

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



Felipe de Araújo Pineschi Teixeira

Um programa para verificação de perfis de aço sob esforços usuais de projeto

Trabalho de Graduação  
2015

**Civil-Aeronáutica**

Felipe de Araújo Pineschi Teixeira

**Um programa para verificação de perfis de aço sob esforços usuais de projeto**

Orientador  
Francisco Alex Correia Monteiro (ITA)

**Engenharia Civil-Aeronáutica**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2015

## **Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

### **Divisão de Informação e Documentação**

Teixeira, Felipe de Araújo Pineschi  
Um programa para verificação de perfis de aço sob esforços usuais de projeto  
São José dos Campos, 2015.  
66f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2015.

Orientador: Prof. Francisco Alex Correia Monteiro, MSc

1. Aços. 2. Laminados. 3. Soldagem. 4. Estruturas metálicas. 5. Resistência à fratura. 6. Engenharia Civil. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

TEIXEIRA, Felipe de Araújo Pineschi. **Um programa para verificação de perfis de aço sob esforços usuais de projeto**. 2015. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Felipe de Araújo Pineschi Teixeira

TÍTULO DO TRABALHO: Um programa de verificação para perfis de aço sob esforços usuais de projeto

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação/2015

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

---

Felipe de Araújo Pineschi Teixeira

Rua Padre José Maria da Silva Ramos, 381 – Jardim das Colinas

São José dos Campos – SP – Brasil. CEP: 12242-250

**UM PROGRAMA PARA VERIFICAÇÃO DE PERFIS DE AÇO SOB ESFORÇOS  
USUAIS DE PROJETO**

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



---

Felipe de Araújo Pineschi Teixeira  
Autor



---

Prof. MSc Francisco Alex Correia Monteiro (ITA)  
Orientador



---

Prof. Ph.D. Eliseu Lucena Neto  
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 27 de novembro de 2015

## **Resumo**

O objetivo do trabalho é a confecção de um programa que facilite a verificação de perfis de aço I laminados e soldados, duplamente simétricos, submetidos a esforços usuais de projeto. Os critérios de resistência (estados limites últimos) são preconizados pela norma brasileira NBR-8800 (2008).

## **Abstract**

The purpose of this work is to build a program for helping the verification task for double symmetric I steel cross-sections when subject to usual design loadings. The resistance criteria are those described in the Brazilian standard code NBR-8800 (2008).

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, por me iluminar e me guiar ao longo da vida.

Aos meus pais, Hélio e Marilena, por sempre investirem na minha educação e pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

À minha irmã, Fernanda, por sempre ser minha amiga e companheira.

Aos meus avós, que sempre me incentivaram a estudar para alcançar meus objetivos.

Aos meus amigos do ITA, especialmente aos do curso de Civil-Aeronáutica, pelo apoio, amizade e companheirismo durante esses cinco anos de curso. Com certeza, eles fazem parte dessa conquista.

Aos meus familiares, por estarem sempre presentes, me incentivando e apoiando minhas decisões ao longo da vida.

Ao professor orientador Alex Correia, por toda a ajuda prestada antes e durante esse trabalho e ao relator Eliseu Lucena, pelo acompanhamento durante o avanço do trabalho.

Ao Mauricio Ribeiro, programador da Divisão de Engenharia Civil-Aeronáutica, pela ajuda e pelos serviços prestados na elaboração do programa.

Aos professores do ITA, responsáveis pelos ensinamentos aprendidos durante esses cinco anos de faculdade.

# Conteúdo

1. Considerações iniciais .....	9
1.1 Introdução .....	9
1.2 Motivação .....	13
1.3 Objetivo .....	14
1.4 Estrutura do trabalho.....	14
2. Fluxogramas de cálculo .....	15
2.1 Fluxogramas de tração .....	15
2.2 Fluxogramas de compressão .....	16
2.3 Fluxogramas de flexão .....	16
2.4 Fluxogramas de corte .....	18
3. Programa de verificação .....	19
3.1 Interface .....	19
3.2 Detalhamento das abas.....	19
4. Aplicação .....	26
5. Conclusão .....	35
Referências .....	36
A1. Fluxograma de tração: perfis I, U e L.....	37
A2. Fluxograma de compressão: perfil I duplamente simétrico.....	39
A3. Fluxograma de compressão: perfil U.....	41
A4. Fluxograma de compressão: perfil L com abas iguais.....	43
A5. Fluxograma de flexão em torno do eixo de maior inércia: perfil I duplamente simétrico .....	45
A6. Fluxograma de flexão em torno do eixo de maior inércia: perfil U .....	49
A7. Fluxograma de flexão em torno do eixo de menor inércia: perfil I duplamente simétrico .....	53
A8. Fluxograma de flexão em torno do eixo de menor inércia: perfil U .....	56
A9. Fluxograma de corte no eixo de maior inércia: perfil I duplamente simétrico.....	59
A10. Fluxograma de corte no eixo de maior inércia: perfil U.....	61
A11. Fluxograma de corte no eixo de menor inércia: perfil I duplamente simétrico.....	63
A12. Fluxograma de corte no eixo de menor inércia: perfil U.....	65

# Capítulo 1

## Considerações iniciais

### 1.1 Introdução

O aço é uma liga metálica composta principalmente de ferro e de uma pequena quantidade de carbono (entre 0,002% e 2%), além de outros materiais como silício, manganês, fósforo e enxofre. Devido ao custo elevado, durante muito tempo o emprego do aço ficou restrito à fabricação de talheres e ferramentas de corte. Somente em meados do século XIX, o inglês Sir Henry Bessemer e o norte-americano William Kelly descobriram, independentemente, que ao se insuflar ar quente na fabricação do ferro, retirava-se a maior parte de suas impurezas. A partir daí, a produção de aço em escala industrial se tornou mais viável. No Brasil, o início do uso do aço na construção civil coincide com o início da siderurgia, na década de 1920.

À respeito das construções metálicas, os principais componentes para o projeto, fabricação e montagem são os perfis, que se classificam quanto ao processo de fabricação (laminados, soldados e moldados a frio) e quanto a forma de sua seção transversal (barra, chapa, tubo, L, U, I, H, composto).

Os perfis laminados da Figura 1 são confeccionados a quente nas usinas siderúrgicas e são de baixo custo. No entanto, a padronização das dimensões do perfil é uma restrição ao projeto.

Os perfis soldados da Figura 2 são obtidos por meio do corte de chapas e unindo-as convenientemente com auxílio de solda a arco elétrico ou eletro-solda. São bastante utilizadas na indústria da construção porque a versatilidade de combinações de espessuras, alturas e larguras permite maior liberdade de concepção e torna possível a redução do peso estrutural. Todavia, a confecção desses perfis é mais cara.

Os perfis formados a frio da Figura 3 são empregados em situações onde a magnitude das solicitações é baixa. São obtidos pelo dobramento a frio de chapas finas de aço nas máquinas dobradeiras e perfiladeiras, sendo também leve, de fácil fabricação, manuseio e transporte.



Figura 1: Perfil laminado.



Figura 2: Perfil soldado.



Figura 3: Perfil formado a frio.

Sobre a forma da seção transversal, as barras e os tubos (seção transversal vazada) são laminados com geometria circular ou retangular. Os perfis mais utilizados são o L (também denominado cantoneira), U, I, H. Os perfis compostos são obtidos agrupando os demais perfis entre si e conectando-os, geralmente, por solda. A Figura 4 mostra algumas seções típicas (as linhas pontilhadas da figura indicam travamento contínuo e as contínuas representam chapas de reforço).

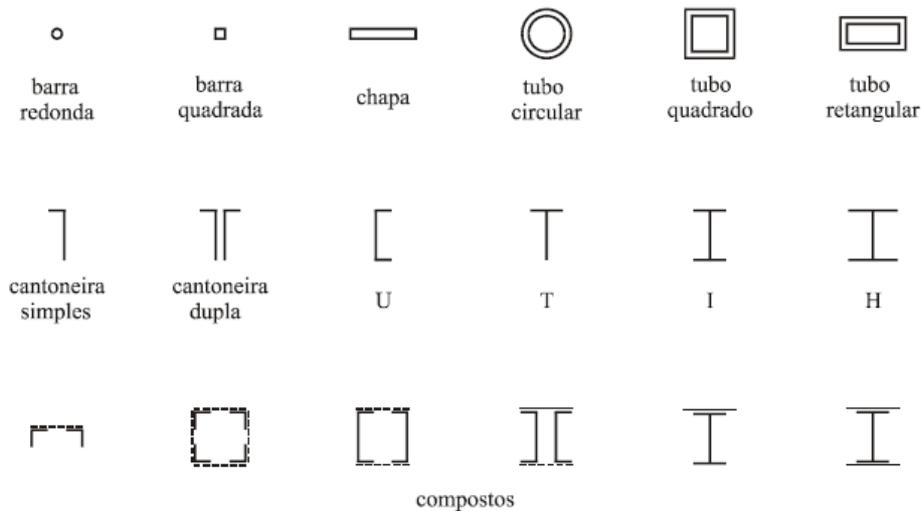


Figura 4: Seção transversal dos perfis.

As estruturas de aço são largamente empregadas em obras de infraestrutura como aeroportos, estações de metrô e demais instalações que contribuem para o bom funcionamento dos centros urbanos. O aço é um dos mais versáteis dos materiais estruturais, sendo que suas vantagens provêm de sua natureza física e do processo fabril. As principais propriedades físicas do aço são:

- **Alta razão resistência – peso:** permite confecção de estruturas mais leves;
- **Baixa fluência:** a resistência não reduz consideravelmente com o tempo;
- **Comportamento elástico:** permite a hipótese de material homogêneo, isotrópico e elástico linear, o que facilita o dimensionamento e a análise;
- **Durabilidade:** com manutenção adequada, a durabilidade é praticamente infinita;
- **Ductilidade:** possibilita a distribuição de tensões e torna visível a iminência de ruptura;

- **Tenacidade:** permite que durante a fabricação, transporte e montagem não ocorra propagação de trincas.

Quanto ao processo industrial, a padronização, mecanização e reuso são suas principais características. As peças de aço costumam ser fabricadas em série e a montagem é bem mecanizada, o que reduz o tempo de execução da obra e conseqüentemente propicia rápido retorno do investimento, além de ser utilizado um pequeno espaço para canteiro de obra. Quando as peças são desmontadas, elas podem ser reaproveitadas ou mesmo recicladas, contribuindo para a sustentabilidade da produção.

Apesar da escolha dos perfis ser importante, ela é apenas uma parte do projeto estrutural, sendo este influenciado diretamente pelo engenheiro de estruturas, que se utiliza de conhecimento técnico-científico, normas e intuição para projetar estruturas seguras e funcionais. O projeto pode ser dividido em três etapas principais, engenharia, fabricação e montagem.

No projeto de engenharia, desenvolve-se a concepção da estrutura, levantamento dos carregamentos, análise estrutural e o dimensionamento dos perfis. Por fim, elaboram-se os desenhos representativos. No projeto de fabricação, os desenhos detalhados das peças e dos componentes são confeccionados. No projeto de montagem, representa-se a estrutura sob a forma de diagramas mostrando a identificação, posicionamento e sequência de montagem das peças. Vale destacar que o bom projeto sempre busca a otimização, o que conduz à redução de peso da estrutura e de custos.

O procedimento iterativo de projeto é subdividido nas seguintes etapas:

- **Concepção:** escolha do sistema estrutural e geometria;
- **Pré-dimensionamento:** escolha das seções transversais dos perfis por meio de catálogos de fornecedores;
- **Determinação do carregamento:** avaliação das cargas e dos coeficientes de ponderação;
- **Análise:** obtenção dos deslocamentos, deformações e tensões;

- **Verificação:** avaliação do atendimento de todos os critérios de segurança estrutural;
- **Reanálise:** proposição de novas seções transversais, se necessário, retornando à determinação do novo carregamento.

No Brasil, existem ferramentas computacionais especializadas em projetos de estruturas metálicas, como o AutoMetal (SILVA et al., 2003), que é um programa educacional desenvolvido pela UNICAMP para facilitar o ensino de projeto de estruturas metálicas para o curso de engenharia civil, e o VisualMetal (CHIARELLO e PRAVIA, 2007), desenvolvido pela UPF e que verifica os perfis laminados e soldados de acordo com a NBR 8800. Outros trabalhos de conclusão de curso abordam o tema de verificação, como desenvolvido por GUANABARA (2010) e SIMSEN (2014).

Conforme citado na etapa de pré-dimensionamento do projeto, a escolha dos perfis é feita por meio de catálogos já existentes. Como ilustração, a Figura 5 mostra uma parte do catálogo comercial da Gerdau.

PERFIS GERDAU AÇOMINAS		TABELA DE BITOLAS																				
BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>1</sub> mm	ESPESSURA				Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>1</sub> cm	r <sub>2</sub> cm	ESBELTEZ		C <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	u m <sup>2</sup> /m
				t <sub>1</sub> mm	t <sub>2</sub> mm	h mm	d' mm		I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			ABA - λ <sub>1</sub>	ALMA - λ <sub>2</sub>		
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	636	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,083	0,69
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	102	6,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,94	10,206	0,69
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,91
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	168	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,38	141,342	1,19
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.299	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	5,81	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19
HP 200 x 63,0 (H)	63,0	204	207	11,3	11,3	181	181	68,1	4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	81,0	7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13,735	0,88
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18,629	0,88

Figura 5: Catálogo parcial da Gerdau.

## 1.2 Motivação

A motivação do trabalho insere-se no contexto de facilitar a verificação e consequentemente o projeto de estruturas metálicas. Além disso, trata-se de um passo

inicial para prover o ITA de um sistema de cálculo que possa ser aplicado no processo educacional.

### **1.3 Objetivo**

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um programa de verificação de perfis I duplamente simétricos de catálogos existentes. O perfil é verificado para os estados limites de tração, compressão, flexão em torno dos dois eixos principais de inércia e cisalhamento. Os critérios de verificação são preconizados pela NBR 8800 (2008) – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O Capítulo 2 mostra os fluxogramas de cálculo para os perfis I, L e U submetidos aos esforços de tração, compressão, flexão em relação aos dois eixos principais de inércia e cisalhamento. O Capítulo 3 traz o programa de verificação Eiffel, confeccionado em Phyton. O Capítulo 4 aplica o programa elaborado na verificação de um perfil do catálogo da Gerdau. Por fim, o Capítulo 5 apresenta alguns comentários e conclusões, além de sugestões para trabalhos futuros.

## Capítulo 2

### Fluxogramas de cálculo

Os fluxogramas de cálculo são elaborados de acordo com os critérios de resistência apresentados na norma NBR 8800 (2008). Para os perfis I e U, avaliam-se os estados-limites últimos de tração, compressão, flexão em torno dos dois principais eixos de inércia e corte, enquanto que para o perfil L, avaliam-se os estados-limites últimos de tração e compressão, uma vez que a norma não recomenda o emprego de perfil para peças sob momento fletor e corte. O detalhamento de cada tipo de fluxograma está indicado a seguir. Para a elaboração de todos os fluxogramas, utiliza-se o site [www.lucidchart.com](http://www.lucidchart.com), que apesar de não possuir os símbolos gregos (as letras gregas são utilizadas por extenso no presente trabalho), é prático na montagem dos diagramas.

#### 2.1 Fluxogramas de tração

Para a verificação de peças submetidas à tração, o primeiro fator que deve ser analisado é a limitação do índice de esbeltez das barras, isto é, a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente que, não pode ser superior a 300. Caso isso não seja respeitado, deve-se trocar o perfil.

Com o índice de esbeltez verificado, a NBR 8800 (2008) considera os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta, ruptura da seção líquida e colapso por rasgamento, sendo a força axial resistente de cálculo o menor dos três valores. Se a força axial resistente de cálculo é menor do que o valor da força solicitante, deve-se substituir o perfil. As expressões de cálculo para os estados-limites citados e os itens da norma para cada caso estão indicados no Anexo 1.

Vale destacar que é necessário apenas um fluxograma para descrever a verificação dos perfis I, L e U do presente trabalho. Isso ocorre porque apesar de as quantidades área bruta  $A_g$  e área líquida efetiva  $A_e$  serem distintas, o procedimento de cálculo é o mesmo.

## 2.2 Fluxogramas de compressão

Assim como em peças submetidas à força axial de tração, faz-se necessária a limitação do índice de esbeltez da barra. Este índice, que é calculado como sendo a maior relação entre o produto  $KL$  ( $K$  é o coeficiente de flambagem e  $L$  é o comprimento destravado) e o raio de giração correspondente, não deve ser superior a 200.

Respeitada a limitação do índice de esbeltez, calcula-se a força axial de flambagem elástica  $N_e$ , que é obtida conforme o Anexo E da norma. O fato dos modos de flambagem dos perfis duplamente simétricos serem distintos demais dos perfis, a maneira de calcular a força axial de flambagem elástica difere de acordo com a simetria do perfil, exigindo um fluxograma para cada caso.

O próximo passo é determinar o fator de redução total associado à flambagem local  $Q$ , que é obtido pelo produto de  $Q_s$  e  $Q_a$ , fatores de redução que levam em conta a flambagem de elementos AL (apenas uma borda longitudinal vinculada) e AA (duas bordas longitudinais vinculadas). O cálculo de  $Q_s$  e  $Q_a$  depende da forma do perfil e do tipo do perfil (laminado ou soldado). As expressões de cálculo encontram-se no Anexo F da norma.

Com o valor de  $Q$  e  $N_e$ , determina-se o índice de esbeltez reduzido  $\lambda_0$  e conseqüentemente o fator de redução associado à resistência à compressão  $\chi$ . Por fim, calcula-se a força axial de compressão resistente de cálculo, que se for menor que a força solicitante, deve-se trocar o perfil analisado. As expressões de cálculo e os itens da norma correspondentes estão indicados nos Anexos 2 (perfil I), 3 (perfil U) e 4 (perfil L).

## 2.3 Fluxogramas de flexão

No caso de peças submetidas à flexão, os fluxogramas de cálculo são apenas para os perfis I e U. O perfil L não é avaliado pela NBR 8800, uma vez que não possui nenhum eixo de simetria.

O momento fletor resistente de cálculo é determinado de acordo com os anexos G (viga de alma não esbelta) e H (viga de alma esbelta). Para os casos de perfis I e U de alma não esbelta fletidos em torno do eixo de maior inércia, os estados-limites últimos considerados são FLT (flambagem lateral com torção), FLM (flambagem local da mesa), FLA (flambagem local da alma) e RMT (ruptura da mesa tracionada). Já para a flexão em torno do eixo de menor inércia, enquanto o perfil I é verificado quanto a FLM e RMT, o perfil U considera também o FLA. Para a viga de alma esbelta, os estados-limites são FLT, FLM e escoamento da mesa tracionada EMT, além de estados-limites geométricos de limitação de área e de esbeltez da alma.

No cálculo do momento fletor resistente para o caso FLT, necessita-se encontrar o fator de modificação do diagrama de momento fletor não-uniforme ( $C_b$ ), sendo este, portanto, o primeiro passo do fluxograma de cálculo. Em seguida, necessita-se descobrir se a alma é ou não esbelta, uma vez que isso define o anexo a ser utilizado.

Para os casos de alma não-esbelta, tanto o perfil I com dupla simetria quanto o U utilizam a mesma tabela (Tabela G.1) da norma para o cálculo do momento fletor resistente. Nos estados-limites últimos FLT, FLM e FLA, a expressão do momento fletor depende do parâmetro de esbeltez  $\lambda$  do perfil, isto é, necessita-se encontrar  $\lambda_p$  e  $\lambda_r$ , que determinam a faixa de intervalo de cálculo do momento fletor. As expressões para  $\lambda$ ,  $\lambda_p$ ,  $\lambda_r$  para cada estado-limite também são obtidas pela Tabela G.1. Vale destacar também que, especificamente para o estado-limite FLM, o tipo do perfil (laminado ou soldado) é relevante e para o caso FLA, as situações em que  $\lambda$  é superior a  $\lambda_r$  não são aplicáveis para o cálculo, uma vez que se trata de alma esbelta.

Para esse último caso, o anexo a ser utilizado é o H, sendo que todas as fórmulas a serem utilizadas estão detalhadas desde o item H.2.1 ao H.2.3. Para ilustrar melhor o raciocínio citado, os Anexos 5 a 8 abordam a obtenção do momento fletor resistente de cálculo para alma esbelta e não-esbelta em relação aos dois eixos principais de inércia.

## 2.4 Fluxogramas de corte

Assim como nas peças sob flexão citadas no item 2.3, a norma NBR 8800 também não aborda corte para o perfil L, sendo necessário, portanto, apenas fluxogramas de cálculo para os perfis I e U no presente trabalho. Os estados-limites últimos considerados na verificação são o escoamento e flambagem por cisalhamento.

Dependendo do eixo de inércia que se considera, os elementos resistentes do perfil mudam. No caso das seções fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma, a alma do perfil que é responsável pela resistência ao corte, já no caso de flexão em relação ao eixo perpendicular às mesas, os elementos resistentes são as mesas.

O primeiro passo para o cálculo da força cortante resistente do perfil em relação ao eixo de maior inércia é encontrar o valor do parâmetro  $k_v$ , que depende da presença de enrijecedores transversais. Em seguida, obtém-se  $\lambda_p$  e  $\lambda_r$ , que representam os limites do intervalo de validade de cada expressão da força cortante de cálculo. Necessita-se também determinar o valor da força cortante correspondente à plastificação da alma. O raciocínio é análogo para o caso do eixo de menor inércia, alterando-se apenas alguns pontos conforme item 5.4.3.5 da norma. Os cálculos utilizados em cada caso além dos respectivos itens da norma encontram-se nos Anexos de 9 a 12.

## Capítulo 3

### Programa de verificação

O programa Eiffel é responsável pela verificação dos perfis I duplamente simétricos submetidos a esforços usuais de projeto, como tração, compressão, flexão, corte e combinação de esforços. Destaca-se que o programa está preparado para receber futuras ampliações como verificação de outros perfis e verificação de ligações soldadas e parafusadas.

#### 3.1 Interface

A interface do Eiffel apresenta quatro abas no lado esquerdo da tela que representam os passos que são necessários para a realização do cálculo de verificação. As abas possuem os seguintes títulos: Verificação, Solicitação, Resistência e Relatório.

##### **Verificação**

Etapa em que o usuário escolhe o componente a ser analisado, o tipo de aço, o tipo da seção e a bitola do perfil;

##### **Solicitação**

O usuário escolhe o tipo de solicitação a qual o perfil está submetido;

##### **Resistência**

De acordo com os esforços selecionados na aba Solicitação, a aba Resistência solicita ao usuário o preenchimento dos dados necessários para a verificação;

##### **Relatório**

Trata-se da etapa em que se gera um relatório da verificação ao usuário, que contém os valores dos parâmetros de cálculo e a tabela dos estados-limites verificados.

#### 3.2 Detalhamento das abas

A aba Verificação é o primeiro passo a ser executado durante o uso do Eiffel. É nela que o usuário deve fornecer o componente que deseja verificar, o tipo de aço (MR250, AR350, AR350 COR e AR 415), o tipo de seção do perfil (Laminado ou Soldado) e a

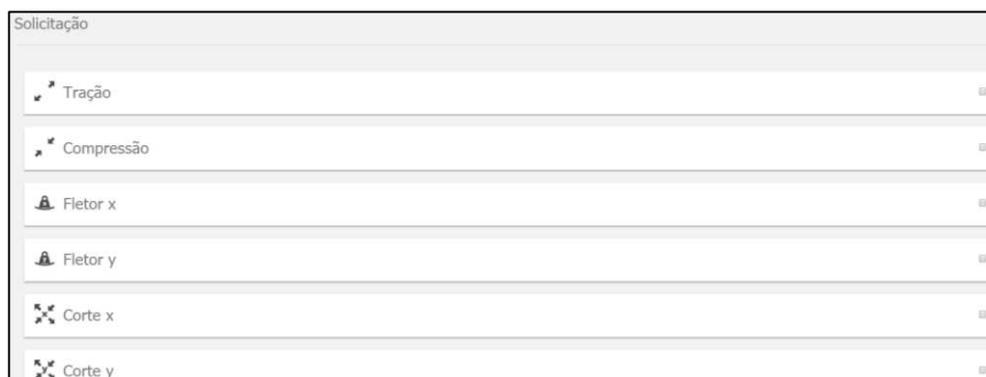
bitola, cujo valor é escolhido por meio de catálogos. A Figura 3.2.1 mostra um exemplo da aba Verificação com o componente sendo o Perfil, o aço MR250, a seção I Simétrico Laminado e a bitola W 150 x 18.



Verificação	
Componente	Perfil
Aço	MR 250
Seção	I Sim Laminado
Bitola	W 150 x 18,0 (I)

Figura 3.2.1: Aba Verificação.

A aba Solicitação é a segunda etapa. Trata-se do momento em que o usuário é responsável por selecionar as solicitações do perfil. As possíveis opções de escolha são tração, compressão, flexão em torno dos eixos x e y, e corte considerando a flexão em torno dos eixos x e y. Escolhido o tipo de solicitação, o usuário deve também informar a magnitude do esforço. A Figura 3.2.2 apresenta a configuração inicial, isto é, a maneira que a interface se apresenta ao usuário inicialmente enquanto a Figura 3.2.3 exemplifica um caso com esforço de tração selecionado com magnitude de 200 kN.



Solicitação	
Tração	■
Compressão	■
Fletor x	■
Fletor y	■
Corte x	■
Corte y	■

Figura 3.2.2: Aba Solicitação.



Figura 3.2.3: Solicitação de tração.

Na sequência, a aba Resistência é a responsável por fornecer ao usuário a verificação do perfil escolhido e o tipo de combinação de carregamento utilizada (Normal, Especiais/Construção e Excepcionais), uma vez que isto determina o valor dos coeficientes de ponderação da resistência utilizados na verificação. Para cada solicitação selecionada, faz-se necessário o preenchimento dos parâmetros para efetuar o cálculo. Em seguida, basta o usuário apertar o ícone verde, escrito Verificar, no canto superior de cada esforço para o Eiffel efetuar os cálculos. Os resultados são apresentados na forma de uma tabela, com o título do estado-limite verificado, o esforço solicitante fornecido, o valor calculado para o esforço resistente, a margem de segurança e o status da verificação. Caso desejado, pode-se verificar a combinação dos esforços solicitantes selecionados. Os estados-limites considerados e os dados de entrada do usuário para cada esforço estão indicados abaixo. A Figura 3.2.4 apresenta o resultado gerado para o exemplo da Figura 3.2.3.

### **Esforço de tração**

Os perfis submetidos a esforço de tração são verificados quanto aos estados-limites de escoamento da seção bruta, ruptura da seção líquida, limitação do índice de esbeltez e colapso por rasgamento.

Dados fornecidos pelo usuário

Dado 1. L (cm): comprimento destravado;

Dado 2.  $A_n$  (cm<sup>2</sup>): área líquida;

Dado 3. Ct: coeficiente de redução da área líquida;

Dado 4.  $A_{nv}$  (cm<sup>2</sup>): área líquida sujeita a cisalhamento;

Dado 5.  $A_{nt}$  (cm<sup>2</sup>): área líquida sujeita à tração;

Dado 6.  $A_{gv}$  (cm<sup>2</sup>): área bruta sujeita a cisalhamento.

### **Esforço de compressão**

Os perfis submetidos a esforço de compressão são verificados quanto aos estados-limites de limitação do índice de esbeltez e flambagem.

Dados fornecidos pelo usuário

Dado 1.  $L_x$  (cm): Comprimento da peça no plano  $yz$ ;

Dado 2.  $L_y$  (cm): Comprimento da peça no plano  $xz$ ;

Dado 3.  $L_z$  (cm): Comprimento da peça;

Dado 4.  $K_x$ : coeficiente de flambagem por flexão em torno do eixo  $x$ ;

Dado 5.  $K_y$ : coeficiente de flambagem por flexão em torno do eixo  $y$ ;

Dado 6.  $K_z$ : coeficiente de flambagem por torção.

### **Esforço de flexão em $x$**

Os estados-limites considerados na verificação dependem se o perfil é laminado ou soldado e se a alma é esbelta ou não. Para os perfis soldados de alma não-esbelta, verificam-se os estados-limites de flambagem lateral com torção, flambagem local da mesa, flambagem local da alma, validade de análise elástica e ruptura da mesa tracionada. Se a alma for esbelta, a verificação considera escoamento da mesa tracionada, flambagem lateral com torção, flambagem local da mesa e restrições geométricas de área e de esbeltez da alma. Os perfis laminados são verificados de acordo com os mesmos estados-limites que os soldados para o caso de alma não-esbelta, no entanto, não são avaliados para vigas de alma esbelta.

Dados fornecidos pelo usuário

Dado 1.  $L_b$  (cm): comprimento destravado;

Dado 2.  $C_b$ : fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme;

Dado 3.  $a$  (cm): distância entre enrijecedores transversais ( $a=L_b$  quando não houver enrijecedores);

Dado 4.  $A_{fn}$  (cm<sup>2</sup>): área líquida da mesa tracionada.

### **Esforço de flexão em $y$**

Assim como para o esforço de flexão em  $x$ , os estados-limites avaliados na verificação dependem do tipo do perfil e da esbeltez da alma. Os perfis soldados e laminados de alma não-esbelta são verificados quanto à flambagem local da mesa, validade da análise

elástica e ruptura da mesa tracionada. Verificação de perfis de alma esbelta fletidas em torno do eixo de menor inércia não é considerada tanto para perfis soldados quanto laminados.

Dados fornecidos pelo usuário

Dado 1.  $A_{fn}$  ( $\text{cm}^2$ ): área líquida da mesa tracionada.

### **Esforço cortante considerando flexão em x**

Os perfis submetidos a esforço cortante são verificados quanto aos estados-limites de escoamento e flambagem.

Dados fornecidos pelo usuário

N/A.

### **Esforço cortante considerando flexão em y**

Os perfis submetidos a esforço cortante são verificados quanto aos estados-limites de escoamento e flambagem.

Dados fornecidos pelo usuário

Dado 1.  $k_v$ : parâmetro de flambagem de cisalhamento.

Resistência	
Tração	
Combinação	Normal
L [cm]	100,00
$A_n$ [ $\text{cm}^2$ ]	23,39
Ct	1,00
$A_{nv}$ [ $\text{cm}^2$ ]	23,39
$A_{nt}$ [ $\text{cm}^2$ ]	23,39
$A_{gv}$ [ $\text{cm}^2$ ]	23,39

Figura 3.2.4: Parâmetros para solicitação de tração.

Resumo				
Estado Limite	Valor Projeto	Valor Admissível	Segurança (%)	Status
Esbeltez	43.1	300	596	✓
Escoamento da Secao Bruta	200	531.59	165.8	✓
Ruptura da Secao Liquida	200	693.04	246.52	✓
Colapso por rasgamento	200	952.93	376.46	✓

Figura 3.2.5: Resultado para solicitação de tração.

Com o resultado da verificação, a aba Relatório apresenta a opção de gerar um arquivo pdf com os valores dos parâmetros utilizados e a tabela com os estados-limites considerados. As Figuras 3.2.6 e Figura 3.2.7 ilustram a aba Relatório e os dados contidos no arquivo pdf gerado.

Resumo				
Estado Limite	Valor Projeto	Valor Admissível	Segurança (%)	Status
Esbeltez	43.1	300	596	OK
Escoamento da Secao Bruta	200	531.59	165.8	OK
Ruptura da Secao Liquida	200	693.04	246.52	OK
Colapso por rasgamento	200	952.93	376.46	OK

Figura 3.2.6: Aba Relatório.

## Tração

### Parâmetros

- Area (área bruta da seção transversal) = 23.39 cm<sup>2</sup>
- fy (resistência ao escoamento do aço) = 25.00 kN/cm<sup>2</sup>
- γa1 (coeficiente de ponderação das resistências) = 1.1
- Ct (coeficiente de redução da área líquida) = 1.00
- An (área líquida da barra) = 23.39 cm<sup>2</sup>
- fu (resistência à ruptura do aço) = 40.00 kN/cm<sup>2</sup>
- γa2 (coeficiente de ponderação das resistências) = 1.35
- L (comprimento destravado) = 100.00 cm
- rx (raio de giração no eixo x) = 6.34 cm
- ry (raio de giração no eixo y) = 2.32 cm
- Anv (área líquida sujeita a cisalhamento) = 23.39 cm<sup>2</sup>
- Ant (área líquida sujeita à tração) = 23.39 cm<sup>2</sup>
- Agv (área bruta sujeita a cisalhamento) = 23.39 cm<sup>2</sup>
- NSd (esforço axial solicitante de cálculo) = 200.00 kN

### Resumo

Estado Limite	Valor Projeto	Valor Admissível	Segurança (%)	Status
Esbeltez	43.1	300	596	OK
Escoamento da Secao Bruta	200	531.59	165.8	OK
Ruptura da Secao Liquida	200	693.04	246.52	OK
Colapso por rasgamento	200	952.93	376.46	OK

Figura 3.2.7: Arquivo pdf.

## Capítulo 4

### Aplicação

Para exemplificar o uso do Eiffel, os exemplos de 1 a 5 verificam a viga engastada da Figura 4.1 submetida a carregamentos de tração, compressão, flexão e corte. Em todos os exemplos, o aço utilizado é o MR 250, o perfil da seção é I simétrico laminado com bitola W 200 x 19,3. A flexão se dá em torno do eixo de maior inércia. Não há presença de enrijecedores transversais. A Figura 4.2 apresenta a aba Verificação do Eiffel preenchida, que é a mesma em todos os exemplos.



Figura 4.1: Viga engastada.

Captura de tela de uma interface de software intitulada "Verificação". O formulário contém quatro campos de seleção com as seguintes opções:

Componente	Perfil
Aço	MR 250
Seção	I Sim Laminado
Bitola	W 200 x 19,3 (I)

Figura 4.2: Dados da aba Verificação.

#### Exemplo 1

Submete-se a barra da Figura 4.1 a uma carga vertical  $P = 4$  kN na extremidade livre, conforme mostra a Figura 4.3. A combinação utilizada na sollicitação é a normal.

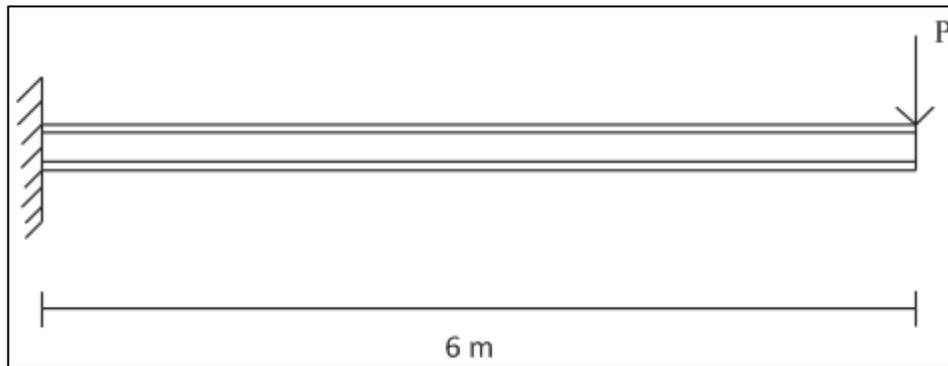


Figura 4.3: Barra sujeita a carga vertical P.

Sob esse carregamento, por equilíbrio rotacional, tem-se que o momento fletor  $M_{Sd}$  é de 2400 kN.cm. Dessa forma, a barra deve ser verificada quanto aos esforços de flexão (2400 kN.cm) e corte (4 kN). Por equilíbrio translacional da peça, tem-se que o esforço cortante  $V_{Sd}$  é de 4 kN.

#### Verificação quanto à flexão

Para a verificação quanto ao esforço de flexão, seleciona-se a opção Fletor x na aba de Solicitação e, em seguida, preenche-se o campo  $M_{sd}$  com o valor de 2400 kN.cm e seleciona-se a combinação normal. A Figura 4.4 apresenta a aba Solicitação citada. Na sequência, a verificação é finalizada na aba Resistência, onde se deve fornecer os parâmetros necessários. As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam, respectivamente, os dados já fornecidos e o resultado gerado pelo Eiffel.

A imagem mostra a interface de um software de cálculo. No topo, há uma aba intitulada 'Fletor x'. Abaixo, há um campo de entrada rotulado 'Msd [kN.cm]' que contém o valor numérico '2400,00'.

Figura 4.4: Solicitação de momento fletor.

Resistência

Fletor x Verificar

Combinção: Normal

Lb [cm]: 600,00

Cb: 1,00

a [cm]: 600,00

Afm [cm<sup>2</sup>]: 6,63

Figura 4.5: Parâmetros para a verificação quanto ao momento fletor.

Resumo

Estado Limite	Valor Projeto	Valor Admissível	Segurança (%)	Status
Flambagem Lateral com Torção	2400	1392.38	-41.98	✘
Flambagem Local da Mesa	2400	4331.82	80.49	✔
Flambagem Local da Alma	2400	4331.82	80.49	✔
Análise Elástica	2400	5662.84	135.95	✔
Ruptura da Mesa Tracionada	2400	N/A	N/A	✔

Figura 4.6: Verificação quanto ao momento fletor.

Pela Figura 4.6, conclui-se que a verificação não é satisfeita para o estado-limite de flambagem lateral com torção (FLT). Logo, o perfil verificado não suporta o carregamento de flexão solicitante.

#### Verificação quanto ao corte

Analogamente ao caso de flexão, o preenchimento da aba Solicitação é o primeiro passo. Seleciona-se a opção Corte y, uma vez que o cortante é gerado no eixo perpendicular ao de flexão. O valor de Vsd é de 4 kN e a combinação escolhida é a normal. A Figura 4.7 ilustra a aba Solicitação. A aba Resistência é preenchida apenas com kv, cujo valor é 5 porque não há enrijecedores transversais. A Figura 4.8 fornece o resultado gerado pelo Eiffel.

Corte y

Vsd [kN]: 4

Figura 4.7: Solicitação de corte.

Figura 4.8: Verificação quanto ao cortante.

Percebe-se que para o carregamento aplicado, a verificação é satisfeita. O perfil, portanto, suporta o carregamento de cisalhamento solicitante. Apesar de o perfil suportar o carregamento cortante, para a carga  $P$  aplicada, a verificação não está satisfeita porque não resiste à flexão.

### Exemplo 2

A barra da Figura 4.1 é submetida à carga horizontal de compressão  $C$  de 50 kN, conforme mostrado na Figura 4.9. A combinação utilizada na verificação é a normal.

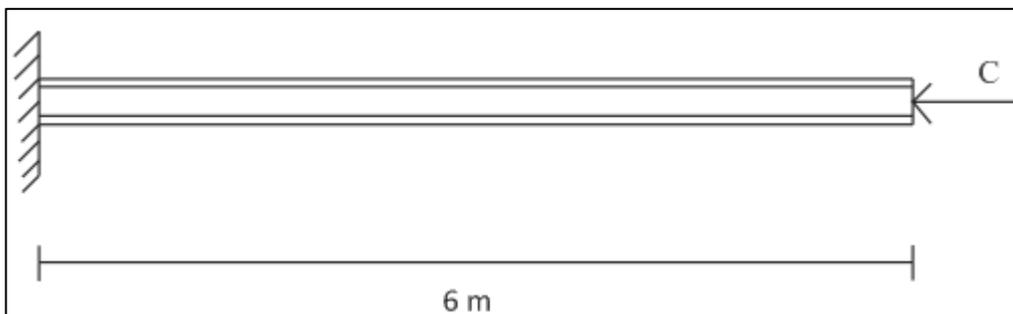


Figura 4.9: Viga sujeita à carga horizontal  $C$ .

Como a força é aplicada somente na direção horizontal, não há rotação da peça e consequentemente o momento fletor gerado é nulo. Por equilíbrio translacional, a força gerada no engaste é de 50 kN na direção horizontal. Dessa maneira, a única verificação necessária é quanto à compressão.

#### Verificação quanto à compressão

O procedimento de verificação é análogo ao explicado no Exemplo 1. As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam, respectivamente, a aba Solicitação, os parâmetros preenchidos e o resultado da verificação gerado pelo Eiffel.

Figura 4.10: Solicitação de compressão.

Figura 4.11: Parâmetros para verificação quanto a compressão.

Estado Limite	Valor Projeto	Valor Admissível	Segurança (%)	Status
Esbeltez	587,77	200	-65,97	✘
Flambagem	50	11,45	-77,1	✘

Figura 4.12: Verificação de compressão.

Conforme mostrado na Figura 4.12, os estado-limite de esbeltez e flambagem não são satisfeitos, ou seja, o perfil escolhido não suporta o carregamento de compressão solicitante.

### Exemplo 3

A barra da Figura 4.1 é submetida a um esforço horizontal de tração  $T$ , conforme ilustrado na Figura 4.13.

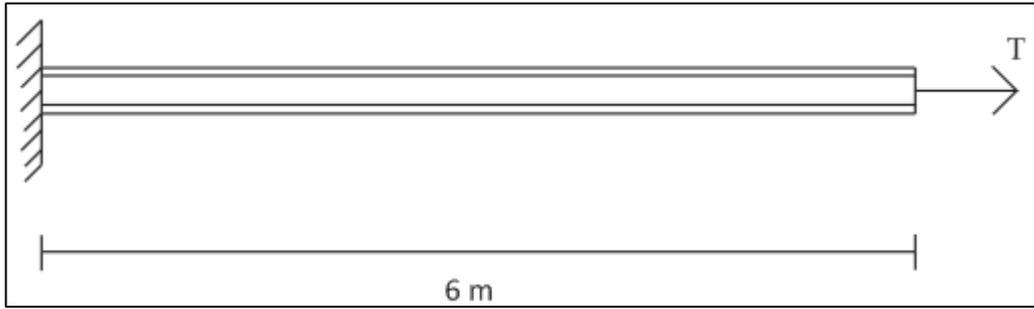


Figura 4.13: Barra sujeita à carga horizontal T.

Assim como no Exemplo 2, como a força é aplicada somente na direção horizontal, não há rotação da peça e conseqüentemente o momento fletor gerado é nulo. Por equilíbrio translacional, a força resistente no engaste é de 50 kN na direção horizontal. Dessa maneira, necessita-se apenas verificar a barra quanto à tração.

Verificação quanto à tração

As Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 apresentam, respectivamente, a aba Solicitação para o caso de tração, os parâmetros preenchidos e o resultado gerado pelo Eiffel na aba Resistência.

The screenshot shows the 'Solicitação' (Load) tab in a software interface. The load type is set to 'Tração' (Tension). The value for 'Nsd [kN]' is entered as 50,00.

Figura 4.14: Solicitação de tração.

The screenshot shows the 'Resistência' (Resistance) tab in the software interface. The load type is 'Tração' (Tension). The parameters are set as follows:

Parâmetro	Valor
Combinação	Normal
L [cm]	600,00
An [cm²]	25,14
Ct	1,00
Anv [cm²]	25,14
Ant [cm²]	25,14
Agv [cm²]	25,14

A 'Verificar' (Verify) button is visible in the top right corner.

Figura 4.15: Parâmetros para verificação quanto à tração.

Resumo				
Estado Limite	Valor Projeto	Valor Admissível	Segurança (%)	Status
Esbeltez	280,37	300	7	✓
Escoamento da Secao Bruta	50	571,36	1042,73	✓
Ruptura da Secao Liquida	50	744,89	1389,78	✓
Colapso por rasgamento	50	1024,22	1948,44	✓

Figura 4.16: Verificação de tração.

Pelo resultado mostrado, percebe-se que todos os estados-limites verificados estão satisfeitos. Dessa forma, a peça suporta o carregamento de tração solicitante.

#### Exemplo 4

A barra da Figura 4.1 é submetida às cargas P e C dos Exemplos 1 e 2 combinadas, isto é, as duas agem ao mesmo tempo na peça, conforme mostrado na Figura 4.17.

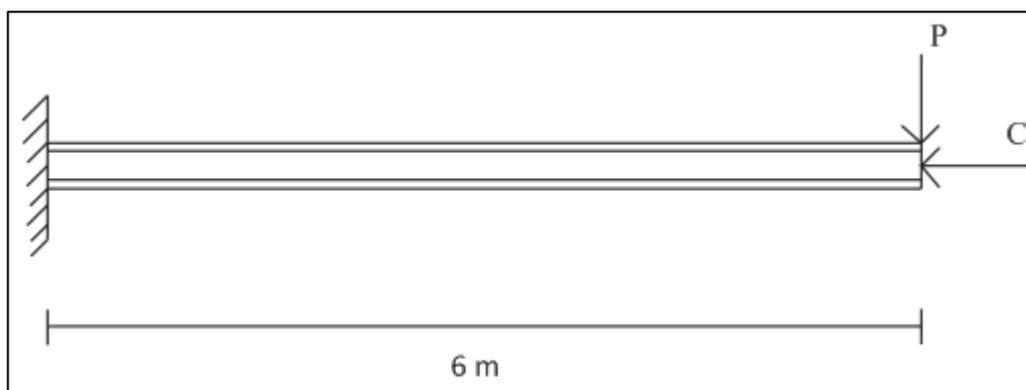


Figura 4.17: Viga sujeita às cargas combinadas P e C.

Nesse caso, a barra é submetida aos esforços de flexão, corte e compressão. Para a verificação, o preenchimento da aba Solicitação é a mesmo realizado nos Exemplos 1 e 2, a diferença ocorre na aba Resistência. Nessa etapa, deve-se fornecer os parâmetros de cada esforço (no caso os de compressão, fletor x e corte y) e, em seguida, gerar o resultado na opção Combinado. As Figuras 4.17 e 4.18 ilustram, respectivamente, a aba Solicitação e o resultado do carregamento combinado na aba Resistência.

Compressão

Nsd [kN]

---

Fletor x

Msd [kN.cm]

---

Fletor y

---

Corte x

---

Corte y

---

Vsd [kN]

Figura 4.17: Solicitação de compressão, flexão e corte.

Combinado Verificar

Resumo

Combinação	Status
Compressão e Flexão	✘

Figura 4.18: Resultado das solicitações combinadas.

Percebe-se que a barra não suporta os esforços combinados, o que já era esperado, pois não resiste aos esforços individuais.

### Exemplo 5

Analogamente ao Exemplo 4, a barra da Figura 4.1 é submetida a uma combinação de cargas. As cargas P e T dos Exemplos 1 e 3 são aplicadas simultaneamente na barra, conforme mostrado na Figura 4.19.

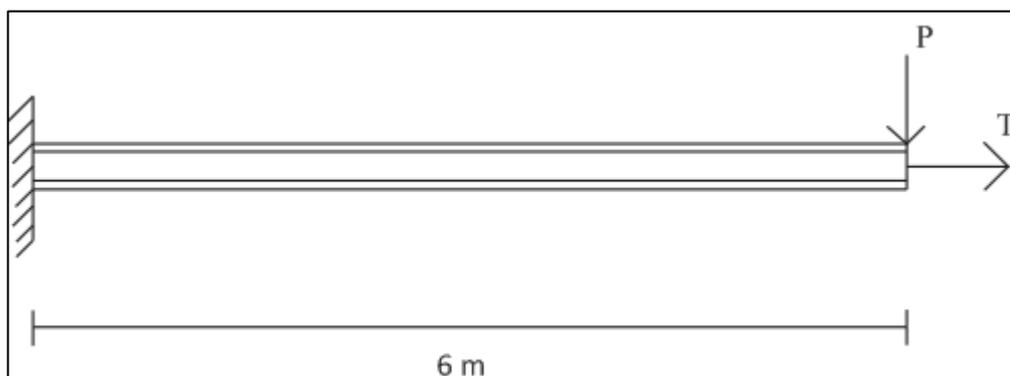


Figura 4.19: Viga sujeita às cargas combinadas P e T.

Nesse caso, a combinação de cargas gera esforços de tração, flexão e corte. As Figuras 4.20 e 4.21 apresentam, respectivamente, a aba Solicitação preenchida e o resultado do carregamento combinado na aba Resistência.

Tração	Ntd [kN]	50,00
Compressão		
Fletor x	Msd [kN.cm]	2400,00
Fletor y		
Corte x		
Corte y	Vsd [kN]	4

Figura 4.20: Solicitação de tração, flexão e corte.

Combinação	Status
Tração e Flexão	✘

Figura 4.21: Resultado das solicitações combinadas.

Analogamente ao Exemplo 4, o perfil não resiste ao carregamento combinado solicitante, o que é esperado já que a flexão não está satisfeita.

## **Capítulo 5**

### **Conclusão**

O presente trabalho visa auxiliar a verificação de perfis de aço submetidos a esforços usuais de projeto (tração, compressão, flexão e corte). Os resultados gerados pelo Eiffel apresentam ao usuário todos os estados-limites verificados para cada esforço na forma de tabela e um status que indica se a verificação está OK. Trata-se de um software de aplicação tanto acadêmica, sendo útil nos cursos de estruturas de aço das faculdades de engenharia civil, quanto comercial, podendo ser utilizada por escritórios de cálculo de estruturas. As sugestões para trabalhos futuros existem em algumas abas do programa, conforme listado abaixo.

#### **Aba Verificação**

Na opção Componente, é possível uma expansão da verificação para ligações parafusadas e soldadas. Os tipos de aço e as bitolas disponíveis na biblioteca do Eiffel são sujeitas a alterações, podendo ser expandidas. Além disso, verificação de outras seções como U, L, T são também possíveis de serem implementadas.

#### **Aba Solicitação**

Os esforços considerados no Eiffel são tração, compressão, flexão e corte. Outras solicitações como momento torçor ou aplicação de carga localizada são algumas sugestões para futuras ampliações.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR8800: Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto para edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

GUANABARA, M.K., **Dimensionamento de estruturas metálicas: rotina computacional para seleção de perfis metálicos**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

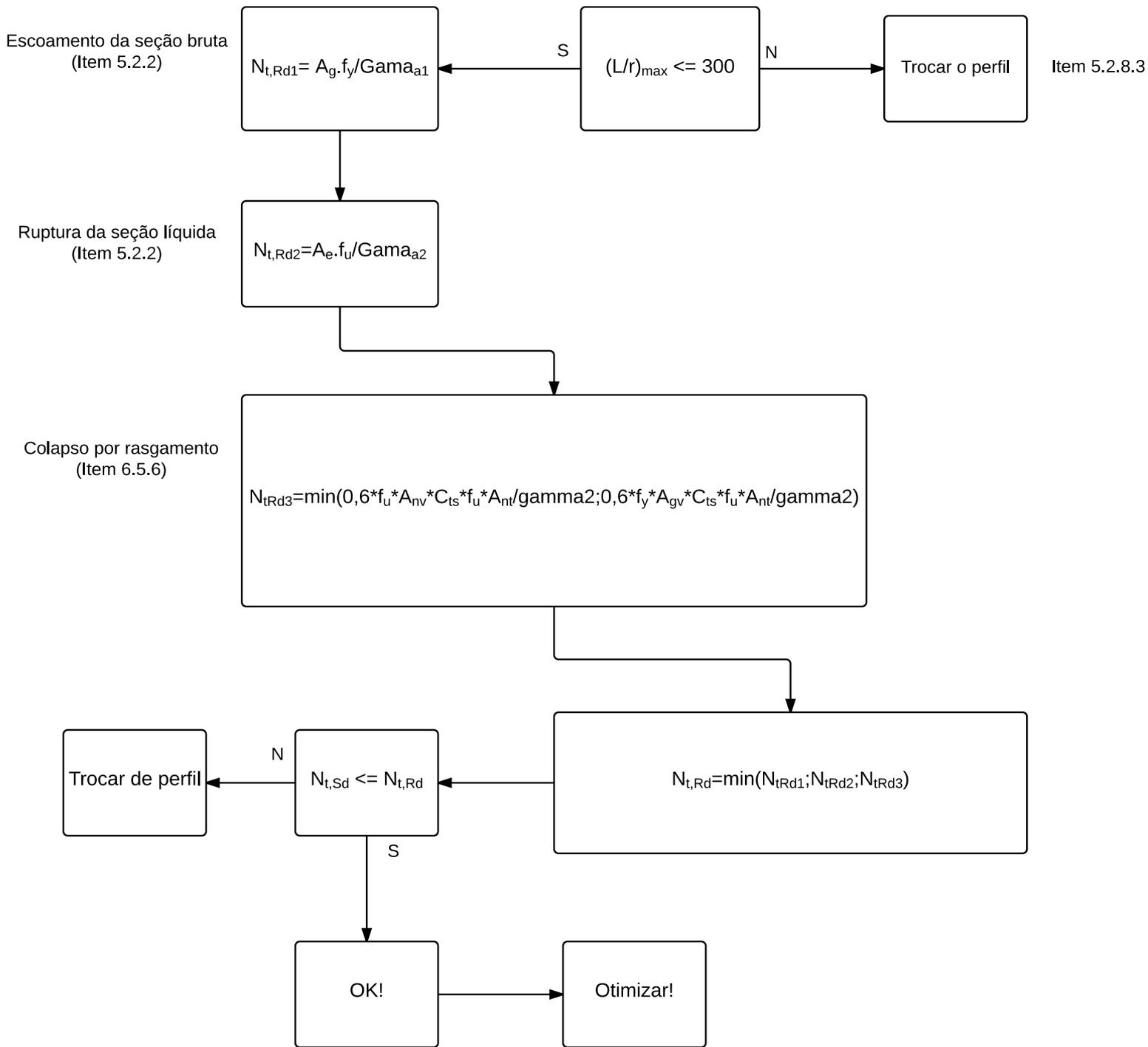
SIMSEN, A.R., **Programa computacional para verificação de perfil I laminado ou soldado conforme NBR8800: 2008**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

CHIARELLO, J.A.; PRAVIA, Z.M.C., **VisualMetal**, Programa de verificação de perfis laminados e soldados de acordo com as prescrições da NBR8800. 2007. Disp. em [http://www.ecivilnet.com/software/visualmetal\\_perfis\\_laminados\\_soldados.htm](http://www.ecivilnet.com/software/visualmetal_perfis_laminados_soldados.htm).

SILVA, N.C. et al., **AutoMetal**, versão 4.1, Programa educacional para facilitar os projetos de estruturas metálicas no curso de engenharia civil. 2003. Disp. em [http://www.ecivilnet.com/software/autometal\\_estruturas\\_metalicas.htm](http://www.ecivilnet.com/software/autometal_estruturas_metalicas.htm).

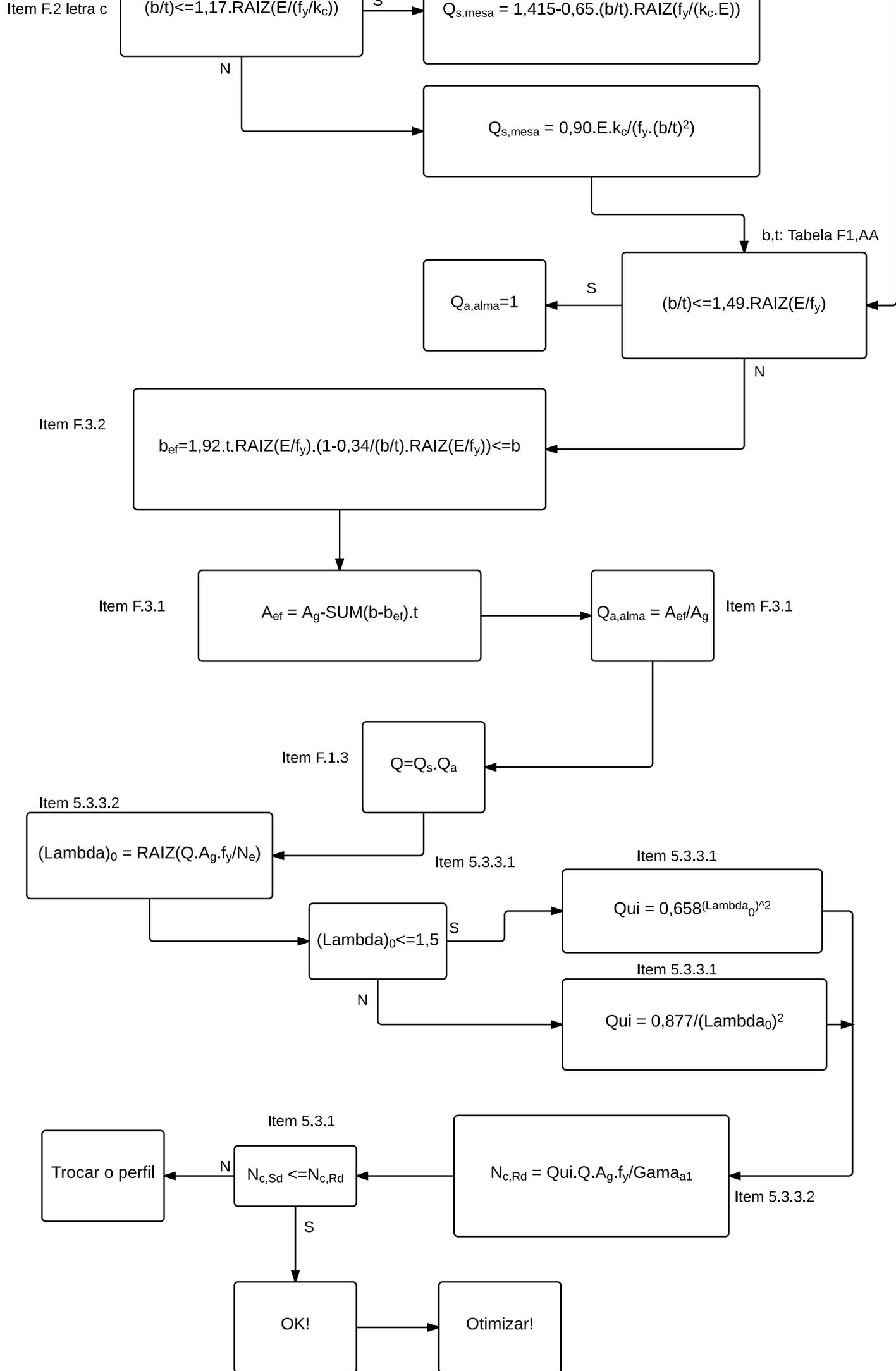
## **Anexo 1**

### **Fluxograma de tração: perfis I, U e L**



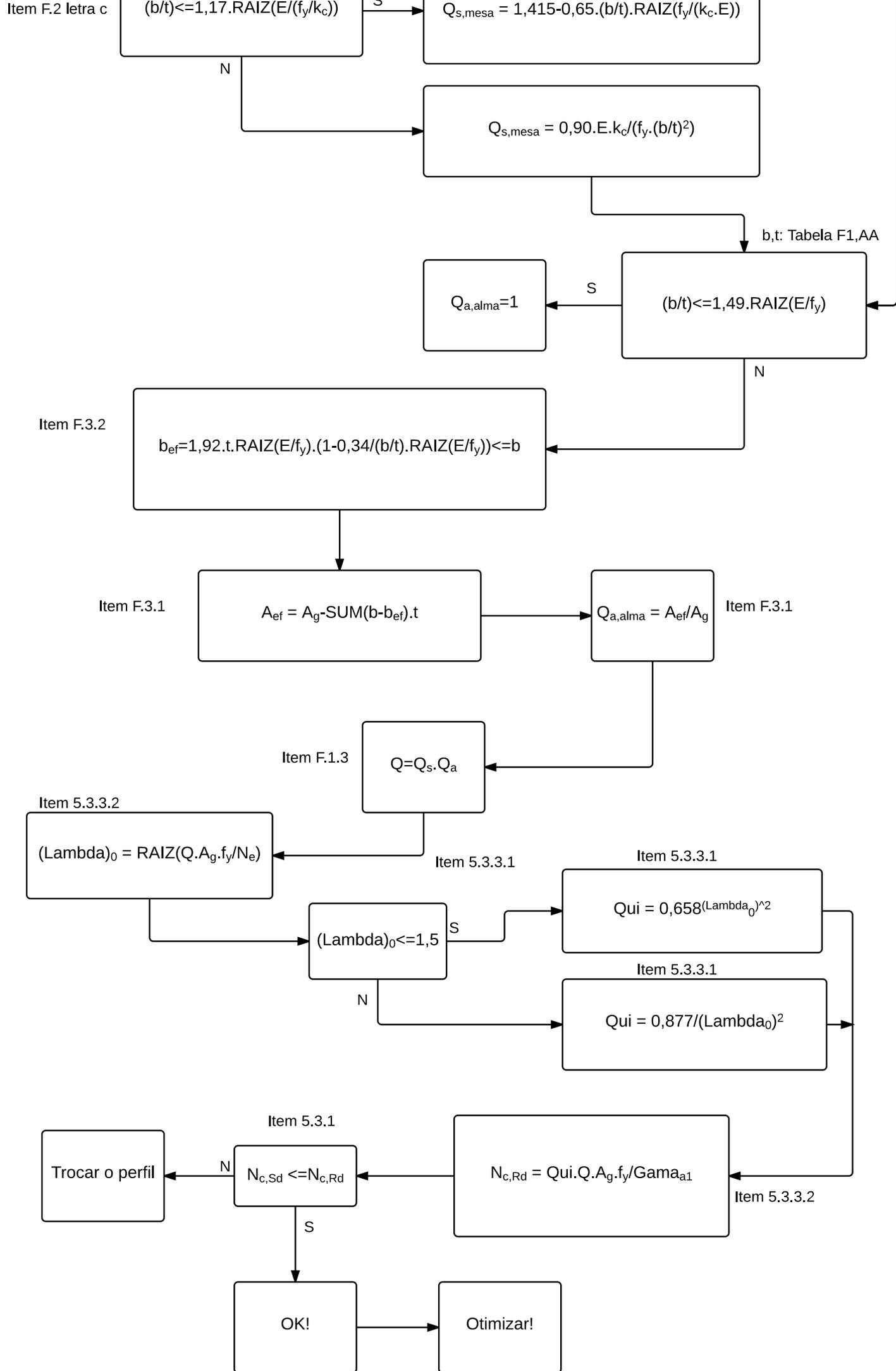
## **Anexo 2**

### **Fluxograma de compressão: perfil I duplamente simétrico**



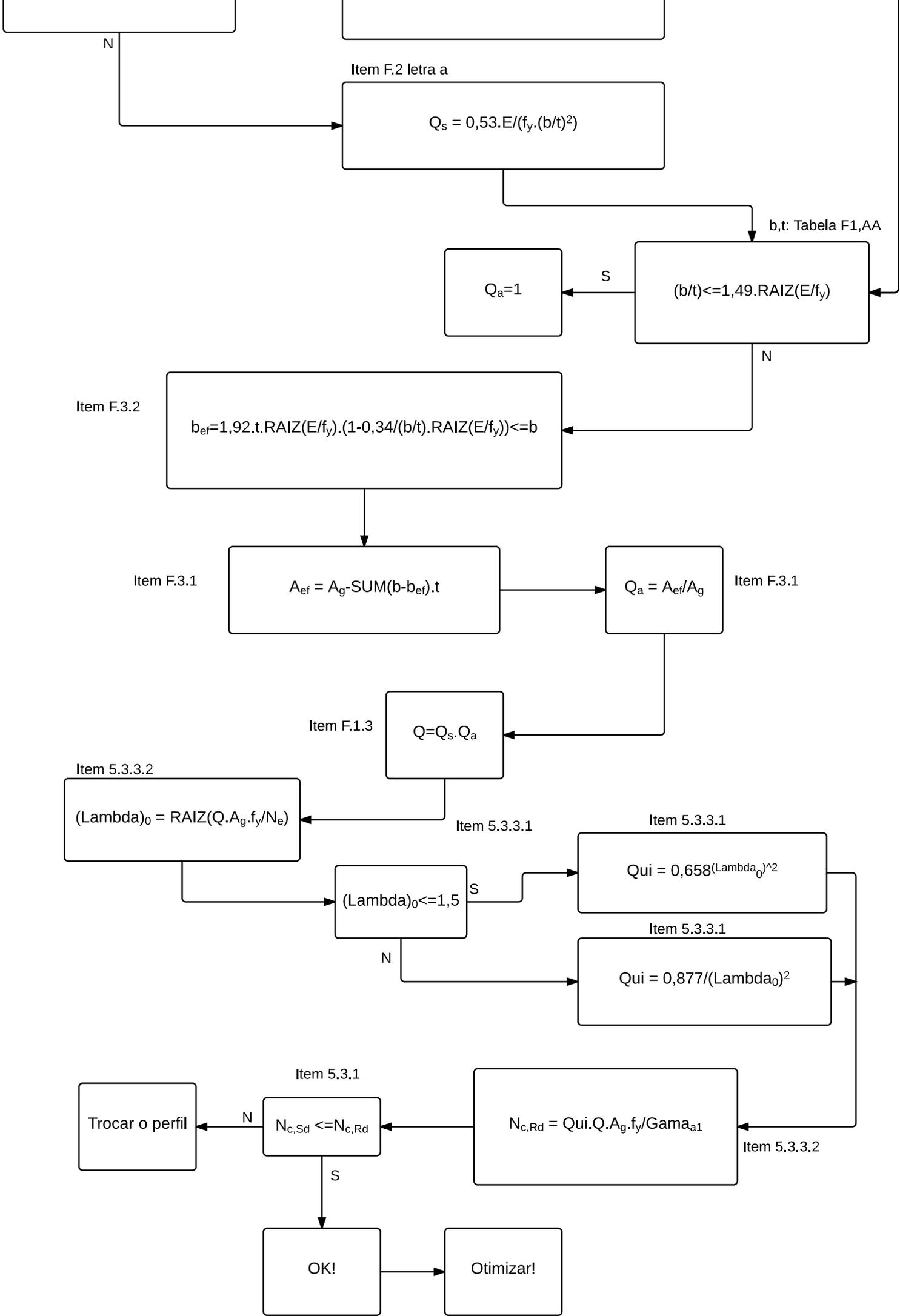
## **Anexo 3**

### **Fluxograma de compressão: perfil U**



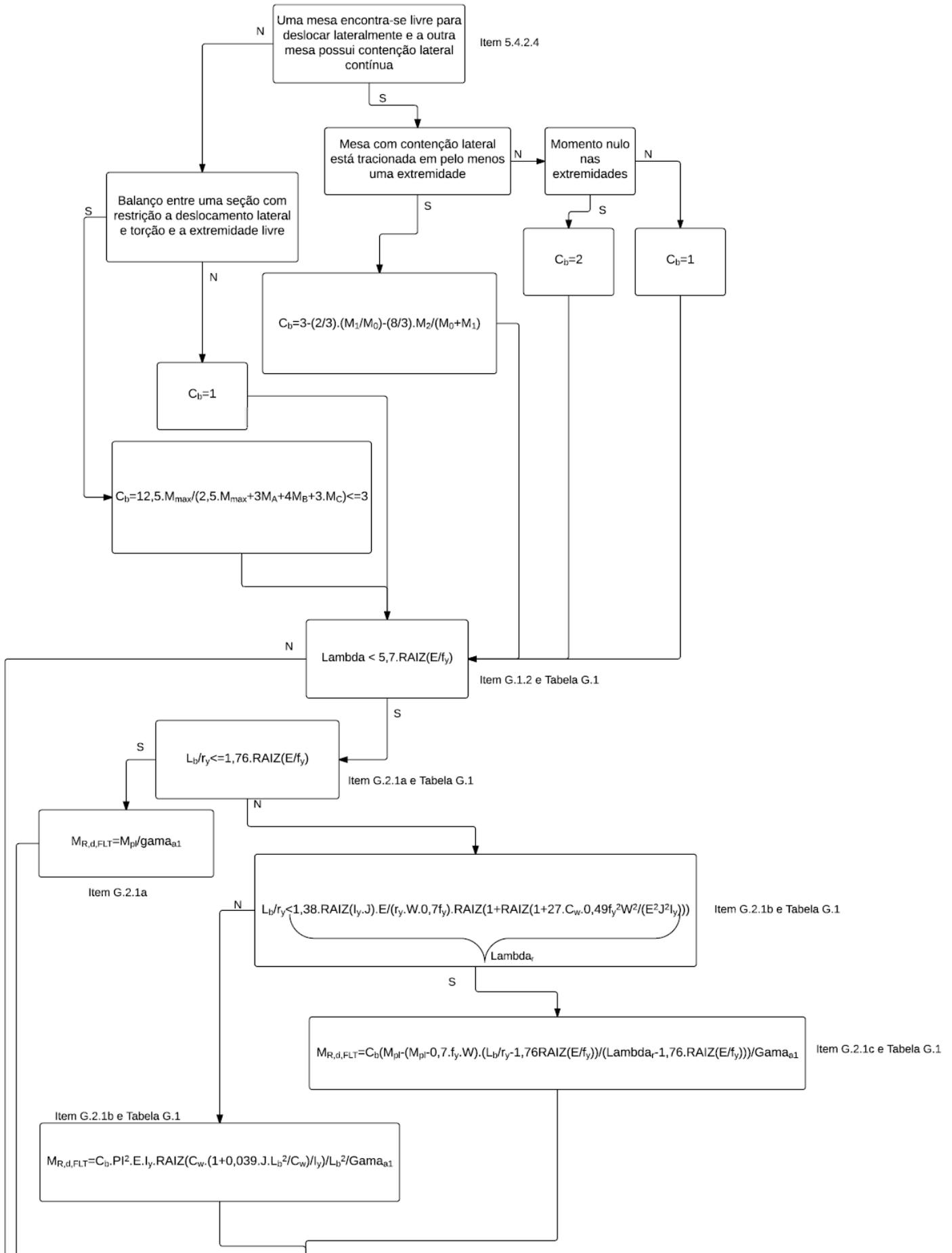
## **Anexo 4**

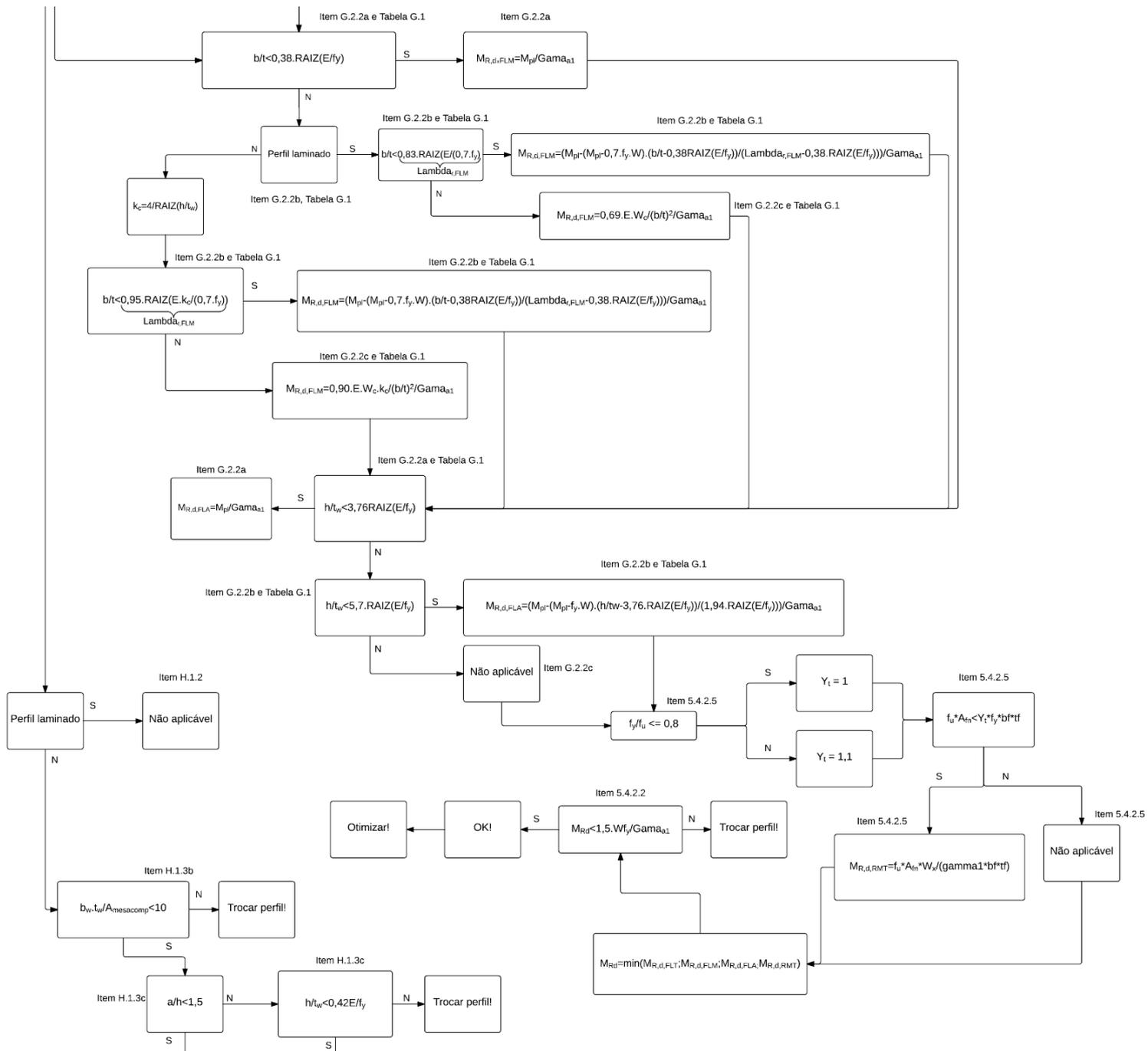
### **Fluxograma de compressão: perfil L com abas iguais**



## **Anexo 5**

**Fluxograma de flexão em torno do eixo de maior inércia:  
perfil I duplamente simétrico**

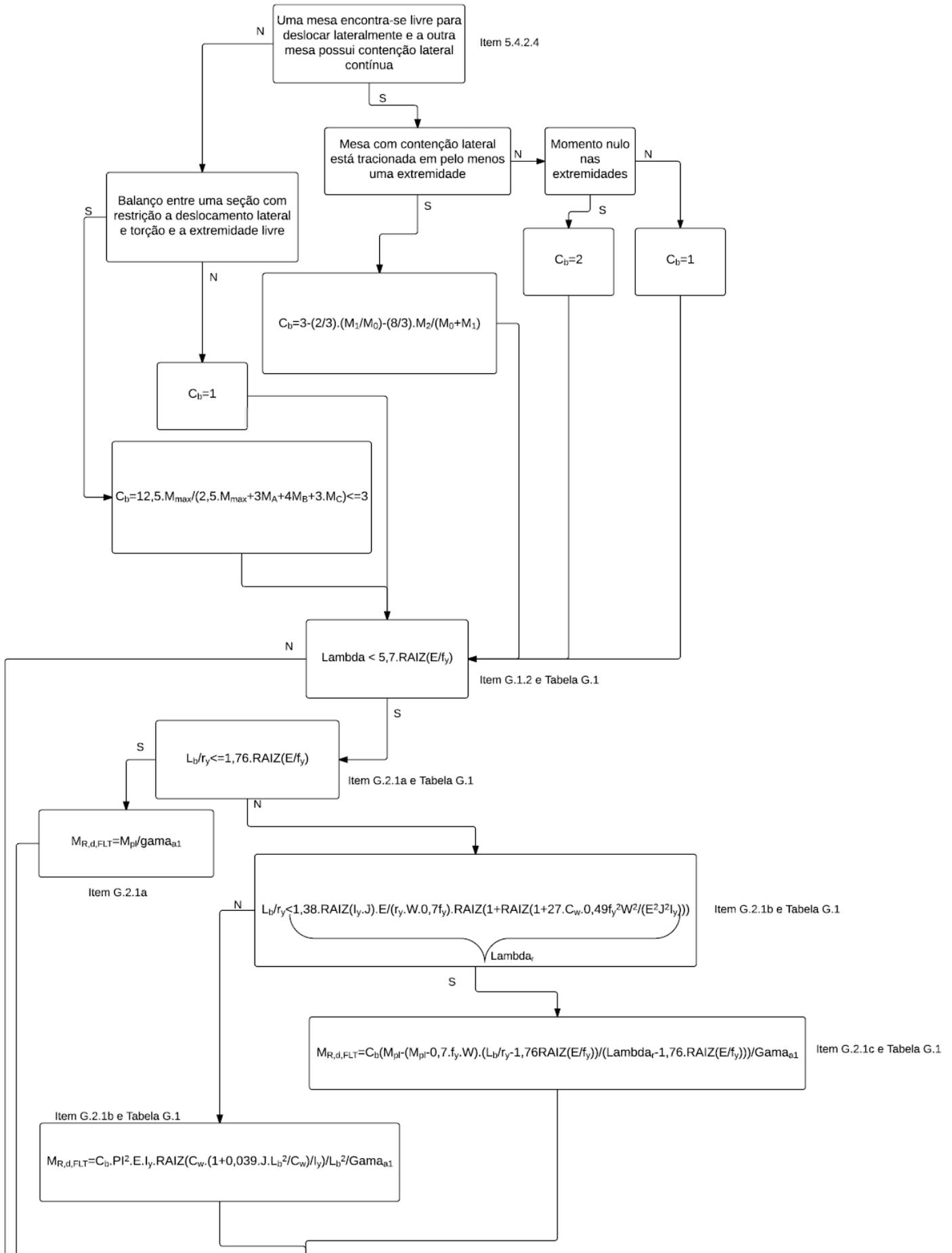


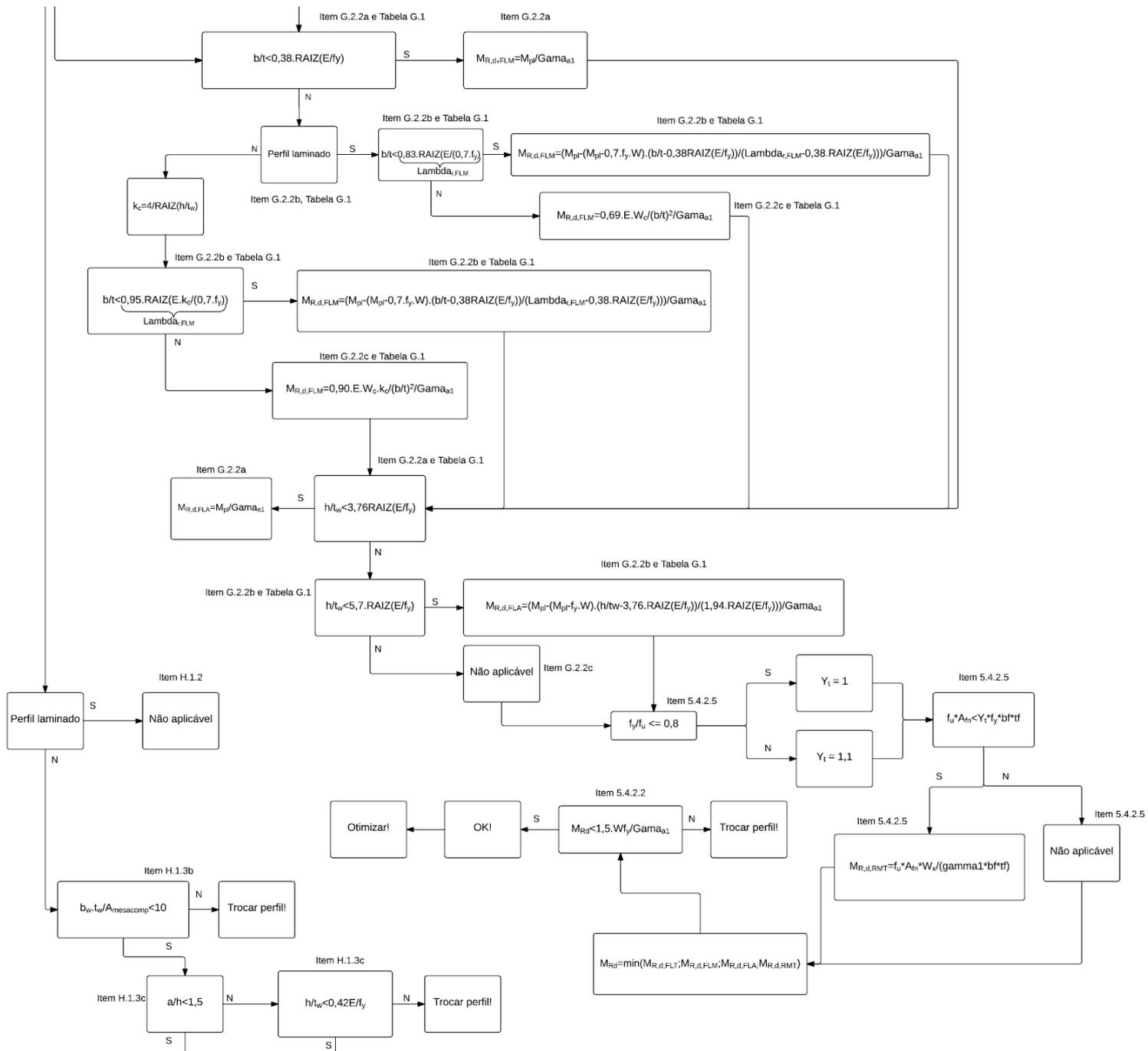




## **Anexo 6**

**Fluxograma de flexão em torno do eixo de maior inércia:  
perfil U**

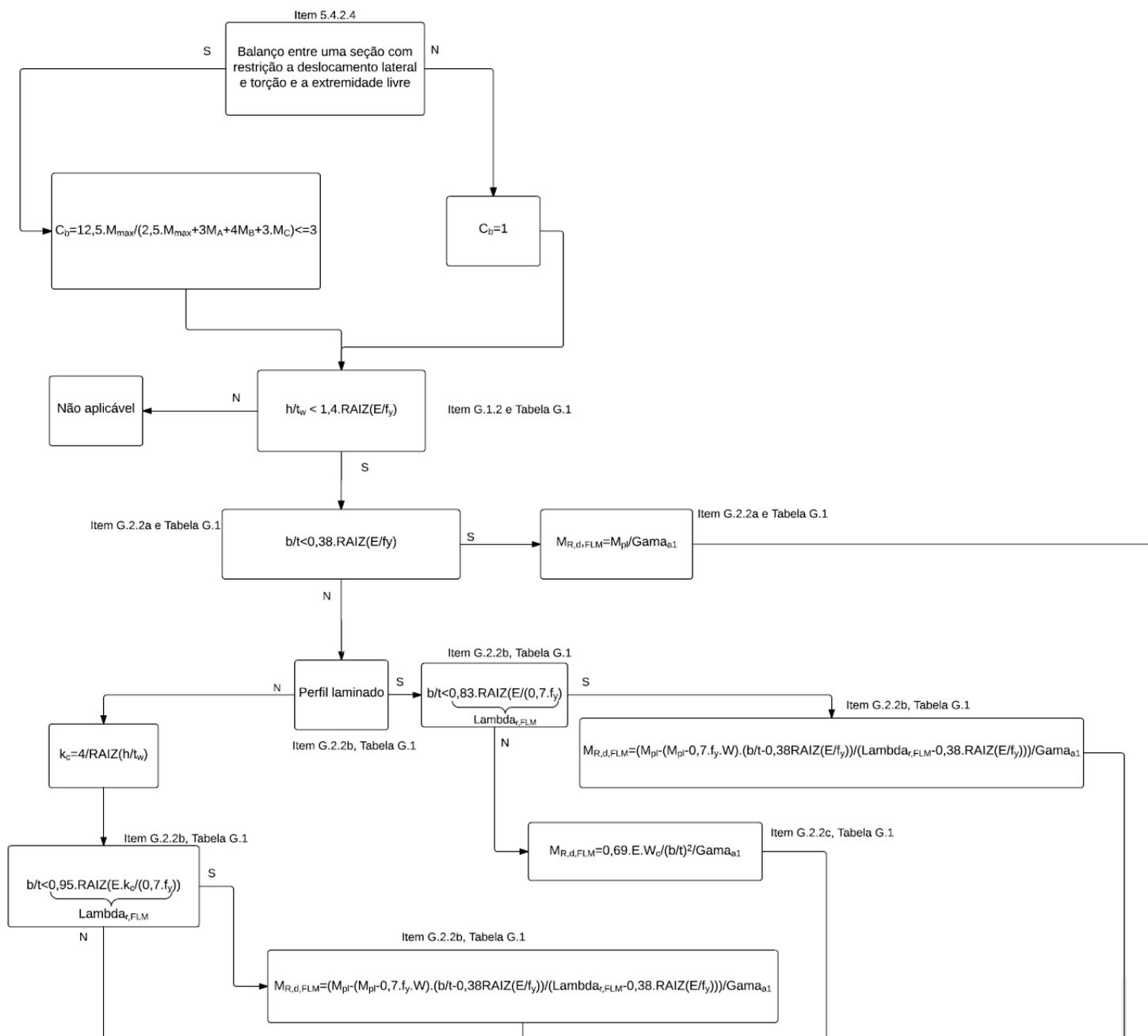


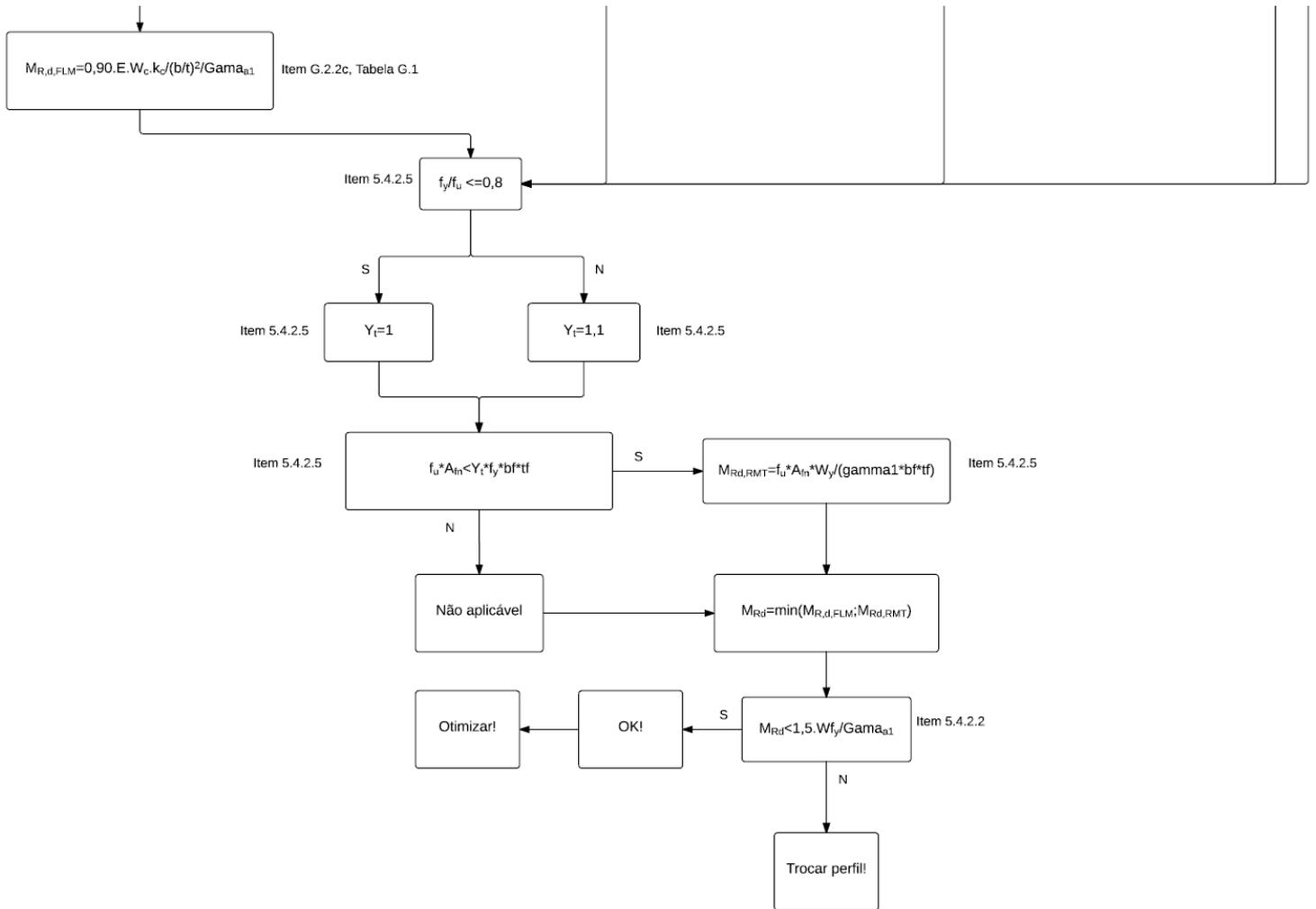




## **Anexo 7**

**Fluxograma de flexão em torno do eixo de menor inércia:  
perfil I duplamente simétrico**

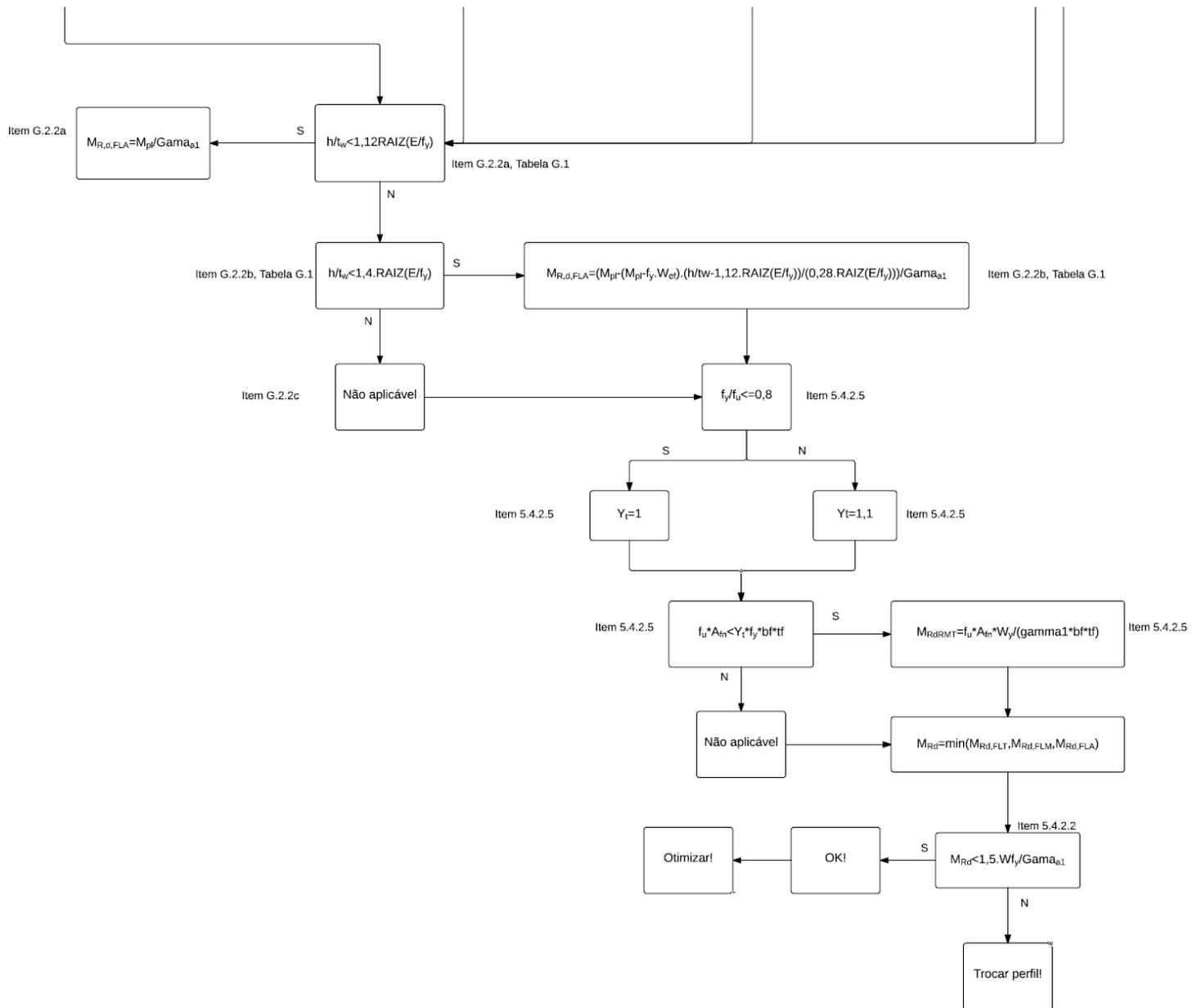




## **Anexo 8**

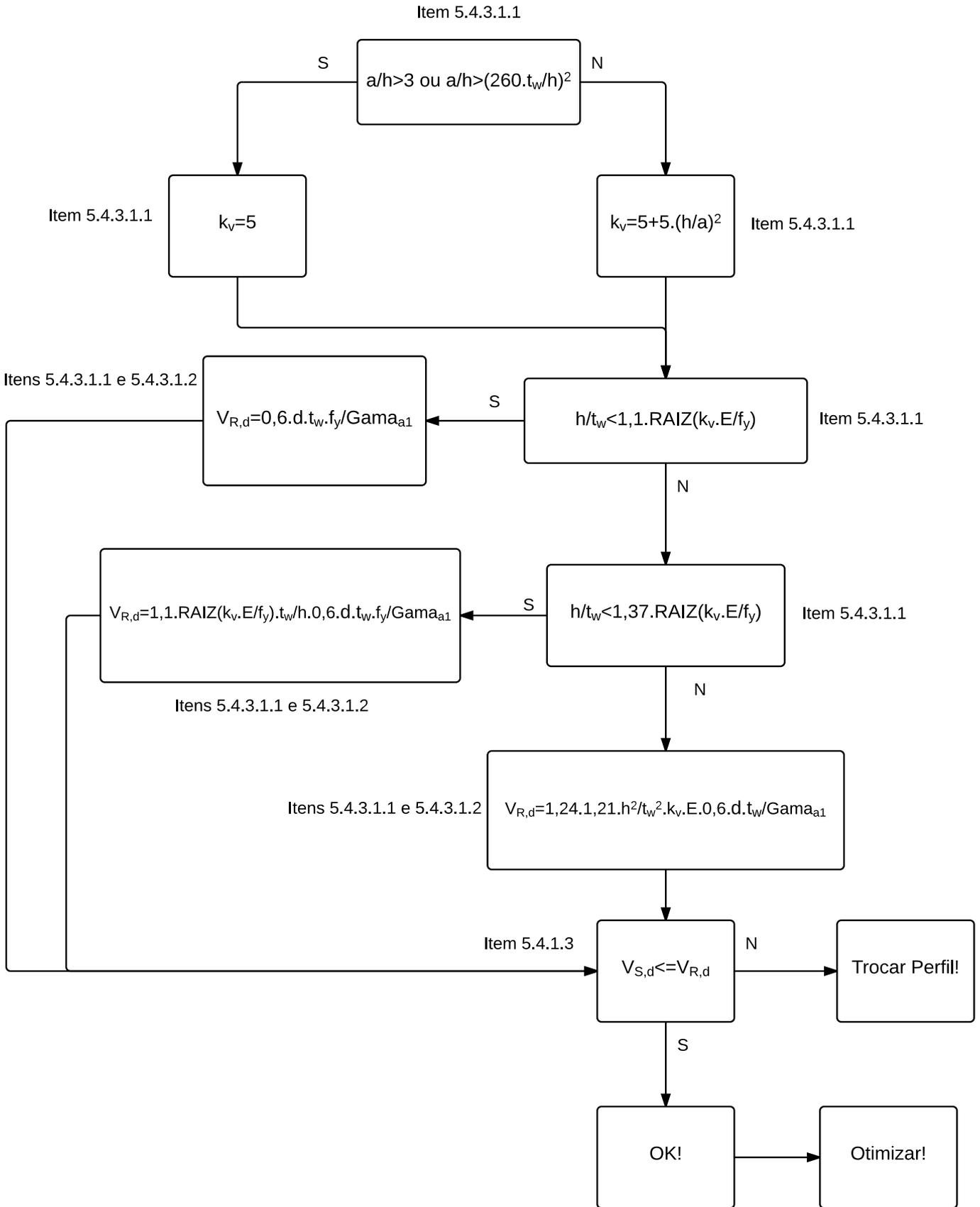
**Fluxograma de flexão em torno do eixo de menor inércia:  
perfil U**





## **Anexo 9**

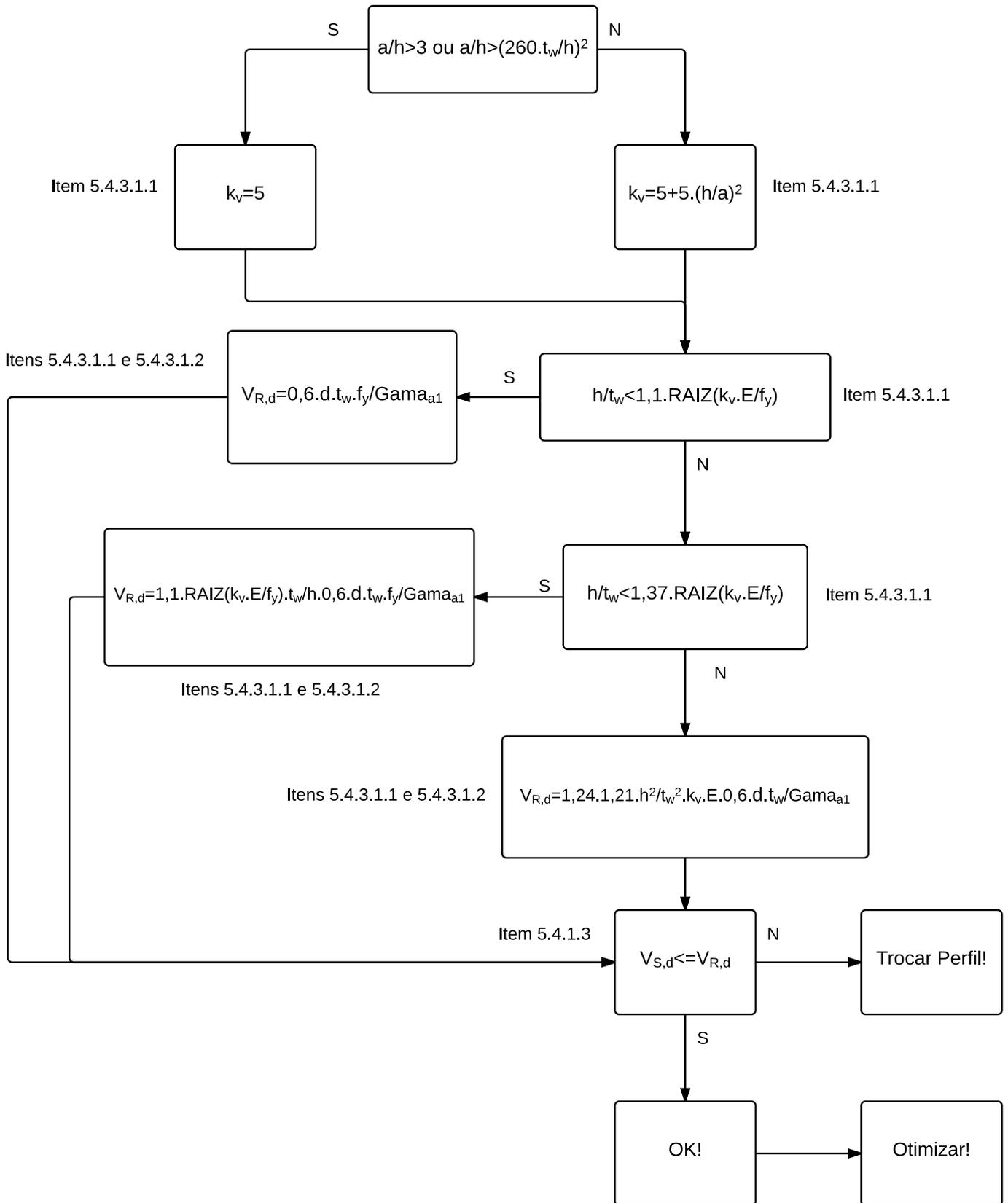
**Fluxograma de corte no eixo de maior inércia: perfil I  
duplamente simétrico**



## **Anexo 10**

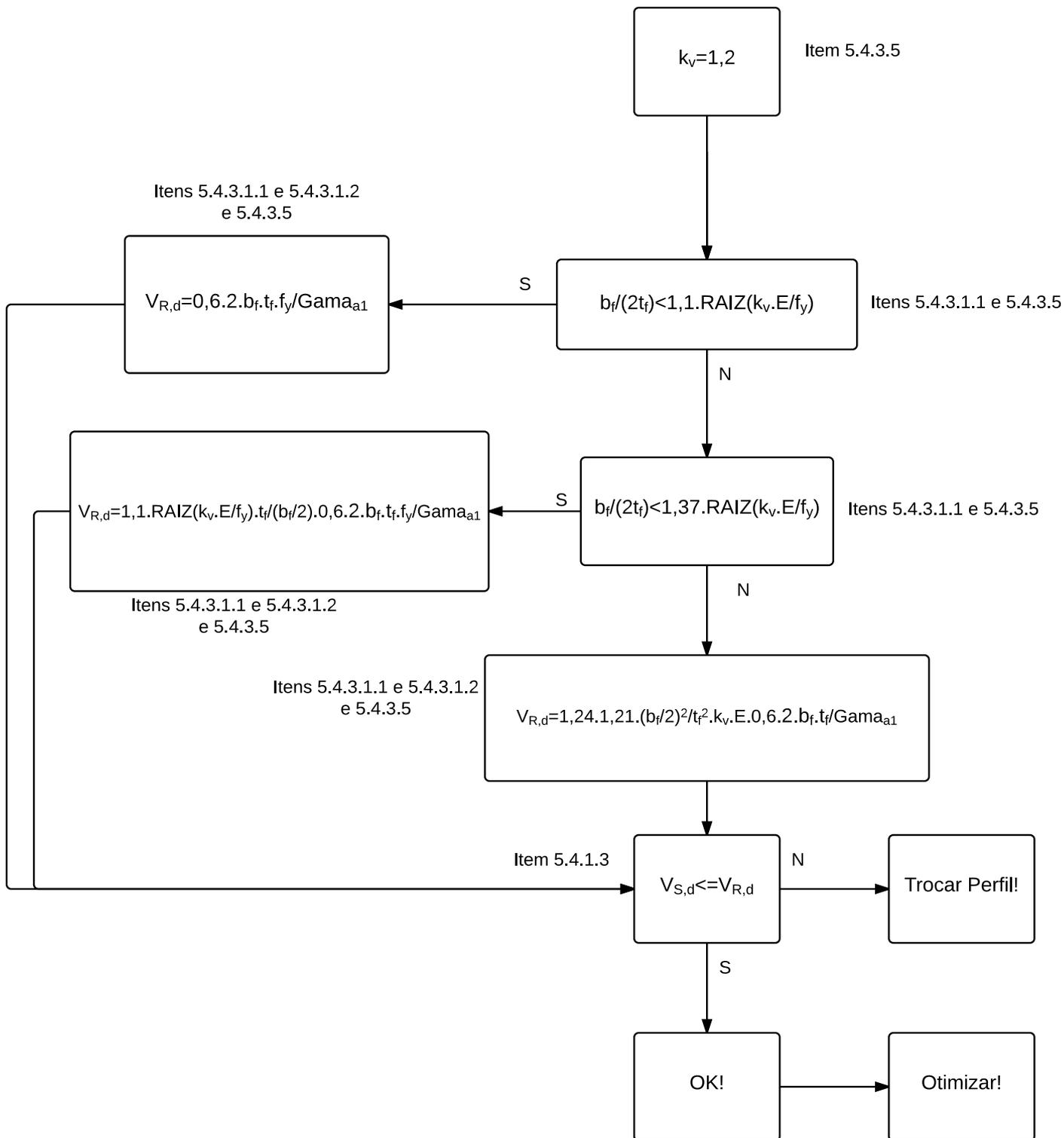
### **Fluxograma de corte no eixo de maior inércia: perfil U**

Item 5.4.3.1.1



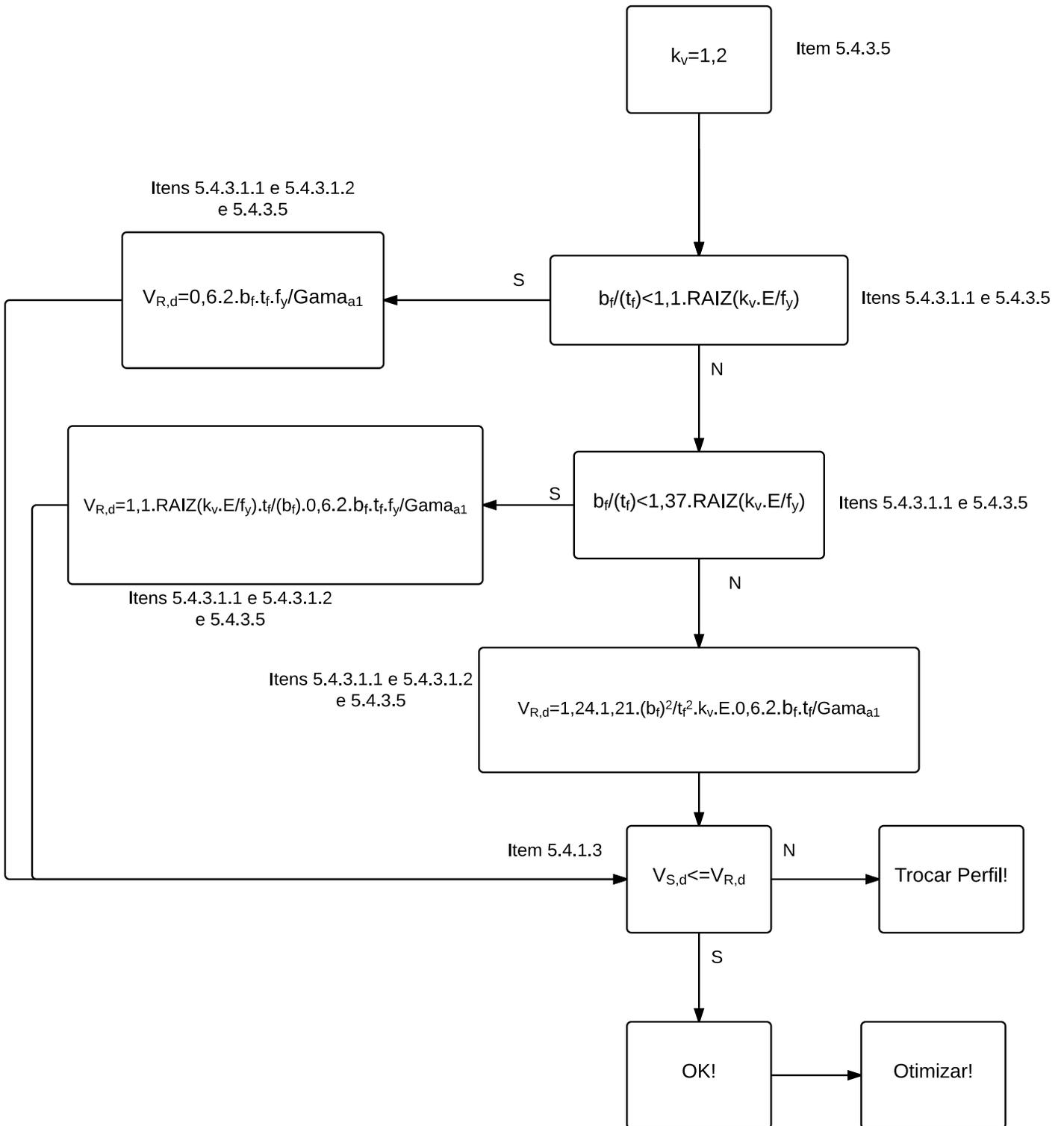
## **Anexo 11**

**Fluxograma de corte no eixo de menor inércia: perfil I  
duplamente simétrico**



## **Anexo 12**

### **Fluxograma de corte no eixo de menor inércia: perfil U**



## FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

<sup>1.</sup> CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	<sup>2.</sup> DATA <p style="text-align: center;">24 de novembro de 2015</p>	<sup>3.</sup> REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-073/2015</p>	<sup>4.</sup> N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">66</p>
<sup>5.</sup> TÍTULO E SUBTÍTULO: <p>Um programa para verificação de perfis de aço sob esforços usuais de projeto.</p>			
<sup>6.</sup> AUTOR(ES): <p><b>Felipe de Araújo Pineschi Teixeira</b></p>			
<sup>7.</sup> INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): <p>Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA</p>			
<sup>8.</sup> PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: <p>Dimensionamento, Verificação, Estruturas de aço, Perfil.</p>			
<sup>9.</sup> PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>Aços; Laminados; Soldagem; Estruturas metálicas; Resistencia à fratura; Engenharia civil.</p>			
<sup>10.</sup> APRESENTAÇÃO: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Nacional</span> <span><input type="checkbox"/> Internacional</span> </div> <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Francisco Alex Correia Monteiro. Publicado em 2015.</p>			
<sup>11.</sup> RESUMO: <p>O objetivo do trabalho é a confecção de um programa que facilite a verificação de perfis de aço I laminados e soldados, duplamente simétricos, submetidos a esforços usuais de projeto. Os critérios de resistência (estados limites últimos) são preconizados pela norma brasileira NBR-8800 (2008).</p>			
<sup>12.</sup> GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO      <input type="checkbox"/> RESERVADO      <input type="checkbox"/> SECRETO </p>			