADe, 2007. Disponível em: <http://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/ecaade2007_188.content.pdf> Acesso em: 14 Set. 2016.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

ZIFF D., LLC. PCMag Digital Group, 1996 – 2016. **Enciclopédia dentro da versão digital da revista PCMag, revista especializa em informática.** PC Magazine. Disponível em: <http://www.pcmag.com/encyclopedia> Acesso em: 20 fev. 2016.

4M AS, **4M INTELIGENT BUILDING DESIGN**, 1986 - 2016. Disponível em: <http://www.4mbim.com/>Acesso em: 15 Ago. 2015.

7GRAUS. **Dicionário Online de Português**, 2009-2016. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/> Acesso em: 11 Set. 2016.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

7 Apêndices

Apêndice A: Exemplo de Aplicação da Ferramenta

Neste apêndice, se apresenta um projeto completo de análise, cálculo e verificação da Norma mediante o código NVR8800V1 desenvolvido. Este estudo é fomentado para apresentar e mostrar uma aplicação ao dia-a-dia de engenheiros ou projetistas, dentro do ambiente *BIM* e da Engenharia Civil.

Este caso de estudo adotado quer simular as fases do ciclo de vida de uma edificação antes apresentado, sendo seu principal objetivo é medir como a ferramenta NBR8800V1 pode ajudar dentro deste processo. Neste apêndice também se explica o uso passo a passo da execução do programa.

O projeto arquitetônico, apresentado a seguir foi tomado da página de *Autodesk University, BIM Curriculum - Unit 1, BIM Modeling Basis,* na web site:

http://auworkshop.autodesk.com/bim-curriculum-downloads

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

A.1. Projeto Arquitetônico

O presente projeto, usado como exemplo, se encontra definido arquitetonicamente no *Revit® Architecture 2014*, o mesmo que apresenta uma moradia de dois andares mais uma cobertura inacessível, com estrutura de aço em perfis do tipo W, sem definição. Na parte posterior, a estrutura está apoiada sobre um muro no nível do segundo pavimento, como é mostrado nas Figuras 123 e 124:

Figura 123. Projeto arquitetônico– vista 3D.

Figura 124. Projeto arquitetônico – vista frontal.

A.2. Projeto Estrutural

Com o modelo anteriormente apresentado, e feita a vinculação do projeto arquitetônico, com a plataforma do *Revit® Structure*. Consegue-se extrair um modelo e localizar as peças ou elementos que farão parte do desenho estrutural do projeto geral. Depois de uma análise da arquitetura do prédio, se faz um projeto estrutural (processo de lançamento da estrutura) com as seguintes plantas dimensionadas é as respectivas vistas frontal e lateral com os níveis correspondentes (Figuras 125 a 131):

- Pavimento 1:

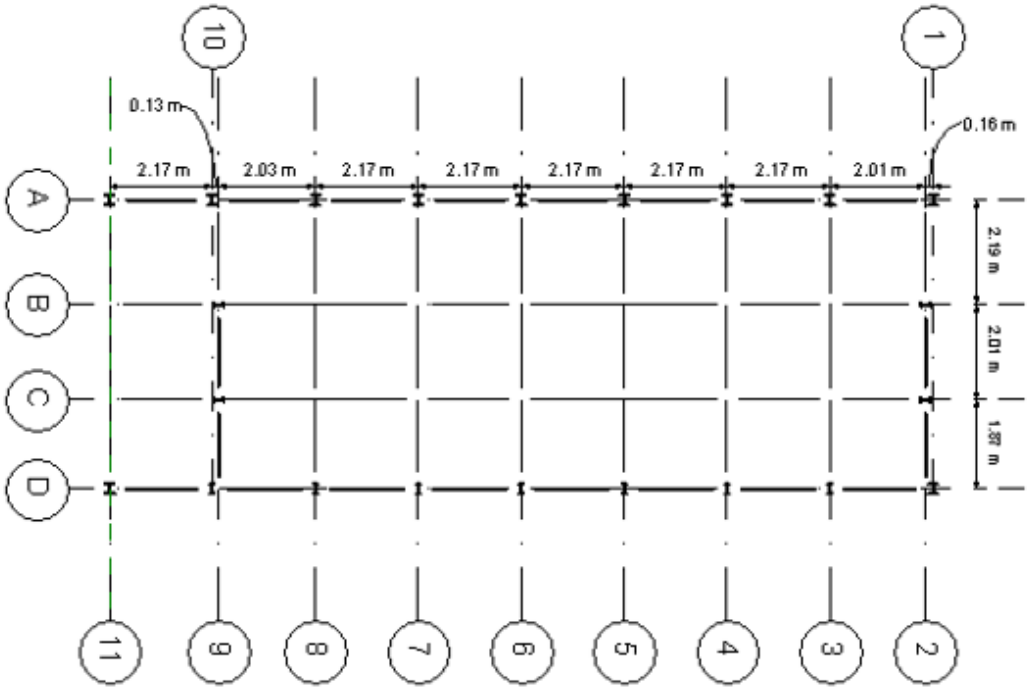


Figura 125. Planta do primeiro Pavimento.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- Pavimento 2:

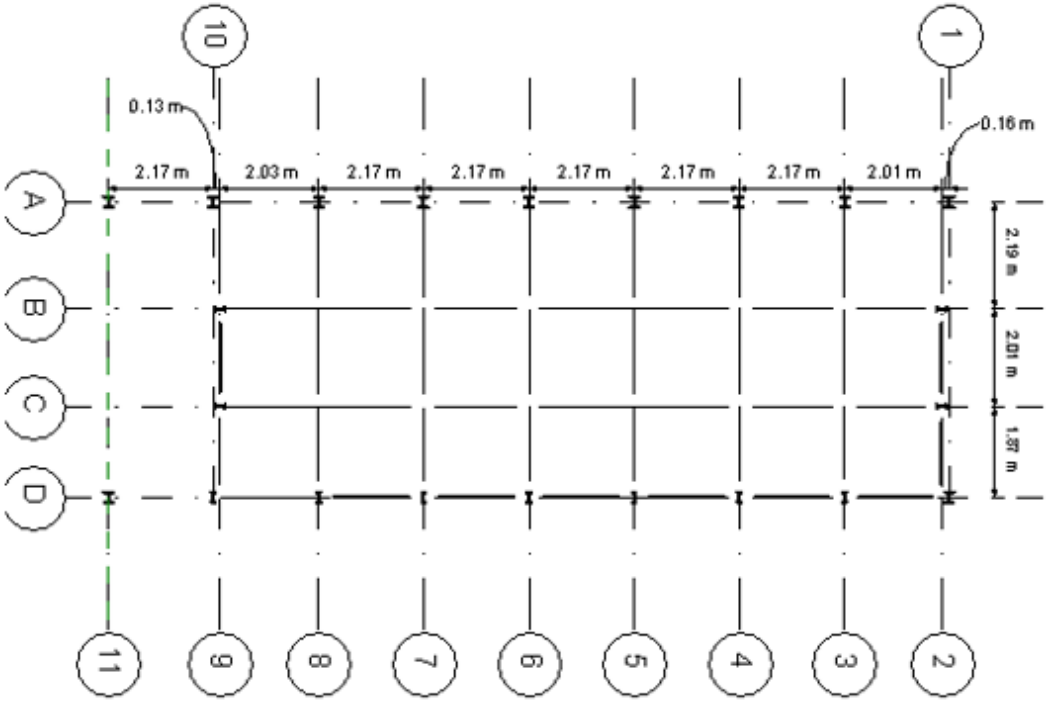


Figura 126. Planta do segundo Pavimento.

- Pavimento 3:

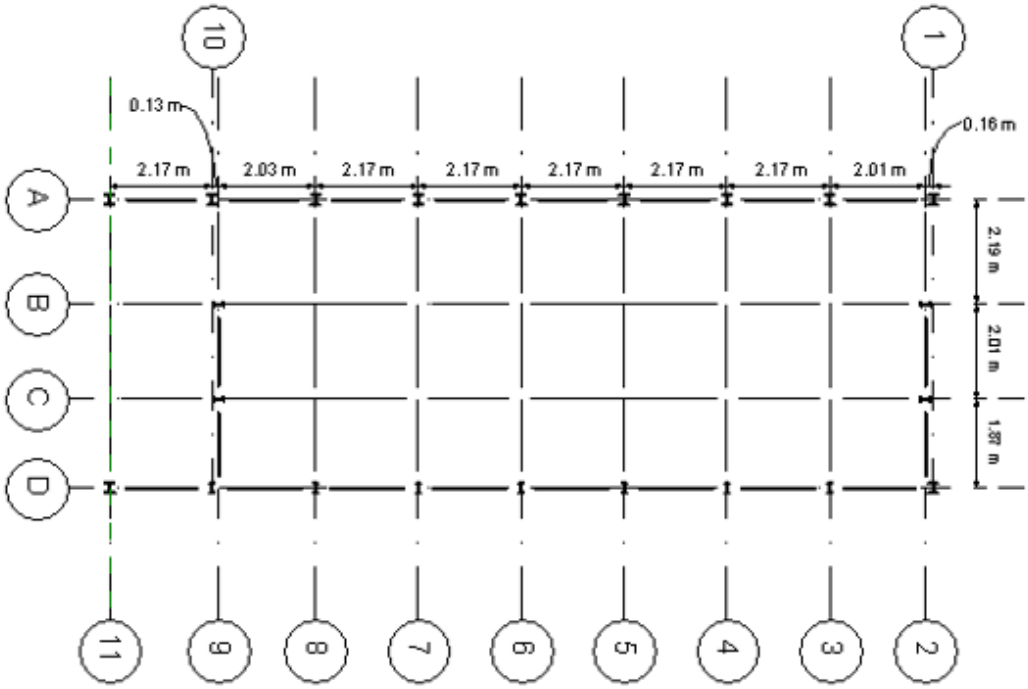


Figura 127. Cobertura.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- Vista Frontal:

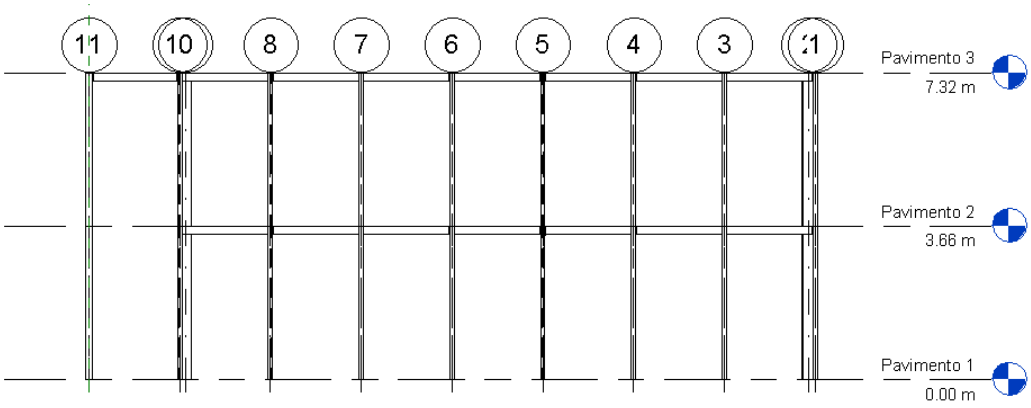


Figura 128. Vista Frontal.

- Vista Lateral:

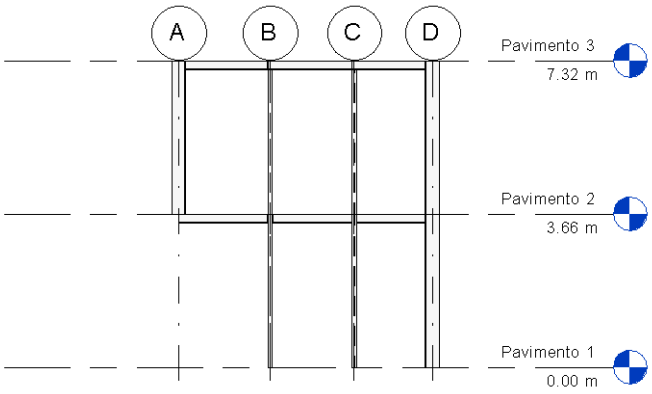


Figura 129. Vista lateral.

- Sobreposição da estrutura sob o projeto arquitetônico:

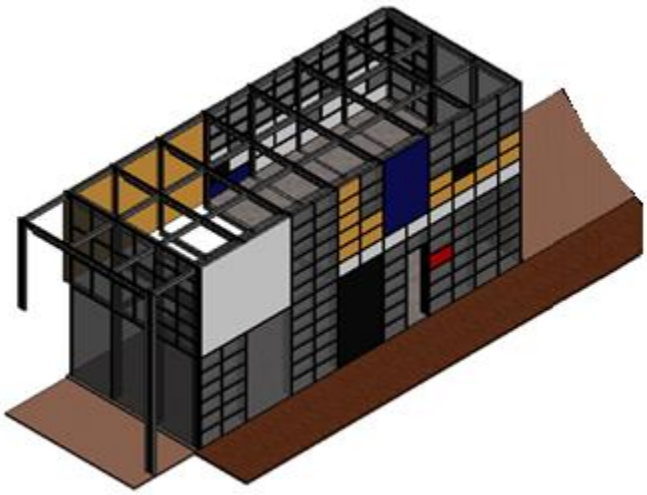


Figura 130. Sobreposição da estrutura sob o projeto arquitetônico.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

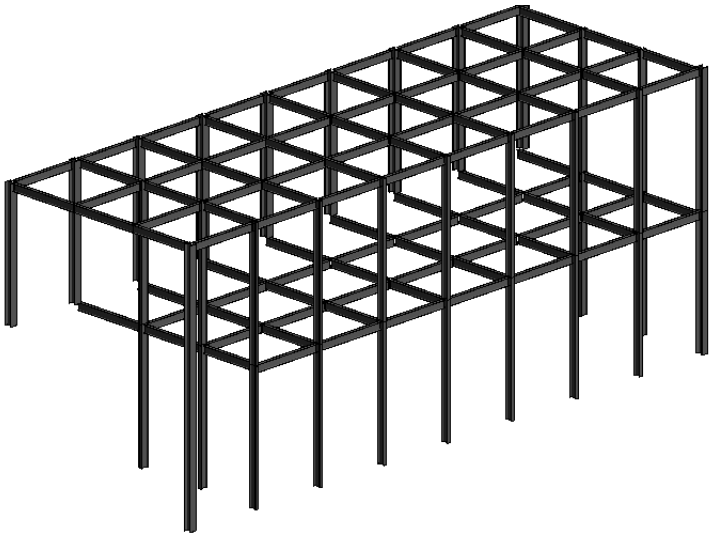


Figura 131. Perspectiva geral da estrutura.

Os perfis que constituem a estrutura foram definidos todos como W 200x15, para um início, e todas as condições de contorno como engastadas.

Depois de ter lançado já uma estrutura, o próximo passo no *Revit® Structure*, é a definição das propriedades mecânicas do aço para cada um dos elementos estruturais, como se mostra a abaixo (Figura 132):

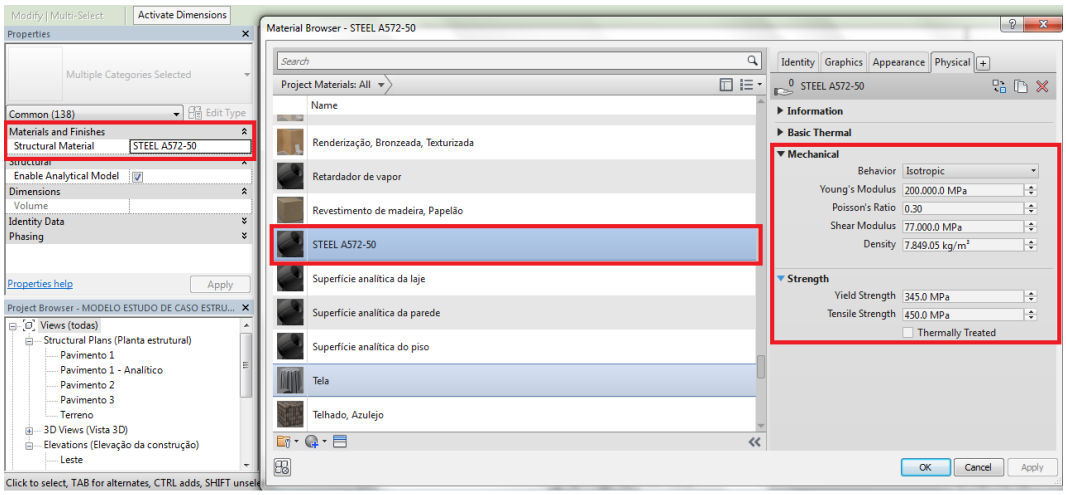


Figura 132. Definição das propriedades mecânicas no *Revit® Structure*.

Se adotarão as Propriedades Mecânicas gerais do aço mencionadas na norma, antes mencionadas; e as propriedades de um aço ASTM A572 Gr. 50 (f_y=345 MPa e f_u=450 MPa) as quais cumprem que a resistência ao escoamento máxima seja de 450 MPa e relação entre resistências à ruptura (f_u) e ao

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

escoamento (f_y), (f_u/f_y), não inferior a 1.18, os quais são dados fundamentais para a análise de qualquer estrutura.

A.3. Definição das Ações sobre a Estrutura

Para os devidos fins, foi feito o cálculo dos seguintes carregamentos aplicados como carga por unidade de área, para a estrutura (Figura 133):

AVALIAÇÃO DAS AÇÕES		
Nível:	Tipo de carregamento	
	Sobrecarga=	0.25 KN/m2
Cobertura:	Carga Permanente 1=	Peso próprio de cada perfil
	Carga Permanente 2=	3.00 KN/m2
	Sobrecarga=	2.00 KN/m2
2º Pavimento:	Carga Permanente 1=	Peso próprio de cada perfil
	Carga Permanente 2=	3.00 KN/m2
	Vento=	1.1 KN/m2
	Carga Nocional=	1/1000Kn da reação vertical, para assumir deformação inicial em cada pórtico.

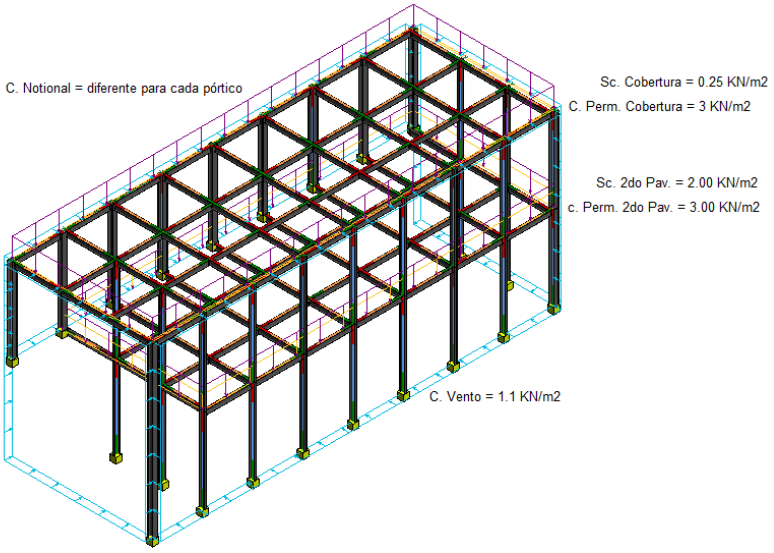


Figura 133. Definição das ações sobre a estrutura.

A.4. Combinações das Ações

As combinações de carga selecionadas e definidas no *Revit® Structure*, para este projeto são as mostradas na Figura 134:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

	Name	Formula	Type
		(all)	(all)
1	COMB1	1.3*DL1 + 1.4*Perm2 + 1.4*SC + 1*Fn S-N	Combinati
2	COMB1	1.3*DL1 + 1.4*Perm2 + 1.4*SC + 1*Fn N-S	Combinati
3	COMB1	1.3*DL1 + 1.4*Perm2 + 1.4*SC + 1*Fn L-O	Combinati
4	COMB1	1.3*DL1 + 1.4*Perm2 + 1.4*SC + 1*Fn O-L	Combinati
5	COMB2	1*DL1 + 1*Perm2 + 1.4*Vento S-N	Combinati
6	COMB2	1*DL1 + 1*Perm2 + 1.4*Vento N-S	Combinati
7	COMB2	1*DL1 + 1*Perm2 + 1.4*Vento L-O	Combinati
8	COMB2	1*DL1 + 1*Perm2 + 1.4*Vento O-L	Combinati
9	COMB1	1*DL1 + 1*Perm2 + 0.7*SC	Combinati
10	COMB2	1*DL1 + 1*Perm2 + 1*Vento S-N + 0.7*SC	Combinati
11	COMB2	1*DL1 + 1*Perm2 + 1*Vento N-S + 0.7*SC	Combinati
12	COMB2	1*DL1 + 1*Perm2 + 1*Vento L-O + 0.7*SC	Combinati
13	COMB2	1*DL1 + 1*Perm2 + 1*Vento O-L + 0.7*SC	Combinati

Figura 134. Combinações de Carregamento.

Que correspondem as combinações de carga indicadas na Figura 135:

COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTOS

- **Combinações de Estados Limites Últimos**

COMB1 (ELU) = (1,30. PERM1+ 1,40. PERM2) + 1,40.SC + Fn

COMB2 (ELU) = (1,00. PERM1+ 1,00. PERM2) + 1,40.W

- **Combinações de Estados Limites de Serviços**

COMB1 (ELS) = (1,00. PERM1+ 1,00. PERM2) + 0,70.SC

COMB2 (ELS) = (1,00.PERM1+ 1,00.PERM2) + 1,0.VENTO1+ 0,70. SC

Figura 135. Combinações de Carregamento.

A.5. Análise Estrutural

A.5.1. Via Integração com o *Robot™ Structural Analysis Professional*

Mediante o ícone do *Robot Structural Analysis* (*Structural Analysis*), se faz a ligação direta com o software de Análise de Estruturas *Robot*™, dentro do qual, o usuário pode fazer as modificações necessárias e as análises de diferentes tipos proporcionados pelo programa, da seguinte forma:

Uso:

1. Com o modelo aberto no *Revit® Structure* e feitas as definições de carregamento e combinações de carga, que inclui um modelo analítico, clicar em:

(barra *Analyze>>* painel *Structural Analysis>>Robot Structural Analysis >> Robot Structural Analysis link)* (Figura 136).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

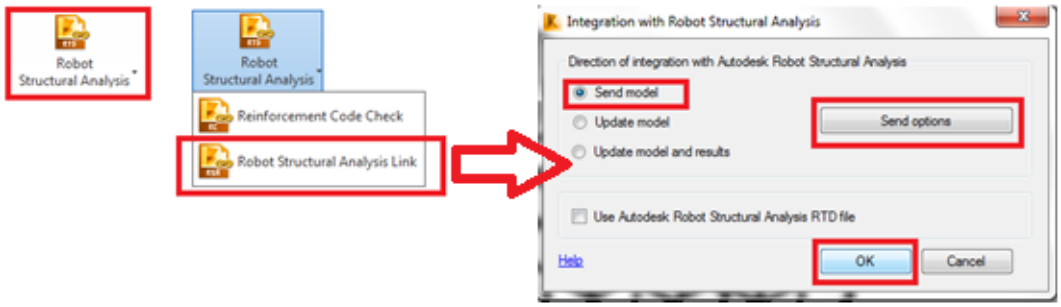


Figura 136. Integração do modelo no *Revit® Structure* com o *Robot™ Structural Analysis Professional*.

2. Tem de selecionar "*Send model*" na janela *"Integration with Robot ™ Structural Analysis",* configurar as opções de transferência em "*Send Options*" e clicar em "*OK*". O *link* irá transferir o modelo para *Robot™ Structural Analysis*

3. No *Robot™*, pode se realizar todas as análises e mudanças permitidas pelo programa. É importante revisar que as definições do material sejam as mesmas (Figura 137).

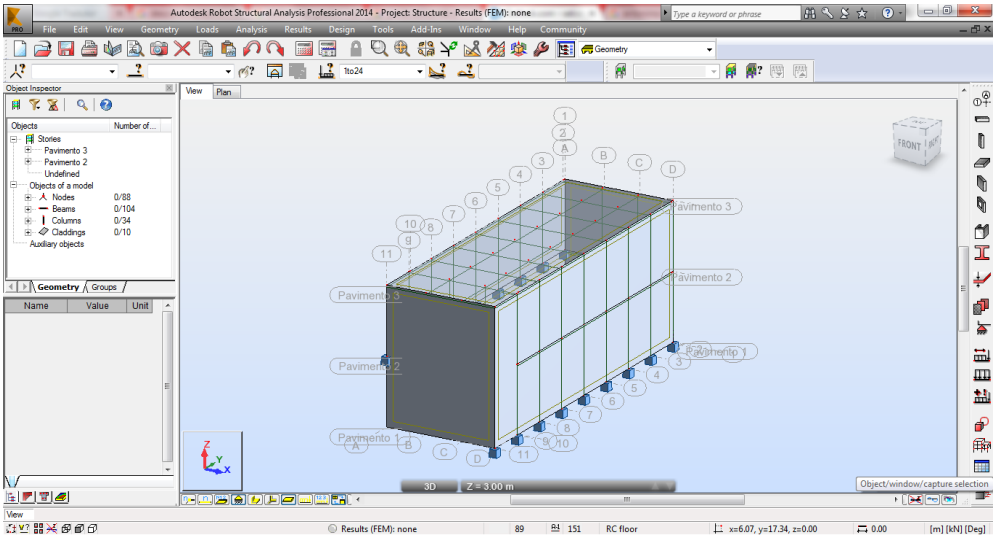


Figura 137. Interface de usuário do *Robot™ Structural Analysis Professional.*

4. Quando terminar de analisar e aperfeiçoar o projeto dentro do *Robot™*, se deve retornar para o *Revit® Structure* e configurar as opções de transferência sob a seleção "*Update model and results*":

(barra *Analyze>>* painel *Structural Analysis>>Robot Structural Analysis link)* novamente para atualizar o modelo e clicar em "*OK*". O *link* irá transferir o modelo de volta para o *Revit® Structure* (Figura 138).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

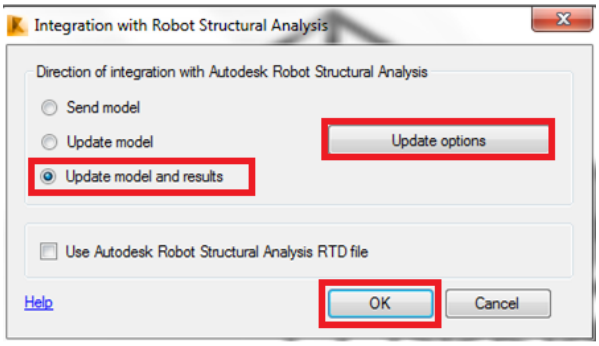


Figura 138. Integração do modelo do *Robot™ Structural Analysis Professional* com o *Revit® Structure*.

Agora, o modelo de *Revit® Structure* já tem os resultados de forças, momentos, reações e deslocamentos atuantes na estrutura, para a geometria, materiais, carregamentos e combinações antes estabelecidas.

A.5.2. Via *Autodesk® 360º Structural Analysis for Autodesk® Revit®* (nuvem).

Se for necessária realizar a análise na nuvem *Analyze in cloud*, é também necessário repetir que esta análise proporcionada é só uma análise estrutural do tipo estática para edifícios, e não permite a modificação da estrutura.

Uso:

Para usar análise estrutural via *Autodesk® 360º Structural Analysis for Autodesk® Revit®* (nuvem), é necessário fazer o ingresso em uma conta Autodesk 360°.

1. Com o modelo aberto no Revit® Structure e feitas já as definições de carregamento e combinações de carga (que inclui um modelo analítico), clicar em (Figura 139):

(barra *Analyze*>> painel *Structural Analysis*>>*Analyze in Cloud*).

Figura 139. Ícone *Analyze in Cloud* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*.

2. Na caixa de diálogo *Analyze in Cloud* deve-se especificar os valores desejados para o modelo, o nome da Análise e o nome do Relatório. Levar em conta que cada análise para um modelo dado, precisa ter um nome diferente.

3. Para o modelo de relatório, selecione:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

- *Status Only*, para obter a informação curta, a qual indica que a análise foi concluída ou falhou.
- *Simple Report*, para visualizar os resultados da análise, incluindo mapas e diagramas.

4. Para o *Analysis profile*, selecione *Draft*, *Normal* ou *Fine* (Rascunho, Normal ou Fino). Esta opção escolhida impacta diretamente na precisão dos cálculos. Ela afeta apenas os modelos que incluem paredes analíticas, pisos e lajes de fundação (análise de elementos finitos).

5. Nas opções do *Self-weight*, especifique, se deseja adicionar automaticamente o peso próprio do modelo analítico para os casos de carga existente ou não.

6. Selecione "*Add to existing load case* ", e em seguida, o caso de carga em que o peso próprio da estrutura será gerada. Escolha *Ignore*, se não quiser gerar um peso próprio (porque está calculado como permanente) sobre o caso de carga desejado. Se não houver cargas definidas, logo a opção *Ignore* é desativada e o peso próprio é gerado no caso de carga existente.

7. Clique em *Start Analysis.*

8. Terminada a mesma, retorne para o *Revit® Structure* e configure as opções de transferência sob a seleção "*Update model and results*":

(barra *Analyze>>* painel *Structural Analysis>>Robot Structural Analysis link)* novamente para atualizar o modelo e clique em "*OK*". O *link* irá transferir o modelo de volta para o *Revit® Structure* (Figura 140).

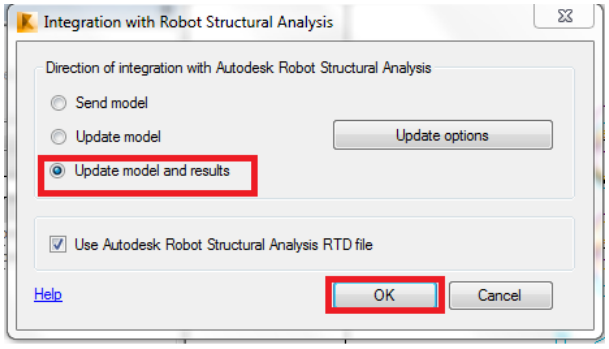


Figura 140. Integração do modelo do Via *Autodesk® 360º Structural Analysis for Autodesk® Revit®* (nuvem) com o *Revit® Structure*.

Agora, o modelo de *Revit® Structure* já tem os resultados de forças, momentos, reações e deslocamentos atuantes na estrutura, para a geometria, materiais, carregamentos e combinações antes estabelecidas, para uma análise de primeira ordem.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

A.6. Ferramentas de Exploração e Armazenamento de Resultado da Análise Estrutural.

A.6.1. *Results Manager*

Este ícone permite baixar, remover ou verificar o status dos resultados que foram transferidos do modelo de volta para o *Revit® Structure* das análises estruturais do *Robot™ Structural Analysis Professional* ou da nuvem, ao modelo analítico do *Revit®* (Figura 141).

Figura 141. Ícone *Results Manager* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*.

Se o engenheiro estrutural fizer mais de uma análise da estrutura, todos os resultados são organizados aqui por data de análise, assim (Figura 142):

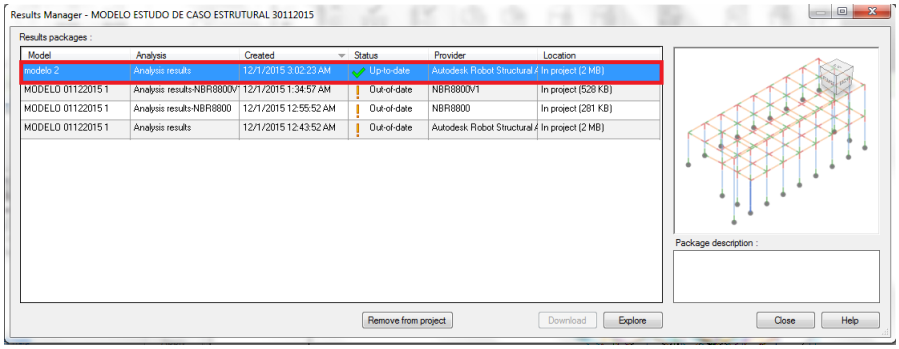


Figura 142. *Results Manager*.

A.6.2. *Result Explorer*

Este ícone permite exibir diagramas de forças, momentos, deslocamentos e deformações, assim como, mapas de tensões com base nos resultados da análise estrutural e de quaisquer outros resultados mencionados no *Result Manager;* sendo que o projetista pode verificar os resultados para cada um dos elementos (Figura 143).

Figura 143. Ícone *Results Explorer* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Analysis)* do *Revit® Structure*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Uso:

1. Clique em:

(barra *Analyze*>> painel *Structural Analysis*>>*Result Explorer*),

e uma janela de diálogo resultados se abrirá.

2. Na parte superior da caixa de diálogo Resultados, selecione o modelo, a análise realizada e as combinações de carga para a qual deseja exibir os resultados.

3. Na coluna *Results*, selecione o tipo de resultado que deseja exibir. Clique em “>” se quiser especificar as configurações de exibição (como o estilo, unidades e escala para o resultado selecionado).

A lista de *Style* exibe por *default* os estilos análise estrutural. Para selecionar ou modificar os mesmos, utilize o menu desdobrável.

A lista das unidades mostra como padrão as definidas para o projeto Revit. Se quiser outras unidades para mostrar a estas listas destas, selecione-as na caixa de diálogo Unidades do Projeto.

4. Selecione *Span direction (xx)*, se quiser visualizar o endereço no espaço para lajes.

5. Especifique, se quer o sistema global de coordenadas, para ser exibido.

6. Especifique se quer o sistema local de coordenadas, para ser exibido.

7. Clique em Aplicar (*Apply*) (Figura 144).

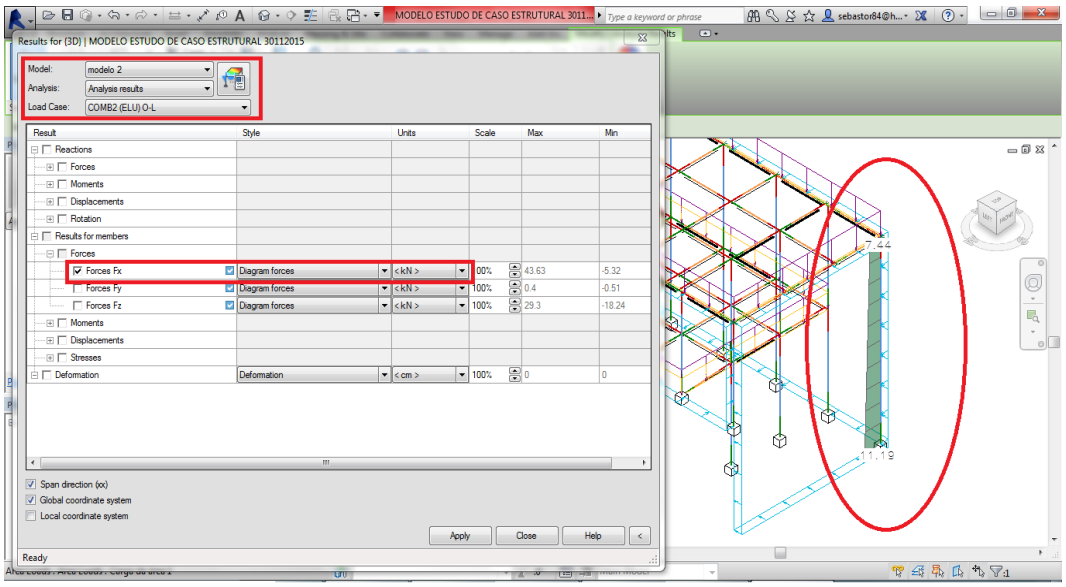


Figura 144. Exemplo de exploração dos resultados de forças Fx no modelo para a combinação de carga COM2 (ELU) O-L.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

A.7. Aplicação do NBR8800V1.

A.7.1. Definição de parâmetros de código – *CODE SETTINGS*.

Este ícone permite configurar a norma ou grupo de normas que deseja usar como referência para a análise, neste caso específico da Norma Brasileira NBR 8800:2008 (Figura 145).

Figura 145. Ícone *Code Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*.

A primeira definição que vai ser feita nesta janela é a configuração dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m. Estas podem ser para o estado-limite último (ELU) ou para o estado limite de serviço (ELS), dependendo da escolha feita, os valores de γ_{a1} eγ_{a2}, serão atribuídos para toda a análise do projeto.

A segunda definição será escolher para que tipo de análise será realizado no modelo, isto é: análise da tração, análise da compressão, análise da flexão ou uma análise da combinação de esforços solicitantes (Figura 146).

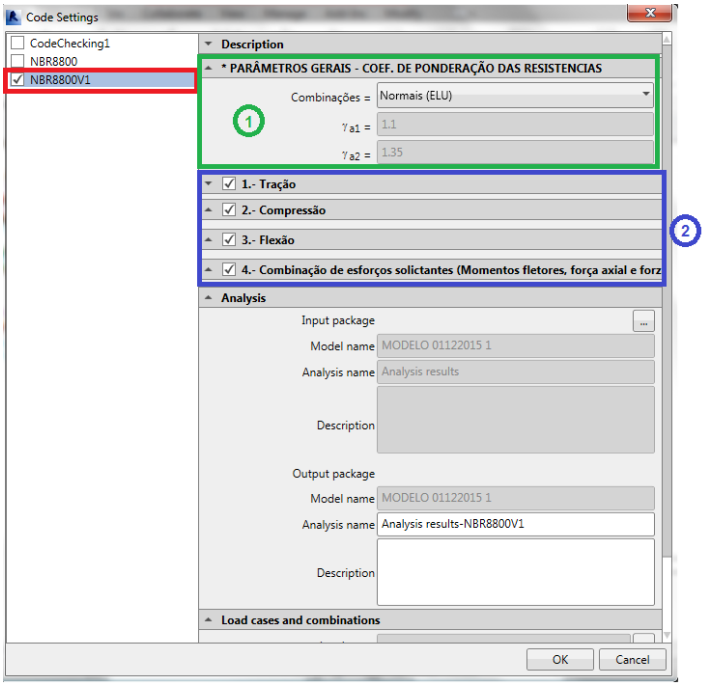


Figura 146. Janela *Code Settings,* definição dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m, e a definição dos tipos de análises a ser feitos no modelo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

A terceira definição a realizar nesta janela *Code Settings* é a definição de que resultados da análise que serão considerados para a verificação da norma NBR800V1e seus cálculos. Assim (Figuras 147 e 148):

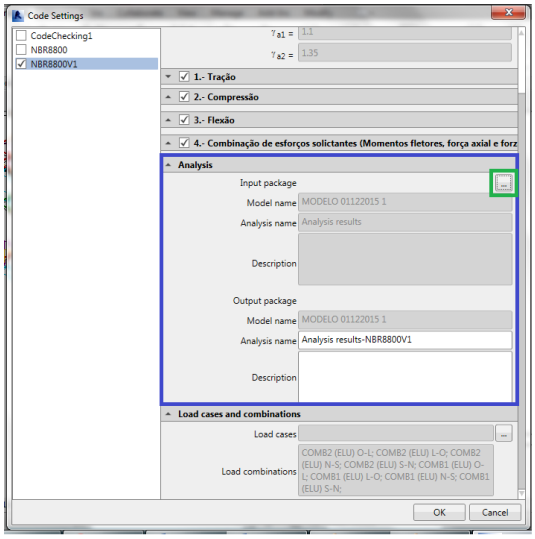


Figura 147. Janela *Code Settings*, definição dos resultados da análise que serão considerados para a verificação do da norma, com o código NBR800V1 e seus cálculos.

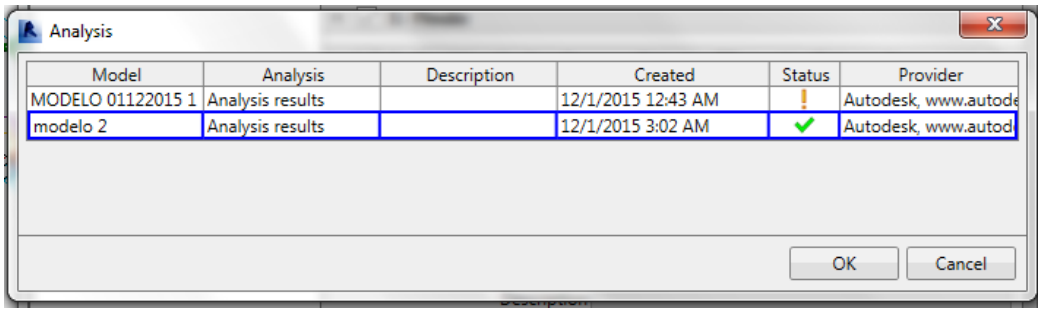


Figura 148. Janela *Analysis* definição dos resultados da análise que serão considerados para a verificação da norma, mediante o código NBR800V1 e seus cálculos.

E a quarta e última definição que será feita na janela *Code Setting* sé a definição das combinações de carga que serão consideradas nos cálculos da Norma NBR8800V1. Assim (Figuras 149 e 150):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

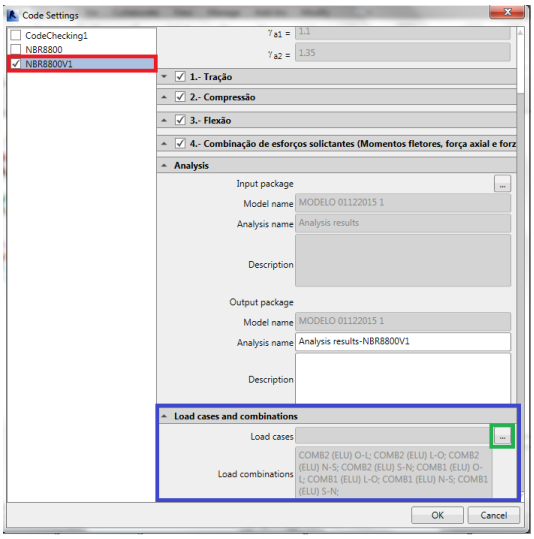


Figura 149. Janela *Code Settings*, definição das combinações de carga que serão consideradas nos cálculos da Norma NBR8800V1.

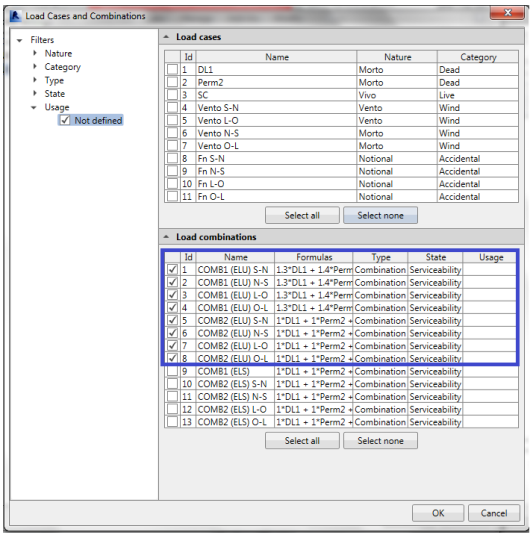


Figura 150. Janela *Code Settings*, definição das combinações de carga que serão consideradas nos cálculos da Norma NBR8800V1.

Desta última escolha, dependerão as envolventes de carga com as do código de verificação da Norma NBR8800V1, efetuará os cálculos. As combinações deverão estar conforme os coeficientes de ponderação das resistências γ_m,(ELU) ou (ELS).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

A.7.2. Definição de parâmetros dos elementos – *ELEMENT SETTINGS*

Permite a criação de uma lista de parâmetros, os quais serão utilizados para o cálculo do código de verificação de uma peça ou de um conjunto de peças com as mesmas características (Figura 151).

Figura 151. Ícone *Element Settings* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*.

Para isto é necessário realizar a vinculação de cada peça ou de um conjunto de peças, relacionada com um nome que os represente. Assim (Figura 152):

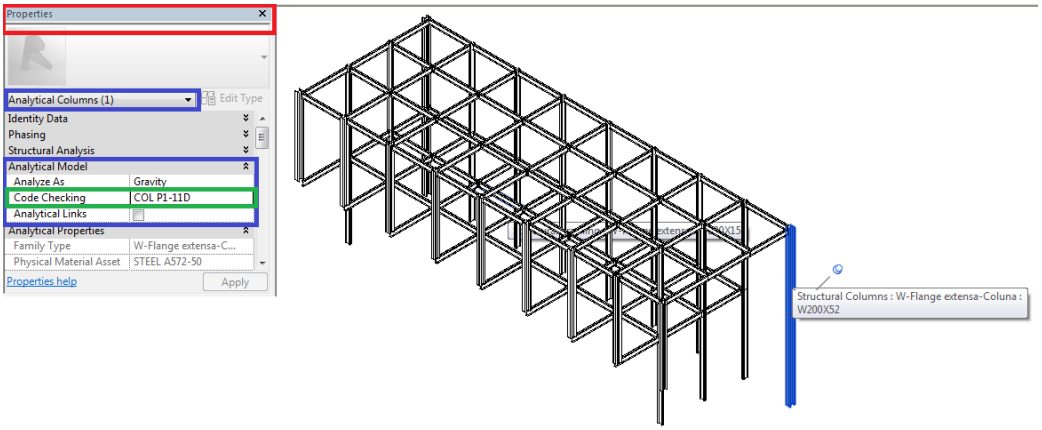


Figura 152. Vinculação de cada uma das peças ou de um conjunto de peças para definições de parâmetros dos elementos.

Selecionada a peça ou o conjunto de peças na janela de *Properties ou propriedades* do *Revit® Structure,* se deve selecionar o menu desdobrável, *Analytical Colums,* onde se encontram as propriedades de *Analytical Model,* aqui se selecionará o parâmetro *Code Checking,* onde está a vinculação dos elementos, na seguinte janela (Figura 153):

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

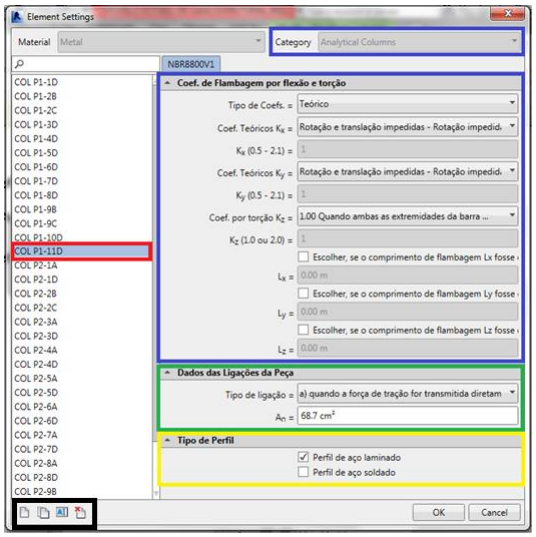


Figura 153. Janela de *Element Settings,* vinculação de cada peça ou um conjunto de peças para definições de parâmetros dos elementos.

Neste momento, se pode criar, duplicar, renomear e remover conjuntos de elementos com semelhantes configurações na parte inferior esquerda da janela. Pode-se visualizar que o *Revit® Structure* já separa os elementos de *Analytical Columns* (colunas) de *Analytical Beams* (vigas) na parte superior direita da janela. Para cada elemento criado, seja coluna ou viga, se define três configurações:

A primeira definição feita nesta janela é definir os coeficientes de flambagem por flexão (K_x e K_y) e torção (K_z), em suas duas categorias: Teóricos ou Recomendados. Se os elementos estruturais tiverem um comprimento de flambagem (L_x, L_y ou L_z) menor ao comprimento total da peça se selecionará a opção "Escolher (se o comprimento de flambagem “Lx, Ly ou Lz” for diferente ao comprimento do Elemento)" e definir na caixa de texto o comprimento real de flambagem da peça.

A segunda definição feita nesta janela é definir o tipo de ligação que tem os elementos:

“a) quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos”;

“b) quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais”; e,

“c) nas barras com seções transversais abertas, quando a força de tração for transmitida somente por parafusos ou somente por soldas longitudinais ou ainda por uma combinação de soldas longitudinais e transversais para alguns

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

(não todos) elementos da seção transversal (devendo, no entanto, ser usado 0,90 como limite superior, e não se permitindo o uso de ligações que resultem em um valor inferior a 0,60) ".

Enfatizando, a escolha feita permitirá definir as variáveis necessárias para cada um dos casos.

A terceira definição feita nesta janela é definir se o elemento estrutural é laminado ou soldado, visto que lamentavelmente o *Revit® Structure* não faz essa definição internamente.

Realizada a fixação destas definições para todos os elementos, o código de verificação da Norma NBR8800V1 está pronto para realizar cálculos.

A.8. Resultados do NBR8800V1

Antes de usar as ferramentas de verificação de resultados do código estrutural, verifique se os seguintes requisitos são atendidos:

1. Há resultados de análise estrutural dentro do projeto Revit®. Dê um clique em:

(barra *Analyze*>> painel *Structural Analysis*>>*Results Manager*),

para verificar que os resultados são salvos dentro do projeto Revit.

2. Registra-se pelo menos um código de verificação da norma, no caso o NBR8800V1.

3. Fizeram-se as definições de *Code Settings* e de *Element Settings*.

A.8.1. *Run Calculations*

Este ícone executa a análise do código de verificação dos membros selecionados, neste caso especifico da Norma NBR 8800:2008, com as informações antes definidas (Figura 154).

Figura 154. Ícone *Run Calculations* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*.

Sempre que terminar uma análise da norma mediante o código NBR8800V1, automaticamente os resultados serão exibidos no relatório final de resultados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

A.8.2. *Results*

Já realizada uma análise, este ícone (Figura 155) reabre o relatório final de resultados do código de verificação da última análise feita, exibindo-os em um elemento específico ou em um conjunto de elementos selecionados.

Figura 155. Ícone *Results* da barra de ferramentas *Analyze (Structural Code Checking)* do *Revit® Structure*.

A.9. Relatório Final de Resultados.

O relatório final de uma das peças pode ser revisado no Apêndice B deste documento.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Apêndice B: O relatório final de uma das peças analisadas no Estudo de caso.

Structural Code Checking Analysis
Autodesk® Revit® 2015

PUC - RIO
Departamento de
ENGENHARIA CIVIL

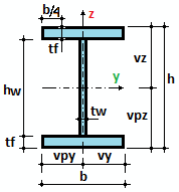
PROPRIEDADES MECÂNICAS

As Propriedades Mecânicas do Elemento definidas no Revit são:

f_y:	345	MPa	
f_u:	450	MPa	
Rel. f_u/f_y:	1.3		Ver - 4.5.2.2 - Aços para perfis... - NBR 8800/2008 - pág. 11
E:	200000	MPa	
G:	77000	MPa	Ver - 4.5.2.9 - Propriedades mecânicas gerais - NBR 8800/2008 - pág. 13

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA PEÇA

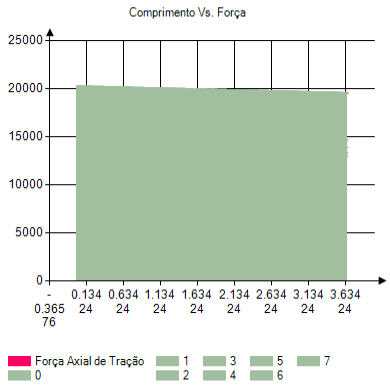
L:	3.66	m
A:	20.1	cm²
Ry:	2.1	cm
Rz:	8.2	cm
Iy:	87.47	cm4
Iz:	1361.31	cm4
Rotação da Seção Transversal:	-1.571	rad
H:	20	cm
hw:	19	cm
tw:	0.4	cm
b:	10	cm
tf:	0.5	cm
W_x:	136.1	cm³
W_y:	17.5	cm³
Z_x:	140.3	cm³
Z_y:	26.9	cm³
C_w:	8236.8	cm6
J:	1.47	cm4



ANÁLISE À TRAÇÃO

5.2 Barras Prismáticas submetidas à força axial de tração - NBR 8800/2008 - pág. 37

FORÇA DE TRAÇÃO SOLICITANTE



DADOS DA LIGAÇÃO DA PEÇA

a) Quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos:

Ct:	1	Ver - a) - 5.2.5 - Coeficiente de redução - NBR 8800/2008 - pág. 39

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

An:	20.4	cm²		Ver - 5.2.4 - Área líquida - NBR 8800/2008 - pág. 38
Ae:	20.4	cm²		Ver - 5.2.3 - Área líquida efetiva - NBR 8800/2008 - pág. 38

ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA

$N_{t,Rd}$:	631.05	kN		Ver - a) - 5.2.2 - Força axial resistente de cálculo - NBR 8800/2008 - pág. 37
$N_{t,Sd}$:	0.00	kN		Ver - 5.2.1.2 - 5.2 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 37
Rel. $N_{t,Sd}/N_{t,Rd}$:	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.00	

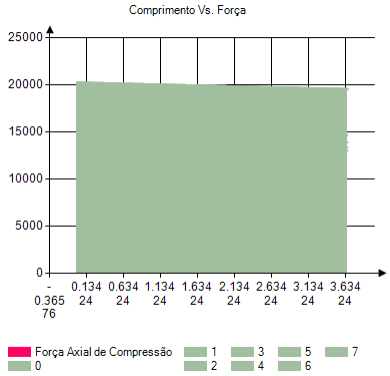
RUPTURA DA SEÇÃO LÍQUIDA

$N_{t,Rd}$:	680.00	kN	Força axial de tração resistente de cálculo	Ver - b) - 5.2.2 - Força axial resistente de cálculo - NBR 8800/2008 - pág. 37
$N_{t,Sd}$:	0.00	kN	Força axial de tração solicitante de cálculo	Ver - 5.2.1.2 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 37
Rel. $N_{t,Sd}/N_{t,Rd}$:	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.00	

VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ MÁXIMA A TRAÇÃO
Ver - 5.2.8 - Limitação do índice de esbeltez - NBR 8800/2008 - pág. 43

λ_x:	<= 300	OK - PERFIL CORRETO	175.42
λ_y:	<= 300	OK - PERFIL CORRETO	44.466

ANÁLISE À COMPRESSÃO
5.3 Barras Prismáticas submetidas à força axial de Compressão - NBR 8800/2008 - pág. 43
FORÇA DE COMPRESSÃO SOLICITANTE



ESTUDO DA FLAMBAGEM LOCAL FLA + FLM
<u>Estudo da Flambagem Local da Alma:</u>
Perfil Laminado:

$(b/t)_{lim}$:	35.874984			Ver - (2) - Tabela F.1 - Valores de $(b/t)_{lim}$ - NBR 8800/2008 - pág. 128
b/t:	41.472222			
b_{ef}:	16	cm		Ver - F.3.2 - F.3 - Elementos comprimidos AA - NBR 8800/2008 - pág. 129
A_{ef}:	19.3	cm²		Ver - F.3.1 - F.3 - Elementos comprimidos AA - NBR 8800/2008 - pág. 129
Q_a:	0.959475			Ver - F.3.1 - F.3 - Elementos comprimidos AA - NBR 8800/2008 - pág. 129
Q_a:			0.959475059	

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

Estudo da Flambagem Local das Mesas:

Perfil Laminado:

$(b/t)_{lim}$:	13.483216			Ver - (4) - Tabela F.1 - Valores de $(b/t)_{lim}$ - NBR 8800/2008 - pág. 128
$(b/t)_{lim}$:	24.799486			Ver - b) - F.2 - Elementos comprimidos AL - NBR 8800/2008 - pág. 127
b/t:	9.596929			
Q_s:	1			Ver - F.1.2 - F.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 126
Q_s:			1	
$Q = Q_a * Q_s$:	0.959475			Ver - F.1.3 - F.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 126
Q:			0.959475059	

ESTUDO DA FLAMBAGEM GLOBAL

N_{ex}:	129.06	kN		Ver - a) - E.1 - Valores da força axial de flambagem elástica - NBR 8800/2008 - pág. 121
N_{ey}:	2008.61	kN		Ver - b) - E.1 - Valores da força axial de flambagem elástica - NBR 8800/2008 - pág. 121
r_o:	8.5	cm		Ver - E.1.1 - E.1 - Valores da força axial de flambagem elástica - NBR 8800/2008 - pág. 122
N_{ez}:	325.58	kN		Ver - c) - E.1 - Valores da força axial de flambagem elástica - NBR 8800/2008 - pág. 121
N_e = menor valor (N_{ex};N_{ey};N_{ez}):	129.06	kN		Ver - E.1 - Valores da força axial de flambagem elástica - NBR 8800/2008 - pág. 121
χ:	0.169938		Índice de esbeltez reduzido	Ver - 5.3.3.2 - 5.3.3 - Fator de redução χ - NBR 8800/2008 - pág. 44
λ_0:	2.271.721			Ver - 5.3.3.1 - 5.3.3 - Fator de redução λ_0 - NBR 8800/2008 - pág. 44

RESISTÊNCIA DE CÁLCULO

$N_{c,Rd}$:	102.89	kN	Força axial de compressão resistente de cálculo	Ver - 5.3.2 - Força axial resistente de cálculo - NBR 8800/2008 - pág. 44
$N_{c,Sd}$:	20.58	kN	Força axial de compressão solicitante de cálculo	Ver - 5.3.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 43
Rel. $N_{c,Sd}/N_{c,Rd}$:	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.199996849938311	

VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ MÁXIMA A COMPRESSÃO

Ver - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez - NBR 8800/2008 - pág. 46

λ_x:	<= 200	OK - PERFIL CORRETO	175.425830554477
λ_y:	<= 200	OK - PERFIL CORRETO	44.4666701.220476

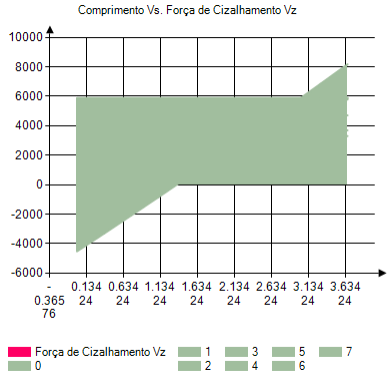
ANÁLISE À FLEXÃO

5.4 Barras Prismáticas submetidas ao momento fletor e força cortante - NBR 8800/2008 - pág. 46

VERIFICAÇÃO DO ESFORÇO CORTANTE

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

FORÇA DE CISALHAMENTO Vz SOLICITANTE

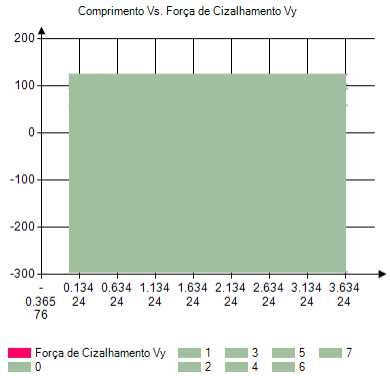


Resistência ao cisalhamento na maior inércia :

Perfil Laminado:

λ:	41.472222			Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 50
λ_p:	59,222009			Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 50
λ_r:	73,758321			Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 50
A_w:	8.6	cm²		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 51
V_{pl}:	178.85	kN		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 51
V_{Rd}:	162.59	kN		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 47
V_{Sd}:	8.19	kN		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 47
Rel. V_{Sd}/V_{Rd}:	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.050400199 1006802	

FORÇA DE CISALHAMENTO Vy SOLICITANTE



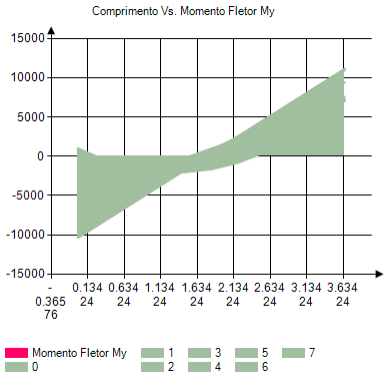
Resistência ao cisalhamento na menor inércia :

λ:	9.596929	Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 50
λ_p:	29.012741	Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

				8800/2008 - pág. 50
λ_r:	36.13405			Ver - 5.4.3.1.1 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 50
A_w:	10.4	cm²		Ver - 5.4.3.5 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular às mesas - NBR 8800/2008 - pág. 52
V_{pl}:	215.69	kN		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.3.1 - Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma - NBR 8800/2008 - pág. 51
V_{Rd}:	196.09	kN		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 47
V_{Sd}:	0.31	kN		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 47
Rel. V_{Sd}/V_{Rd}:	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.001574201	

RESISTÊNCIA DE CÁLCULO AO MOMENTO FLETOR
MOMENTO FLETOR My SOLICITANTE



Resistência à flexão no eixo de maior inércia :

FLT :

L_b:	3.66	m	Ver - G.3 - Simbologia - NBR 8800/2008 - pág. 137
r_y:	2.1	cm	Ver - G.3 - Simbologia - NBR 8800/2008 - pág. 137
β_1:	0.112106		Ver - 1) - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 135
λ:	175.425831		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
λ_p:	42.37582		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
λ_r:	118.388871		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
C_b:	2.276746		Ver - 5.4.2 - Momento fletor resistente de cálculo - NBR 8800/2008 - pág. 47
M_{pl}:	48.4	kN-m	Ver - G.3 - Simbologia - NBR 8800/2008 - pág. 137
M_{cr}:	48.3	kN-m	Ver - 1) - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 135
M_{Rd}:	43.66	kN-m	Ver - c) - G.2.1 - NBR 8800/2008 - pág. 130

FLM :

λ:	9.596929		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
λ_p:	9.1499325		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
λ_r:	23.88551		Ver - 6) - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 136
M_{pl}:	48.4	kN-m	Ver - G.3 - Simbologia - NBR 8800/2008 - pág. 137
M_r:	32.88	kN-m	Ver - Tabela G.1 - NBR

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

			8800/2008 - pág. 134
M_{Rd}:	43.57	kN-m	Ver - b) - G.2.2 - NBR 8800/2008 - pág. 130

FLA :

λ:	41.472222		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
λ_p:	90.530162		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
λ_r:	137.239873		Ver - 6) - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 136
M_{pl}:	48.4	kN-m	Ver - G.3 - Simbologia - NBR 8800/2008 - pág. 137
M_{Rd}:	44	kN-m	Ver - a) - G.2.2 - NBR 8800/2008 - pág. 130

DEFINIÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DA SEÇÃO :

$M_{x,Rd}$ = menor valor (($M_{rDx, FLT}$; $M_{rDx, FLM}$; $M_{rDx, FLA}$))

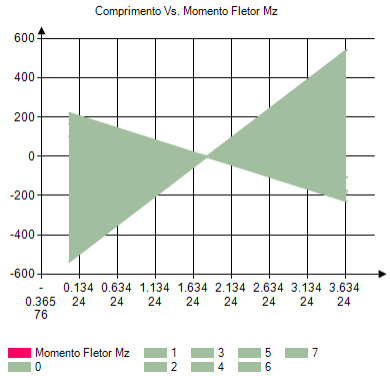
$M_{x,Rd}$:	43.57	kN-m

VERIFICAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DA SEÇÃO :

Conforme indica o item 5.4.2.2 da NBR 8800/2008, para garantir a validade da análise elástica, o M_{Rd} deve ser tomado menor ou igual a 1.5 Wf_y/γ_{a1}, onde W corresponde ao módulo de resistência elástico mínimo da seção em relação ao eixo de flexão considerado. Portanto:

$M_{x,Rd}$:	43.57	kN-m		
$M_{x,Rd}$ = 1.5 Wf_y/γ_{a1} :	64.04	kN-m		
$M_{x,Rd}$:	< 1.5 Wf_y/γ_{a1}	OK - Como a condição foi satisfeita, o valor do $M_{x,Rd}$ pode ser mantido (kN-m)	43.57483892 37638	
$M_{x,Rd}$:	43.57	kN-m		
$M_{x,Sd}$:	11.13	kN-m		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 47
Rel. $M_{x,Sd}/M_{x,Rd}$:	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.257092956	

MOMENTO FLETOR Mz SOLICITANTE



Resistência à flexão no eixo de menor inércia :

FLM :

λ:	9.596929		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
λ_p:	9.149325		Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
λ_r:	23.88551		Ver - 6) - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 136
M_{pl}:	9.29	kN-m	Ver - G.3 - Simbologia - NBR 8800/2008 - pág. 137
M_r:	4.22	kN-m	Ver - Tabela G.1 - NBR 8800/2008 - pág. 134
M_{Rd}:	8.31	kN-m	Ver - b) - G.2.2 - NBR 8800/2008 - pág. 130

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA

FLA :

Conforme explica a nota 3 da tabela G.1, o estado-limite de FLA só se aplica à alma de seções U, quando comprimidas pelo momento fletor. Por tanto, para o elemento em questão sua verificação é dispensada.

DEFINIÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DA SEÇÃO :

$M_{y,Rd}$ = menor valor (($M_{rDy,\ FLM}$; $M_{rDy,\ FLA}$))

$M_{y,Rd}$:	8.31	kN-m

VERIFICAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DA SEÇÃO :

Conforme indica o item 5.4.2.2 da NBR 8800/2008, para garantir a validade da análise elástica, o M_{Rd} deve ser tomado menor ou igual a 1.5 Wf_z/γ_{a1}, onde W corresponde ao módulo de resistência elástico mínimo da seção em relação ao eixo de flexão considerado. Portanto:

$M_{y,Rd}$:	8.31	kN-m		
$M_{y,Rd}$ = 1.5 Wf_z/γ_{a1} :	8.23	kN-m		
$M_{x,Rd}$:	< 1.5 Wf_y/γ_{a1}	Como a condição NÃO foi satisfeita, o valor do $M_{x,Rd}$ será assumido como (kN-m)	8.229764096 09073	
$M_{y,Rd}$:	8.23	kN-m		
$M_{x,Sd}$:	0.57	kN-m		Ver - 5.4.3.1.2 - 5.4.1 - Generalidades - NBR 8800/2008 - pág. 47
Rel. $M_{y,Sd}/M_{y,Rd}$:	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.06590489	

ANÁLISE À FLEXO-COMPRESSÃO

5.5 Barras Prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes - NBR 8800/2008 - pág. 535.5.1 Barras submetidas a momentos fletores, força axial e forças cortantes - NBR 8800/2008 - pág. 53

Barras submetidas a momentos fletores, força axial de tração

$N_{t,Sd}$:	0.00	kN		
$N_{t,Rd}$:	631.05	kN		
$M_{x,Sd}$:	11.20	kN-m		
$M_{x,Rd}$:	43.57	kN-m		
$M_{y,Sd}$:	0.57	kN-m		
$M_{y,Rd}$:	8.23	kN-m		
(NSD / (2 * NRD)) + (($M_{x,Sd}$ / $M_{x,Rd}$) + ($M_{y,Sd}$ / $M_{y,Rd}$))):	0.326142			
(NSD / (2 * NRD)) + (($M_{x,Sd}$ / $M_{x,Rd}$) + ($M_{y,Sd}$ / $M_{y,Rd}$))):	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.326142	

Barras submetidas a momentos fletores, força axial de compressão

$N_{c,Sd}$:	20.58	kN		
$N_{c,Rd}$:	102.89	kN		
$M_{x,Sd}$:	11.20	kN-m		
$M_{x,Rd}$:	43.57	kN-m		
$M_{y,Sd}$:	0.57	kN-m		
$M_{y,Rd}$:	8.23	kN-m		
(NSD / (2 * NRD)) + (($M_{x,Sd}$ / $M_{x,Rd}$) + ($M_{y,Sd}$ / $M_{y,Rd}$))):	0.426126			
(NSD / (2 * NRD)) + (($M_{x,Sd}$ / $M_{x,Rd}$) + ($M_{y,Sd}$ / $M_{y,Rd}$))):	<= 1	OK - PERFIL CORRETO	0.426126	

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213307/CA