

PROPAR/UFRGS

PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

**Arquitetura com Sistema
Pré-Fabricado Modular Volumétrico**

Modelo Generativo e Diretrizes de Fixação

Alessandra Teribele
Autora

Prof. Dr. Benamy Turkienicz
Orientador

Porto Alegre, outubro de 2016

PROPAR/UFRGS

PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

Arquitetura com Sistema Pré-Fabricado Modular Volumétrico

Modelo Generativo e Diretrizes de Fixação

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura, área de concentração: Projeto de Arquitetura.

Prof. Dr. Benamy Turkienicz
Orientador

Porto Alegre, outubro de 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Teribele, Alessandra
Arquitetura com Sistema Pré-Fabricado Modular
Volumétrico: Modelo Generativo e Diretrizes de Fixação
/ Alessandra Teribele. -- 2016.
274 f.
Orientador: Benamy Turkienicz.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Personalização. 2. Gramática de Formas. 3. Conexões. 4. Produção Industrializada. I. Turkienicz, Benamy, orient. II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos meus familiares e amigos próximos, cuja preciosa companhia me sustenta e engrandece.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Benamy Turkienicz pelo crescimento pessoal e profissional que me proporcionou;

As amigas do percurso acadêmico: Virginia Vannini; Rosirene Mayer; Vanessa Gallardo e Tácia Scharff;

Aos demais colegas do Simmlab: Lennart Poehls, Ernesto Bueno e Waldo Costa;

Aos bolsistas de iniciação científica do Simmlab, principalmente Letícia Weijh e Ezequiel Zicca;

Aos Prof.s. Maria Alice Gravina (Matemática-UFRGS), Rogério Ricardo Steffenon (Matemática Unisinos); Paulo Almeida (Engenharia Unisinos);

À Prof.a. Branca Freitas de Oliveira, ao bolsista Antônio Sarti e ao colega Gabriel Birck pelo auxílio nas discussões estruturais;

Ao Propar, em especial aos coordenadores Silvio de Abreu e Cláudia Cabral e a secretária geral Rosita Borges dos Santos;

Ao Eng^o Geovano Mendes que compartilhou seu conhecimento auxiliando nos aspectos conectivos da Arquitetura Modular Volumétrica;

Aos colegas da Unisinos pelo apoio, principalmente aos coordenadores do curso de Arquitetura e Urbanismo: Adalberto Heck e Vilmar Mayer; e a coordenadora da Pós-graduação da Educação da Unisinos: Maura Corcini Lopes.

RESUMO

A arquitetura pré-fabricada apresenta vantagens provenientes da industrialização, mas sua produção pode levar à repetição e padronização, gerando edifícios excessivamente similares. Constituem desafios importantes, para a personalização da edificação produzida através de Sistemas Pré-Fabricados Modulares Volumétricos, a combinação de módulos unidos, na sua maioria, por vértices coincidentes. Considerando que soluções compositivas alternativas implicam na diversificação de posição da junção entre módulos, o objetivo deste trabalho é especificar um modelo generativo que ofereça múltiplas alternativas compositivas vinculadas às diretrizes de junção.

O desenvolvimento do modelo considerou, separadamente, três tipos de prisma: retangular, trapezoidal e triangular. Explorando seus componentes estruturais – pilar, viga e conexões -, extraiu-se, a partir dos padrões compositivos gerados, os tipos de encontro necessários para vincular tais componentes. Quatro conjuntos conectivos genéricos foram usados na simulação das junções e definição das diretrizes conectivas. O paradigma da Gramática de Formas associado aos tipos de encontro necessários para criar vínculos entre os componentes estruturais permitiu gerar, automaticamente, alternativas compositivas.

O uso do modelo confirmou que, alternativas compositivas com unidades volumétricas tridimensionais, dependem simultaneamente de atributos geométricos e construtivos do conjunto conectivo usado para fixar os módulos entre si. Ao mesmo tempo, demonstrou que a variação compositiva pode ser ampliada através da exploração da relação compositiva-conectiva, respeitados os atributos conectivos e diferentes graus de ajustes nos conjuntos conectivos utilizados.

Palavras-Chave:

Unidades Volumétricas Tridimensionais; Padrões Compositivos; Conjunto Conectivo; Gramática de Formas; Conexões; Chassi; Personalização; Produção Industrializada.

ABSTRACT

The prefab architecture has advantages from industrialization, but its production can lead to repetition and standardization, generating excessively similar buildings. They constitute important challenges for customizing the building produced by Prefabricated Volumetric Modular Systems that require combination of modules united mostly by coincident vertices. Whereas alternative compositional solutions imply the diversification position of the junction between modules, the objective of this work is to specify a generative model that offers multiple compositional alternatives linked to joint guidelines.

The development of the model considered separately three types of prism: rectangular, trapezoidal and triangular. Exploring the structural components - pillar, beam and connections - it is extracted from the generated compositional standards, types of meeting necessary to link these components. Four generic connective sets were used in the simulation of the joints and connective guidelines. The paradigm of grammar of forms associated with the types of meeting needed to create links between the structural components enabled to generate, automatically, compositional alternatives.

The model use confirmed that, compositional alternatives with three-dimensional volumetric units depend simultaneously on geometric and constructive attributes of the connective assembly used to secure the modules together. At the same time it showed that the compositional variation could be enlarged through the exploration of the connective-compositional relationship, observing the connective attributes and different degrees of adjustment in connective sets used.

Key-Words:

Volumetric Three-dimensional Units; Compositional Patterns; Connective Sets; Shape Grammar; Connections; Chassi; Personalisation; Industrialized Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação da industrialização na construção civil.....	21
Figura 2: Exemplo de módulos de acordo material principal empregado.	24
Figura 3: Exemplos de tubulação passadas nas paredes.	25
Figura 4: Imagem ilustra o planejamento de passagem de tubulação.....	25
Figura 5: Exemplo de duto para tubulação hidráulica para banheiros em concreto.	25
Figura 6: Exemplos de revestimentos em módulos com estrutura de madeira e aço.....	26
Figura 7: Telhado sendo colocado no módulo ainda na fábrica.....	26
Figura 8: Telhado transportado separadamente do módulo e colocado no edifício.....	27
Figura 9: Exemplo de módulos de acordo distribuição de cargas verticais.	28
Figura 10: Exemplo de módulos de acordo a presença ou não de faces.	29
Figura 11: Exemplos de módulos do sistema Verbus.....	29
Figura 12: Módulo com proteção externa, preparado para transporte.	31
Figura 13: Tipos de fundação para edifício modular volumétrico.....	32
Figura 14: Ilustração da montagem de módulos, duplicando paredes; piso e teto.....	32
Figura 15: Exemplificação de conjunto conectivo de sistemas modulares volumétricos.	34
Figura 16: Componentes que formam os sistemas quanto ao conjunto conectivo.	37
Figura 17: Características de conjuntos conectivos metálicos.....	39
Figura 18: Exemplos de protótipos de conjuntos conectivos produzidos através de fabricação digital.....	40
Figura 19: Detalhes de pinos para facilitar o encaixe dos módulos quando do empilhamento.	40
Figura 20: Combinações de módulos e adição de elementos na parte externa do edifício.....	43
Figura 21: Exemplo de catálogo da Arquitetura Modular Volumétrica.	44
Figura 22: Ilustração do conceito de chassi: estrutura padronizada que recebe componentes intercambiáveis.	47
Figura 23: Exemplo de combinações de módulos.	48
Figura 24: Exemplos de sistemas existentes.....	49
Figura 25: Exemplos de combinações aceitáveis no sistema Yorkon.....	49
Figura 26: Prisma retangular com combinações de faces totalmente coincidentes.	50
Figura 27: Ilustração indicando a junção de 04 módulos, sistema Anderson.	50
Figura 28: exemplos de encontros entre blocos para combinações lado a lado.....	52
Figura 29: Exemplos de encontros entre blocos para combinações sobrepostas.	52
Figura 30: Etapas que envolvem o processo da Gramática de Formas.....	55
Figura 31: Exemplo de transformações geométricas aplicadas sobre módulo tridimensional. .	58
Figura 32: Tipos de módulos e os conjuntos conectivos usados na metodologia.....	62
Figura 33: Plantas dos módulos adaptados aos pilares dos conjuntos conectivos.	62
Figura 34: Esquema ilustrativo das etapas da metodologia.	64
Figura 35: Ilustração demonstrando a matriz combinatória utilizada como base de combinações para a 2º Fase de geração formal.....	68
Figura 36: Encontro entre as faces dos módulos, base para identificar os padrões combinatórios.....	69
Figura 37: Módulo esquemático exemplificando os componentes quando das junções.....	71
Figura 38: Programação feita no Grasshopper ilustrando a programação das matrizes.	74
Figura 39: Ilustração demonstrando a 1º aplicação de transformações geométricas para prisma retangular.....	75

Figura 40: Ilustração demonstrando a 2° aplicação de transformações geométricas para prisma retangular.....	76
Figura 41: Formas validadas na 1° fase, vocabulário para 2° fase de geração, prisma retangular.	77
Figura 42: Ilustração da matriz combinatória da forma F_4 com marcador lateral.....	77
Figura 43: Ilustração com 1° aplicação de transformações geométricas para prisma trapezoidal.	78
Figura 44: Ilustração demonstrando a 2° aplicação de transformações geométricas para prisma trapezoidal.	79
Figura 45: Composição antes da rotação e o ângulo formado entre as duas. (esquerda). Composição gerada depois da aplicação de rotação com o ângulo identificado. (direita).	80
Figura 46: Formas geradas na 1° fase, vocabulário para 2° fase de geração, modelo com prisma trapezoidal.	80
Figura 47: Formas rotacionadas para serem inseridas na linha da matriz combinatória e combinadas com o lado maior das formas na coluna. Desenho em perspectiva indicando o local de junção.	81
Figura 48: Ilustração demonstrando a 1° aplicação de transformações geométricas para prisma triangular.	82
Figura 49: Ilustração demonstrando a 2° aplicação de transformações geométricas para prisma triangular.	83
Figura 50: Formas geradas na 1° fase, vocabulário para 2° fase de geração, modelo com prisma triangular.	84
Figura 51: Formas rotacionadas para serem inseridas na linha da matriz combinatória. Desenho em perspectiva e em vista superior com marcadores na cor azul.	84
Figura 52: Exemplo de identificação de tipos de faces em matriz combinatória.....	85
Figura 53: Parte de matriz combinatória do prisma retangular demonstrando a identificação de regras.	86
Figura 54: Regras compositivas identificadas (parcial) para prisma retangular, demonstradas em planta baixa.	87
Figura 55: Regras compositivas identificadas (parcial) para prisma retangular, demonstradas em perspectiva.....	87
Figura 56: Regras compositivas com a descrição das junções para prisma retangular.	89
Figura 57: Tipos de junção com as possíveis variações presentes nas regras, caso prisma retangular.....	91
Figura 58: Tipos de encontro extraídos na 1° fase de geração formal, prisma retangular.	92
Figura 59: Composições da 2° fase de geração formal e os tipos de junção extraídos entre composições com dois módulos cada.....	92
Figura 60: Tipos de encontro extraídos na 1° fase de geração, prisma trapezoidal	93
Figura 61: Continuação dos tipos de encontro extraídos na 1° fase de geração formal do prisma trapezoidal.	94
Figura 62: Tipos de encontro extraídos na 1° fase de geração do prisma triangular.	95
Figura 63: Simulação de conjunto conectivo nas junções encontradas na 1° fase do prisma retangular – parcial.....	96
Figura 64: Simulação de conjunto conectivo nas junções encontradas na 2° fase- parcial, do prisma trapezoidal - parcial.	96

Figura 65: Legenda com os símbolos e seu significado indicando as diretrizes de fixação necessárias para cada tipo de junção conforme o conjunto conectivo utilizado.	97
Figura 66: Exemplo da descrição das diretrizes de fixação para alguns tipos de junção nos 04 conjuntos conectivos.	98
Figura 67: Exemplo de adição de padrões usando duas regras diferentes.	100
Figura 68: Exemplo da composição com regras.	100
Figura 69: Tipos de faces.	101
Figura 70: Exemplo de subtração de junção quando necessário.	102
Figura 71: Exemplo da composição com regras e adição de tipos de junção.	104
Figura 72: Exemplo de derivações com adição de padrões.	105
Figura 73: Exemplo de composição realizada com regras selecionadas aleatoriamente – prisma retangular.	106
Figura 74: Diretrizes de fixação para a composição proposta na figura anterior.	106
Figura 75: Exemplo de composição realizada com regras selecionadas aleatoriamente – prisma trapezoidal.	107
Figura 76: Diretrizes de fixação para a composição proposta na figura anterior.	107
Figura 77: Exemplo de composição realizada com regras selecionadas aleatoriamente – prisma trapezoidal.	108
Figura 78: Diretrizes de fixação para a composição proposta na figura anterior.	108
Figura 79: Regras e blocos para experimentações de composições.	109
Figura 80: Composição realizada com prisma retangular.	110
Figura 81: Composição realizada com prisma trapezoidal.	111
Figura 82: Composição realizada com prisma triangular.	112
Figura 83: Exemplo de derivações com matriz combinatória, funcionando como catálogo de soluções compositivas-conectivas.	113
Figura 84: Quantidade de formas geradas em cada modelo combinatório.	115
Figura 85: Quantidade de composições com quantidade de módulos utilizados.	117
Figura 86: Tipos de encontros presentes nos 03 modelos de geração formal.	118
Figura 87: Imagem ilustrando a ocorrência dos tipos de junções nas regras.	119
Figura 88: Ilustração das principais alterações propostas aos conjuntos conectivos indicando as diretrizes de fixação de acordo o grau de modificação necessário.	121
Figura 89: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: CC; CCC; CCCC; CM; CCM e CCCM.	122
Figura 90: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: C+C; CC+CC; CC+C; CCC+C.	123
Figura 91: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: MC+C; CM+CM; MCC+C; CC+MC.	124
Figura 92: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: M+C; MM+C; MM+MC; MM+CC.	125
Figura 93: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: C+M; MC+M; CM+M; CM+MM; CC+MM.	126
Figura 94: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: CCM+M; CC+M; CCC+M; M+M.	126
Figura 95: Ilustração do espaço gerado entre as vigas, nos conjuntos conectivos A e B, devido altura pilar ser maior que a face superior das vigas.	128
Figura 96: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu o tipo de junção.	130

Figura 97: Regras para combinar padrões de acordo modelo generativo proposto.	132
Figura 98: Características formais dos padrões de acordo requisitos conectivos para conjunto conectivo A	134
Figura 99: Características formais dos padrões de acordo requisitos conectivos para conjunto conectivo B.....	135
Figura 100: Características formais dos padrões de acordo requisitos conectivos para conjunto conectivo C.....	137
Figura 101: Características formais dos padrões de acordo requisitos conectivos para conjunto conectivo D	139
Figura 102: Regras usadas nas derivações propostas e o grau de adaptação necessário ao conjunto conectivo gerado.	140
Figura 103: Padrões atendidos sem alterações no conjunto conectivo utilizado.	141
Figura 104: Padrões e grau de modificação necessário nos conjuntos conectivos em função dos tipos de junção que o padrão possui.....	142
Figura 105: Grau de modificação necessário em cada padrão compositivo e aspectos formais, prisma triangular, de acordo conjunto conectivo analisado.	143
Figura 106: Composição feita com padrões selecionados pelo grau de modificação necessário aos conjuntos conectivos.....	144
Figura 107: Quantidade de padrões que possuem a junção e o grau de modificação necessário em cada junção.....	145
Figura 108: Indicação das posições de pontos de junção no módulo (lado dobro frente) para composições - fase 01.	163
Figura 109: Indicação das posições de pontos de junção no módulo (lado maior dobro frente) para composições - fase 01.....	163
Figura 110: Indicação das posições de pontos de junção no módulo (lado maior que soma das frentes).....	164
Figura 111: Indicação das posições de pontos de junção no módulo (lado igual a soma das frentes).....	164
Figura 112: Indicação das posições de pontos de junção no módulo.	165
Figura 113: Matriz Combinatória Forma F_1 – Marcador Lado Maior	167
Figura 114: Matriz Combinatória Forma F_2 – Marcador Lado Maior	168
Figura 115: Matriz Combinatória Forma F_3 – Marcador Lado Maior	169
Figura 116: Matriz Combinatória Forma F_4 – Marcador Lado Maior	170
Figura 117: Matriz Combinatória Forma F_5 – Marcador Lado Maior	171
Figura 118: Matriz Combinatória Forma F_6 – Marcador Lado Maior	172
Figura 119: Matriz Combinatória Forma F_7 – Marcador Lado Maior	173
Figura 120: Matriz Combinatória Forma F_8 – Marcador Lado Maior	174
Figura 121: Matriz Combinatória Forma F_1 – Marcador Lado	175
Figura 122: Matriz Combinatória Forma F_2 – Marcador Lado	176
Figura 123: Matriz Combinatória Forma F_3 – Marcador Lado	177
Figura 124: Matriz Combinatória Forma F_4 – Marcador Lado	178
Figura 125: Matriz Combinatória Forma F_1 – Marcador Lado	179
Figura 126: Matriz Combinatória Forma F_2 – Marcador Lado	180
Figura 127: Matriz Combinatória Forma F_3 – Marcador Lado	181
Figura 128: Matriz Combinatória Forma F_4 – Marcador Lado	182
Figura 129: Matriz Combinatória Forma F_5 – Marcador Lado	183

Figura 130: Matriz Combinatória Forma F_6 – Marcador Lado	184
Figura 131: Matriz Combinatória Forma F_7 – Marcador Lado	185
Figura 132: Matriz Combinatória Forma F_8 – Marcador Lado	186
Figura 133: Matriz Combinatória Forma F_9 – Marcador Lado	187
Figura 134: Matriz Combinatória Forma F_10 – Marcador Lado	188
Figura 135: Matriz Combinatória Forma F_11 – Marcador Lado	189
Figura 136: Matriz Combinatória (F_1) com indicação das regras.	190
Figura 137: Matriz Combinatória (F_2) com indicação das regras.	191
Figura 138: Matriz Combinatória (F_3) com indicação das regras.	192
Figura 139: Matriz Combinatória (F_4) com indicação das regras.	193
Figura 140: Matriz Combinatória (F_5) com indicação das regras.	194
Figura 141: Matriz Combinatória (F_6) com indicação das regras.	195
Figura 142: Matriz Combinatória (F_7) com indicação das regras.	196
Figura 143: Matriz Combinatória (F_8) com indicação das regras.	197
Figura 144: Matriz Combinatória Triângulo (F_1) com indicação das regras.....	198
Figura 145: Matriz Combinatória Triângulo (F_2) com indicação das regras.....	199
Figura 146: Matriz Combinatória Triângulo (F_3) com indicação das regras.....	200
Figura 147: Matriz Combinatória Triângulo (F_4) com indicação das regras.....	201
Figura 148: Matriz Combinatória Trapézio (F_1) com indicação das regras.	202
Figura 149: Matriz Combinatória Trapézio (F_2) com indicação das regras.	203
Figura 150: Matriz Combinatória Trapézio (F_3) com indicação das regras.	204
Figura 151: Matriz Combinatória Trapézio (F_4) com indicação das regras.	205
Figura 152: Matriz Combinatória Trapézio (F_5) com indicação das regras.	206
Figura 153: Matriz Combinatória Trapézio (F_6) com indicação das regras.	207
Figura 154: Matriz Combinatória Trapézio (F_7) com indicação das regras.	208
Figura 155: Matriz Combinatória Trapézio (F_8) com indicação das regras.	209
Figura 156: Matriz Combinatória Trapézio (F_9) com indicação das regras.	210
Figura 157: Matriz Combinatória Trapézio (F_10) com indicação das regras.	211
Figura 158: Matriz Combinatória Trapézio (F_11) com indicação das regras.	212
Figura 159: Descrição das regras compositivas do prisma retangular	213
Figura 160: Imagens das regras compositivas do prisma retangular	214
Figura 161: Descrição das regras compositivas do prisma Triangular	215
Figura 162: Imagens das regras compositivas do prisma triangular	216
Figura 163: Descrição das regras compositivas do prisma Trapezoidal	217
Figura 164: Imagens das regras compositivas do prisma trapezoidal.....	219
Figura 165: Descrição das regras conectivas do prisma Retangular.....	220
Figura 166: Descrição das regras conectivas do prisma triangular.....	223
Figura 167: Descrição das regras conectivas do prisma trapezoidal.....	224
Figura 168: Simulação do Conjunto Conectivo A para prisma retangular.	228
Figura 169: Simulação do conjunto conectivo B para prisma retangular.	229
Figura 170: Simulação do conjunto conectivo C para prisma retangular.	230
Figura 171: Simulação do conjunto conectivo D para prisma retangular.	231
Figura 172: Simulação do conjunto conectivo A e B para prisma triangular.	232
Figura 173: Simulação do conjunto conectivo C e D para prisma triangular.	233
Figura 174: Simulação do conjunto conectivo A e B para prisma trapezoidal.	234

Figura 175: Simulação do conjunto conectivo C e D para prisma trapezoidal.	235
Figura 176: Simulação do conjunto conectivo A para prisma retangular.	236
Figura 177: Simulação do conjunto conectivo B para prisma retangular.	238
Figura 178: Simulação do conjunto conectivo C para prisma retangular.	240
Figura 179: Simulação do conjunto conectivo D para prisma retangular.	242
Figura 180: Simulação do conjunto conectivo A para prisma triangular.	244
Figura 181: Simulação do conjunto conectivo B para prisma triangular.	246
Figura 182: Simulação do conjunto conectivo C para prisma triangular.	248
Figura 183: Simulação do conjunto conectivo D para prisma triangular.	250
Figura 184: Simulação do conjunto conectivo A para prisma trapezoidal.	252
Figura 185: Simulação do conjunto conectivo B para prisma trapezoidal.	254
Figura 186: Simulação do conjunto conectivo C para prisma trapezoidal.	256
Figura 187: Simulação do conjunto conectivo D para prisma trapezoidal.	258
Figura 188: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: CC; CCM; CCC; CCCC; CCCM.	260
Figura 189: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: CM; MC+C; CM+CM; MCC+C; CC+MC	261
Figura 190: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: C+C; CCC+C; CC+CC; CC+C	262
Figura 191: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: M+C; MM+C; MM+MC; MM+CC	263
Figura 192: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: C+M; MC+M; CM+M; CM+MM; CC+MM	264
Figura 193: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: CCM+M; CC+M; CCC+M; M+M.	265
Figura 194: Ocorrência de junções por regras no modelo prisma retangular.	266
Figura 195: Ocorrência de junções por regras no modelo prisma trapezoidal.	267
Figura 196: Regras e grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma retangular.	268
Figura 197: Regras classificadas por Grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma retangular	269
Figura 198: Quantidade de ocorrência de junções no modelo prisma retangular e grau de modificação necessária em cada junção.	270
Figura 199: Regras e grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma trapezoidal, regras 1 à 28.	271
Figura 200: Regras e grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma trapezoidal, regras 29 à 56.	272
Figura 201: Regras classificadas por Grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma trapezoidal.	273
Figura 202: Quantidade de ocorrência de junções no modelo prisma trapezoidal e grau de modificação necessária em cada junção.	274

LISTA DE SÍMBOLOS

Descrição de Faces e de Junções

F - frente do módulo

L – lado do módulo

I – face inferior do módulo

S – face superior do módulo

D – face em questão deslocada

Fm – face frontal maior do trapézio

Fn - face frontal menor do trapézio

C - junção no vértice do módulo

M - junção no meio do módulo

E - componente está no módulo empilhado (E)

U - componente está no módulo unido (U), lado a lado, a outro módulo


M_{Ei} – componente não precisa ser fixado no empilhamento

M_{Ea} – componente precisa ser fixado no empilhamento


Diretrizes de Fixação


 - Chapa plana vertical sobre canto e meio viga


 - Chapa em “L”










 - Chapa em “L” com ângulo específico

 - Chapa plana

 - Chapa em ângulo – fixação externa aos pilares

 - Chapa entre pilares

 - Chapa entre vigas (canto/canto)

- Vc | Vm - Chapa entre viga canto com viga meio
- P | Vm - Chapa entre pilar com viga meio
- Vm | Vm - Chapa entre vigas de meio
- L** - Adequar posição (local) furo
- L2** - Colocar 02 conectores/furos próximos
- +Ch** - Inserir chapa para fixar vigas
-  - Furo lado elemento conector e furo/pino adequados
- LM** - M livre quando cantos desse puderem ser fixados
- LE** - Empilhamento livre quando M_i
- EO** - Elemento colocado no espaço entre vigas
-  - Secção Viga
-  - Secção Viga
-  - Chapa vertical na ponta pilar – viga meio com canto
-  - Chapa na ponta pilares fixada por parafuso
- TF** - Travamento Frontal
- PTF** - Travamento na lateral do módulo
- ATF** - Adaptar travamento frontal
-  **p** - Furo em ambas as faces externas do pilar
-  **mv** - Furo Meio de Viga
-  - Furo e Pino
- F** - Acesso frontal (externo)
- I** - Acesso interno
- S** - Acesso superior (externo)
-  **A** - Adaptar formato da chapa horizontal
- 1°** - Verificar ordem de montagem para fixar /travar

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
1.1. ARQUITETURA PRÉ-FABRICADA MODULAR VOLUMÉTRICA.....	20
1.2. SISTEMA MODULAR VOLUMÉTRICO	23
1.2.1. Módulo	23
1.2.2. Edifício	31
1.2.3. Conjunto conectivo	33
1.3. VARIABILIDADE PLÁSTICA E COMPOSITIVA	41
1.4. GRAMÁTICA DE FORMAS	53
2. MATERIAIS E MÉTODOS	60
2.1. MATERIAIS.....	61
2.2. MÉTODOS	64
2.2.1. Princípios da Gramática Compositiva.....	66
2.2.2. Princípios da Gramática Conectiva	70
2.2.3. Modelo de Geração Compositiva-Conectiva	71
3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS	73
3.1. PRINCÍPIOS DA GRAMÁTICA COMPOSITIVA	73
3.1.1. Geração formal	73
3.1.1.1. Geração Formal: Vocabulário Prisma Retangular	74
3.1.1.2. Geração Formal: Vocabulário Prisma Trapezoidal.....	78
3.1.1.3. Geração Formal: Vocabulário Prisma Triangular	82
3.2. Tipos de Faces	84
3.3. Padrões combinatórios	86
3.4. PRINCÍPIOS DA GRAMÁTICA CONECTIVA	88
3.4.1. Descrição e Tipos de junção.....	88
3.4.2. Simulação e Diretrizes de Fixação.....	95
3.5. MODELO GENERATIVO COMPOSITIVO-CONECTIVO.....	98
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	114
4.1. PRINCÍPIOS DA GRAMÁTICA COMPOSITIVA	114
4.1.1. Geração Formal	114
4.1.2. Tipos de Faces e Padrão Combinatório	116

4.2.	PRINCÍPIOS DA GRAMÁTICA CONECTIVA	117
4.2.1.	Descrição e Tipos de junção	117
4.2.2.	Simulação e Diretrizes Conectivas	119
4.3.	MODELO DE GERAÇÃO COMPOSITIVA E CONECTIVA.....	131
4.3.1.	Conjunto Conectivo A	133
4.3.2.	Conjunto Conectivo B	134
4.3.3.	Conjunto Conectivo C	135
4.3.4.	Conjunto Conectivo D	137
4.4.	PADRÕES COMPOSITIVOS, CONJUNTOS CONECTIVOS E GRAUS DE AJUSTES	139
	CONCLUSÕES	147
	REFERÊNCIAS	152
	APÊNDICES	162
	APÊNDICE A – DISCUSSÃO DO TAMANHO DO MÓDULO E OS LOCAIS DOS PONTOS DE JUNÇÃO	162
	APÊNDICE B – GERAÇÃO FORMAL _ PRISMA RETANGULAR _ 2° FASE	167
	APÊNDICE C – GERAÇÃO FORMAL _ PRISMA TRIANGULAR _ 2° FASE	175
	APÊNDICE D – GERAÇÃO FORMAL _ PRISMA TRAPEZOIDAL _ 2° FASE....	179
	APÊNDICE E – PADRÕES COMPOSITIVOS NAS MATRIZES COMBINATÓRIAS DO PRISMA RETANGULAR	190
	APÊNDICE F – PADRÕES COMPOSITIVOS NAS MATRIZES COMBINATÓRIAS DO PRISMA TRIANGULAR	198
	APÊNDICE G – PADRÕES COMPOSITIVOS NAS MATRIZES COMBINATÓRIAS DO PRISMA TRAPEZOIDAL	202
	APÊNDICE H – REGRAS COMPOSITIVAS	213
	APÊNDICE I – REGRAS CONECTIVAS	220
	APÊNDICE J – SIMULAÇÃO DOS CONJUNTOS CONECTIVOS – TIPOLOGIAS DE JUNÇÃO DA 1° FASE GERAÇÃO FORMAL.....	228
	APÊNDICE K – SIMULAÇÃO DOS CONJUNTOS CONECTIVOS – TIPOLOGIAS DE JUNÇÃO DA 2° FASE GERAÇÃO FORMAL.....	236
	APÊNDICE L – DIRETRIZES CONECTIVAS PARA AS JUNÇÕES GERADAS .	260
	APÊNDICE M – OCORRÊNCIA DOS TIPOS DE JUNÇÕES POR REGRAS	266
	APÊNDICE N – RELAÇÃO PADRÕES E GRAU DE MODIFICAÇÃO NECESSÁRIO	268

INTRODUÇÃO

A arquitetura pré-fabricada apresenta vantagens em relação às construções tradicionais, devido os benefícios provenientes da industrialização: grande precisão e previsibilidade, curtos períodos de construção, (Mbi, 2011), aumento do controle de qualidade (Smith, 2010), bem como possibilitar condições de trabalho mais seguras. (Smith, 2010).

Em contrapartida, a produção industrializada pode condicionar a arquitetura para a repetição e padronização, levando à execução de edifícios similares e dificultando a personalização do edifício. Arranjos compositivos variados são decorrentes da necessidade de atender a características ambientais específicas (Rocha, 2011) bem como anseios do usuário e as pretensões do arquiteto que projeta o edifício para alcançar um resultado formal único. (Gardiner, 2009?).

O desafio da arquitetura pré-fabricada é, portanto, pensar em um método que garanta a qualidade do projeto (Smith, 2010) e ao aumentar a gama de escolhas, tenha mínimo impacto sobre a eficiência da produção. (Mullens, 2011). Atrasada em relação a outros setores industriais, a industrialização da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) precisa agregar eficiência com baixo custo da produção. (Kieran e Timberlake, 2003).

Entre os tipos de construções pré-fabricadas disponíveis que utilizam materiais processados, componentes pré-fabricados, painéis bidimensionais, a que apresenta os maiores benefícios provenientes da industrialização, com 85%, (Smith, 2010), bem como os maiores desafios para a personalização é a modular volumétrica. Esse sistema, assim como os anteriores, opera simultaneamente em dois locais de construção: o terreno e a fábrica. (Garrison e Tweedie, 2008). Na fábrica são produzidos os **módulos**, unidades tridimensionais autônomas que formam espaço fechado utilizável. No terreno monta-se o **edifício**, um ou mais módulos unidos no sítio para compor a construção pretendida. Completando o processo, o transporte e o içamento garantem o deslocamento e a montagem dos módulos no local de implantação e o **conjunto conectivo** propicia a conexão das unidades para compor a edificação pretendida.

Projetos direcionados para Arquitetura Pré-Fabricada Modular Volumétrica (AMV) precisam trabalhar com combinações dessas unidades, adaptando-se e/ou seguindo as restrições impostas pelo sistema modular, convencionalmente

compreendido como uma montagem de caixas (Garrison e Tweedie, 2008). Atingem as vantagens da industrialização, mas requerem uma construção baseada em "blocos", em vez de componentes esqueléticos ou planares com os quais os arquitetos estão familiarizados. (Lawson *et al.*, 2005). Diferencia-se da arquitetura feita "*in loco*" e com liberdade dimensional, pois a AMV precisa combinar módulos, com dimensões limitadas devido às restrições de transporte (Na, 2007; Schoenborn, 2012), para atender programas, aumentar espaços e gerar formas.

Entre as estratégias para empregar a customização em massa, habilidade de projetar e produzir produtos diferentes de maneira rápida e economicamente competitiva (Piroozfar e Piller, 2013) (Mullens, 2011), a mais usual na AMV é a adição de elementos no módulo como: sacadas, marquises, coberturas bem como a variação de revestimentos, cores, aberturas e fechamentos. Essas soluções concentram-se na epiderme do edifício e não garantem alternativas compositivas com blocos, que possuem tamanhos e formas relativamente inflexíveis, (Azari *et al.*, 2013), geralmente como prisma retangular. Quando combinadas, comumente alinhadas para facilitar o percurso das cargas estruturais (Lawson *et al.*, 2014), essas unidades resultam em prismas maiores semelhantes à forma original, causando opções de projeto limitado. (Cameron e Di Carlo, 2007; Na, 2007).

Para variar a edificação para além da superfície e conseguir variabilidade combinatória é preciso: 1) alterar a forma do bloco e; 2) modificar a relação espacial estabelecida entre os blocos. Modificar a geometria retangular do módulo permite ampliar a variabilidade do conjunto, podendo-se gerar edifícios com curvaturas como alcançado pelos sistemas Polyghome (Tremblay e Inc., 2010) e Kovel (Kovel e Kovel, 2011) ao usar prisma trapezoidal e prisma triangular respectivamente. Outras variações são possíveis quando os blocos são desalinhados, gerando saliências e reentrâncias como no sistema Verbus (Heather *et al.*, 2007), que permite alterar a relação espacial entre blocos retangulares através de conexão posicionada na lateral do módulo.

Ambos os itens relacionam-se com a estrutura do módulo, que define a sua forma bem como sua fixação com outros blocos. Esta estrutura pode valer-se do conceito de chassi utilizado em indústrias automotivas, um sistema estrutural constante que recebe componentes intercambiáveis (Schoenborn, 2012). Melhora a cadeia produtiva ao decompor o produto final em uma série de módulos, ou partes (*chunks*), que por sua vez são formados por uma série de componentes. Na arquitetura volumétrica pré-fabricada, o chassi torna-se o módulo-estrutura formado pelos

componentes: pilares, vigas e conexões; e recebe as demais partes (*chunks*): vedação, piso, cobertura, entre outros; cada um com seus próprios componentes.

As composições cujos módulos-estrutura encostam-se, tanto lado a lado como empilhados, podem gerar soluções cujas faces dos módulos são: a) coincidentes e b) parcialmente coincidentes. No primeiro caso, os encontros entre os componentes estruturais do bloco ocorrem vértice com vértice, o que facilita a união. No segundo caso, as arestas verticais (pilares) são unidas com arestas horizontais (vigas), gerando uniões entre vértice e meio de bloco.

Sistemas modulares volumétricos que atendem somente a fixação nos cantos não prevêm soluções de junções para composições com faces parcialmente coincidentes como no sistema proposto por Yorkon. (Yorkon, 2012). Sistemas que antecipam este deslocamento possuem elemento conector no meio da viga à espera do "vértice" do outro módulo. (Heather *et al.*, 2007). Este elemento conector precisa antecipar o tipo de chapa de fixação adequada ao formato das peças rotacionadas, para atender o arranjo com módulos rotacionados. Em situações de empilhamento com módulos desencontrados, é necessário prever furos e pinos de espera em posição diferente do canto do módulo (Heather *et al.*, 2007) bem como prever o travamento dos módulos sobrepostos.

Alterar as relações espaciais entre os módulos pode transformar o resultado formal do edifício e ampliar as variações combinatórias. Diferentes arranjos compositivos alteram a posição e a quantidade de componentes estruturais no encontro de módulos modificando as exigências geométricas e construtivas e os requisitos de fixação. A quantidade e as estratégias de fixação dos componentes estruturais definem o tipo de junção e influenciam o conjunto conectivo, antecipando a relação entre furos e pinos, chapas e parafusos.

Para facilitar o processo de montagem no sítio e a construção das unidades na fábrica, é imprescindível antecipar os atributos de fixação: a geometria e localização de furos, pinos, conectores e chapas. Em função de suas características, o conjunto conectivo poderá atender ou não o arranjo proposto para permitir que os módulos sejam fixados na relação espacial desejada. Diferentes composições podem implicar em ajustes e adaptações de maior ou menor grau do conjunto conectivo como: posição de furos para acessar parafusos e/ou formato da chapa de conexão.

A geometria do módulo, as características de seus componentes estruturais bem como os conjuntos conectivos costumam ser próprios de cada sistema volumétrico

proposto por construtores modulares (Gassel e Roders, 2006) e influenciam, diretamente, a diversidade combinatória de cada um destes. As possibilidades combinatórias de diferentes tipos de prismas estão diretamente, vinculadas, aos atributos dos conjuntos conectivos. Estudos que vinculam arranjos compositivos a atributos de fixação constituem informação ainda não suficientemente explorada na literatura. O conhecimento se concentra em: 1) demonstrar benefícios e limitações com este tipo de arquitetura (Cameron e Di Carlo, 2007; Mbi, 2011; Azhar *et al.*, 2012; Schoenborn, 2012; Velamati, 2012); 2) melhorar processos de fabricação investigando a aplicação na indústria da construção de conceitos provenientes de outros setores industriais como: produção enxuta (Mullens and Kelley, 2004; Alshayeb, 2011; Mullens, 2011; Nahmens e Ikuma, 2012); automação de manufatura (Diez et al., 2003; Furuse e Katano, 2006) e relação de projeto para fabricação. (Diez *et al.*, 2007; Huang e Krawczyk, 2007; Nasereddin *et al.*, 2007; Moghadam *et al.*, 2012) e; 3) descrever as características de sistemas modulares como: aspectos dimensionais e estruturais, tipos de revestimento, soluções de conexões, entre outros. (Lawson *et al.*, 2005; Anderson e Anderson, 2007; Lawson, 2007; Lawson *et al.*, 2014)

A exploração das relações espaciais entre os módulos, fio condutor da variabilidade compositiva pode ser feita a partir dos seus componentes estruturais - pilar, viga e conexões -, e dos atributos de fixação necessários em diferentes composições. A geração de alternativas compositivas simultaneamente com as diretrizes de fixação envolvidas, permitiria que a combinação compositiva-conectiva fosse “projetada” de forma antecipada.

Neste trabalho tem-se, **por primeira hipótese**, que alternativas compositivas, com módulos volumétricos tridimensionais, dependem dos atributos geométricos do conjunto conectivo usado para fixar os módulos entre si; e como **segunda hipótese**, que a relação composição-conexão permite identificar os requisitos de fixação e indicar as diretrizes de fixação e os atributos necessários dos conjuntos conectivos para unir os módulos entre si.

O objetivo deste trabalho é **propor um modelo que gere múltiplas alternativas compositivas de módulos volumétricos vinculando, a estas soluções, diretrizes necessárias para fixá-los entre si**. Limita-se aos aspectos geométricos e construtivos das fixações entre os componentes estruturais dos módulos, o chassi, não abrangendo questões de esforços, cargas e cálculos estruturais.

A Gramática de Formas, paradigma de processos generativos que associam vocabulários formais a um conjunto de regras combinatórias foi associada a dois objetos presentes na AMV: volumes e conexões. No primeiro caso trata-se de uma gramática Compositiva e, no segundo, de uma gramática Conectiva. As duas gramáticas podem ser entendidas como Gramáticas Paralelas, uma rede onde duas ou mais gramáticas atuam simultaneamente. (Knight, 2003). Cada regra de geração é acompanhada da descrição das diretrizes conectivas para futura efetivação de conjunto conectivo indispensável ao sistema. Em conjunto, convertem-se em Gramática Generativa, que permite que alternativas de projeto sejam exploradas a partir da definição de princípios generativos: vocabulário e regras. (Mayer, 2003; Prats, 2007). Difere-se da Gramática Analítica, que descreve as regras e vocabulário a partir da análise de objetos já criados. (Knight, 1994a).

Neste trabalho onde são exploradas possibilidades de arranjos volumétricos tridimensionais, procura-se descrever etapas de um processo generativo com módulos, relacionando composição e fixação divididas em:

- Etapa 1: Princípios da Gramática Compositiva
- Etapa 2: Princípios da Gramática Conectiva
- Etapa 3: Modelo de Geração Compositiva-Conectiva

O trabalho proposto divide-se em: 1) **Fundamentação Teórica:** explica o sistema pré-fabricado modular volumétrico inserindo-o no contexto da indústria da construção e aborda como é feita a variação plástica e compositiva para este tipo de arquitetura. O método Gramática de Formas é abordado no final do capítulo; 2) **Materiais e Métodos:** esclarece os materiais utilizados citando os módulos (prismas) e conjuntos conectivos usados bem como elucida as etapas metodológicas aplicadas ao trabalho; 3) **Aplicação da Metodologia:** indica como o método foi aplicado e desenvolvido englobando: princípios da Gramática Compositiva, princípios da Gramática Conectiva e Modelo Generativo Compositivo-Conectivo; 4) **Análise dos Resultados:** apresenta e discute os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta demonstrando a relação composição-conexão juntamente com o grau de ajustes para os 04 conjuntos conectivos utilizados e; 5) **Conclusão:** Discorre sobre a confirmação da hipótese, cita as contribuições da pesquisa e sugere trabalhos futuros.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. ARQUITETURA PRÉ-FABRICADA MODULAR VOLUMÉTRICA

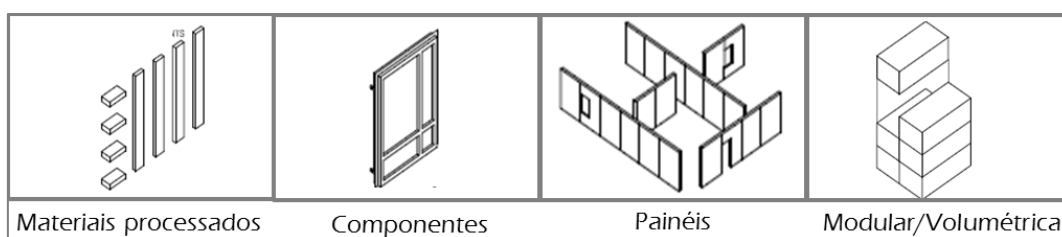
A pré-fabricação está presente na construção desde o início da revolução industrial, quando a Grã-Bretanha enviava para suas colônias estruturas de madeira e ferro com o objetivo de montar rapidamente os edifícios urbanos, com material e tecnologia que dominavam. (Fonyat, 2013). Mas é com a união da arquitetura e indústria que nasce a cultura arquitetônica da pré-fabricação. (Bergdoll, 2008). Marcada pela exploração de novos materiais e técnicas construtivas bem como pelo ideal modernista de viver, a arquitetura adequou-se à produção em série, produzindo edifícios similares para usuário padrão, repetindo a solução indefinidamente. (Mitchell, 2007). Diversos edifícios emblemáticos foram construídos no início do século XX, mas a maioria falhou no sucesso comercial. (Jacobs, 2010).

A partir de 1990, aproximadamente, surge uma renovada explosão de interessados na pré-fabricação (Bergdoll, 2008), logo após a produção passar a visar o indivíduo, com o objetivo de estimular o consumo. (Fonyat, 2013). Usando a customização em massa, conceito cunhado em 1987 (Piroozfar e Piller, 2013), as indústrias conseguem oferecer um leque de produtos diferentes que são produzidos de maneira rápida e competitiva economicamente.

A industrialização da AEC, apesar de atrasada em relação a outros setores industriais, como o naval e automobilístico, (Kieran e Timberlake, 2003), apresenta diversos benefícios. Em relação às construções tradicionais, apresenta vantagens por proporcionar 70% a 90% de redução de desperdício (Mtech) e por permitir uma ocupação geralmente 50% mais rápida. (Mbi, 2011). Maior controle de qualidade é proporcionado por testes de módulos e/ou sub-módulos cujas instalações elétricas e hidráulicas são feitas ainda na indústria, antes da montagem no sítio. (Mullens, 2011; Lawson *et al.*, 2014). Quanto mais tempo em fábrica, menor o risco de interferência das intempéries e melhor o controle positivo das condições de trabalho. Quanto mais a edificação é finalizada na indústria, maior é a capacidade de controlar a qualidade e menor a montagem necessária em obra. Neste contexto, podem ser produzidos em fábrica, como ilustra a Figura 1:

- 1) Materiais processados, como perfis de aço e/ou madeira;
- 2) Componentes da edificação, como janelas e coberturas;
- 3) Painéis bidimensionais, unidades planas transportadas para produzir o edifício tridimensional contratado;
- 4) Unidades volumétricas, módulos tridimensionais que formam um espaço fechado utilizável (Garrison e Tweedie, 2008; Smith, 2010; Schoenborn, 2012).

Figura 1: Classificação da industrialização na construção civil.



Fonte: (Garrison e Tweedie, 2008).

Considerando as construções permanentes executadas com métodos modernos¹, 65% são realizadas com painéis bidimensionais ou com arquitetura volumétrica (Beaware, 2009). As construções em painéis bidimensionais têm 60% de finalização na indústria, enquanto as unidades volumétricas são transportadas praticamente finalizadas, com 85% de finalização (Smith, 2010), pois cada unidade tridimensional inclui o piso, paredes, teto e telhado, canalizações e sistemas elétricos instalados, bem como interiores e exteriores finalizados ainda na fábrica (Mullens, 2011), possibilitando melhor controle das etapas construtivas. Construções modulares permitem a expansão do edifício, verticalmente ou horizontalmente, e as instalações podem ser programadas para realizarem-se nos períodos com pouco movimento. (Yorkon, 2013).

Esse tipo de arquitetura, que contempla os maiores benefícios da industrialização, refere-se à Arquitetura com sistema Pré-fabricado Modular Volumétrico, neste trabalho definida como **Arquitetura Modular Volumétrica**²

¹ MMC – *Modern Methodes of Construction*: Série de processos e tecnologias que envolvem a pré-fabricação, montagem *off-site* e especificações na cadeia de abastecimento.

² Optou-se por incluir o termo volumétrico junto com arquitetura modular para aumentar a diferença entre módulo enquanto unidade de medida. O termo “sistema volumétrico” é usado por Lawson et al (2014) ao definir um módulo tridimensional para criar a maior parte de uma edificação. O termo volumétrico também é usado por outros autores, como Schoenborn (2012), para definir o módulo em questão.

(AMV), constituída de vários módulos estruturalmente independentes, produzidos na fábrica e combinados entre si no terreno (Schoenborn, 2012). Difere-se do conceito de módulo entendido como medida de referência, empregado na coordenação modular³ (Greven e Baldauf, 2007): é um processo de construção no qual um edifício é construído fora do local em que será implantado. (Mbi, 2011; Velamati, 2012).

As principais etapas deste processo dividem-se em: 1)Projeto e aprovações; 2)Montagem dos componentes e módulos; 3)Transporte dos módulos e; 4)Edificações dos módulos para forma final, através da instalação dos blocos no sítio bem como a fixação entre os mesmos. (Mbi, 2011; Velamati, 2012). O termo Construção Modular Permanente indica construção para fins permanentes (Mbi, 2011), visto que este processo construtivo permite também o uso de edificações temporárias como: trailers, salas de aula portáteis, *pods* de comunicação e show rooms. Construções Modulares Permanentes podem atender diversos usos como: hospitais, escolas, hotéis, residências, entre outros. (Mbi, 2011).

Diferem-se das casas sobre rodas conhecidas por “*mobile homes*” ou “*manufactured homes*”. Residências que não são fixadas no sítio sobre as fundações previamente preparadas, e sim sobre chassi de aço não removível facilitando o deslocamento da unidade. (Today, 2015); (Cameron e Di Carlo, 2007).

Os termos utilizados na construção industrializada são definidos, muitas vezes de forma intercambiável e podem variar de país para país, como os termos *prefabrication*, *offsite fabrication* e *offsite production*. (Smith, 2010). A falta de uma definição uniforme contribuiu para os preconceitos e mal-entendidos (Kamar *et al.*, 2011) sobre a diferença entre Sistemas Modulares Volumétricos e Arquitetura Modular do Produto. Apesar de serem conceitos diferentes, a Arquitetura Modular Volumétrica pode relacionar-se com a Arquitetura Modular do Produto⁴ (*modular product architecture*), que se refere à união de módulos e componentes num sistema coerente, com funcionalidade integrada (Mello e Marx, 2006). Pode ser modular e/ou integrada dependendo do grau de modularidade (Ulrich, 1993; Voordijk *et al.*, 2006). Também chamada de M-Modularity, ao tratar a modularidade que envolve configurações

³ (Anderson e Anderson, 2007) salientam que o termo “modular” e “pré-fabricado” tornaram-se permutáveis no vocabulário de muitas pessoas, assim como é bastante confusa a aplicabilidade e viabilidade de diferentes sistemas de pré-fabricação disponíveis.

⁴ Conceito de modularidade de produto (ou produto modular, ou arquitetura modular) é usado em uma ampla gama de áreas de pesquisa acadêmica (Fixson, 2007). Não existe um consenso sobre a definição de seu conceito e um uso adequado dele. (Gershenson, 2004 citado por (Mohamad *et al.*, 2013).

(Lehtonen, 2007), possibilitando a criação de diferentes produtos enquanto minimiza a diferença através de seus componentes (partes). (Rocha, 2011).

Schoenborn (2012) faz a relação entre Arquitetura Modular Volumétrica e arquitetura do produto ao indicar que a modularização geralmente se refere ao processo de quebrar um edifício completo em uma série de módulos menores. Decompor um produto em blocos (módulos) com interface específica é chamado de “modularização”. (Lehtonen, 2007).

Num projeto de edifício industrializado, há dois locais de construção: o terreno e a fábrica, ambos operando simultaneamente. (Garrison e Tweedie, 2008). O processo envolvido na AMV, e que afeta a projeto e produção da mesma, permite dividir o sistema em duas etapas: 1) **Módulos**: unidades autônomas construídas na indústria e; 2) **Edifício**: um ou mais módulos unidos no terreno para compor a construção pretendida. Essa divisão, que compõe o sistema da arquitetura modular volumétrica, é descrita a seguir.

1.2. SISTEMA MODULAR VOLUMÉTRICO

A arquitetura modular volumétrica surge da composição, ou uso isolado, das unidades tridimensionais. Conhecidas por **módulos** são unidas no terreno para formar o **edifício**, e ambos compreendem o **sistema** que compõe este tipo de arquitetura. Completando o processo, o **transporte e o içamento** garantem o deslocamento e a montagem dos módulos no terreno e o **conjunto conectivo** propicia a conexão das unidades para unir o edifício.

1.2.1. Módulo

Os **módulos**⁵ são os blocos volumétricos feitos na fábrica, cuja unidade pode compreender toda uma edificação ou parte dela. A fragmentação do edifício ocorre em função da necessidade de transporte e as restrições das dimensões geralmente definem o

⁵ O termo módulo neste trabalho refere-se a uma unidade volumétrica, estruturalmente independente, com espaço fechado utilizável e que, combinada a outros módulos, formam um edifício. Outros módulos destinados a fim específicos também são produzidos: escadas, sacadas e/ou varandas, elevadores, banheiros e *toillets* (Fig. 1). Estes últimos também são chamados de *pod*, módulo de um ambiente sem suporte para cargas, atualmente com a aplicação mais comum em banheiros para edifícios em altura (Schoenborn, 2012).

tamanho do módulo, reduzido o suficiente para ser transportado (Gassel e Roders, 2006). Os materiais mais utilizados são madeira, aço e concreto (Mbi, 2011), (Figura 2), e em ambos os casos, esses módulos devem englobar: 1) serviços (tubulações para elétrica, hidráulica, lógica, entre outros); 2) vedação (paredes, piso, teto) e; 3) estrutura.

Figura 2: Exemplo de módulos de acordo material principal empregado.



Fonte: 1. (Lawson, 2007); 2. (Madeiras, 2015); 3. (Weirich, 2015)

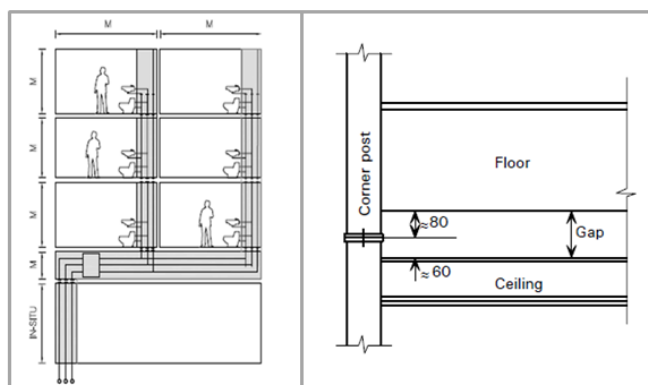
1) A passagem dos serviços ocorre entre a estrutura das vedações: paredes, pisos e tetos, como ilustram as imagens da Figura 3. Espaçamento entre piso e teto pode ser previsto para facilitar esse processo, seja pelo planejamento da estrutura do módulo ou pelo uso de módulos intermediários como proposto pela empresa Kullman. (Garrison e Tweedie, 2008). (Figura 4). No caso de módulos em concreto, as tubulações são concretadas junto à estrutura do bloco. Módulos com detalhes específicos para os serviços podem ser planejados como: canto para tubulação hidráulica e dutos para tubulação com acesso específico para manutenção (Figura 5). Planejamento específico permitindo flexibilidade da vedação foi proposto por Lawrence (Lawrence, 2003), que apresenta módulo com passagem de fiação por dentro da estrutura desenvolvida em material pultrudado.

Figura 3: Exemplos de tubulação passadas nas paredes.



Fonte: (Lawson *et al.*, 2014); (Jularmadeiras, 2015). No 1º caso, estrutura de aço com canto planejado para passagem de tubulação. No 2º caso estrutura de madeira.

Figura 4: Imagem ilustra o planejamento de passagem de tubulação



Fonte: (Garrison e Tweedie, 2008); (Lawson *et al.*, 2014). Módulo intermediário para ampliar espaço (esquerda) e espaçamento entre piso e teto (direita).

Figura 5: Exemplo de duto para tubulação hidráulica para banheiros em concreto.



Fonte: (Lawson *et al.*, 2014) e (Companies, 2015)

2) As vedações são variáveis de acordo a proposta plástica pretendida para o edifício e também de acordo o sistema construtivo utilizado para o módulo. As

estruturas das paredes podem ser de entramado de madeira e/ou aço, geralmente com isolante térmico e barreira contra umidade⁶. Externamente, pode receber os mais variados revestimentos: elementos cerâmicos (assentados com massa ou fixados em trilhos metálicos), tábuas em madeira, fachada ventilada e/ou vidro. As aberturas, como portas e janelas, também são montadas na indústria e compõem as características plásticas do conjunto. (Figura 6).

Figura 6: Exemplos de revestimentos em módulos com estrutura de madeira e aço.



Fonte da esquerda para direita: Jular (Jularmadeiras, 2015); (Garrison e Tweedie, 2008) e (The RES4 Dwell Home is Born, 2007)

Várias soluções geométricas de telhado podem caracterizar um conjunto arquitetônico. Os telhados podem ser fixados nos módulos ainda na fábrica e transportados conjuntamente ou construídos e transportados separadamente como ilustram as Figuras 7 e 8.

Figura 7: Telhado sendo colocado no módulo ainda na fábrica.



Fonte: (Claytonhomes, 2015)

⁶ Geralmente, é usado o produto *Tyvek*, um revestimento que ajuda a evitar a penetração do ar e a infiltração da água, mas permite que o vapor de água escape para evitar apodrecimento e mofo dentro das paredes. Fonte: DUPONTBRASIL

Figura 8: Telhado transportado separadamente do módulo e colocado no edifício.



Fonte: (Cameron e Di Carlo, 2007)e (Garrison e Tweedie, 2008).

3) A estrutura dos módulos, de acordo com a distribuição de cargas verticais, classifica-se em: a) cargas verticais transferidas pelos pilares de canto e b) cargas verticais distribuídas nas paredes externas do módulo⁷ (Figura 9), que podem ser maciças como concreto ou madeira, e/ou podem ser entramadas como em *steelframe* ou *woodframe*. É possível produzir módulos que não suportam cargas e por isso são acoplados em edifício construído à parte, com estrutura independente. São executados para atender função específica de uma edificação como banheiros. No Brasil a empresa TECNOBAGNO produz banheiros em processo totalmente industrializado, cujas unidades são transportadas acabadas e instaladas prontas na edificação final. Usando concreto armado ou sistema drywall para a estrutura das unidades, os banheiros prontos são fabricados sob medida para cada projeto, podendo ser instalados até 25 banheiros por dia. (TECNOBAGNO - Banheiro Pronto, 2016).

⁷ Velamati (2012) define dois tipos básicos de arquitetura modular para edifícios em altura considerando a estrutura dos módulos: 1) *Load-bearing steel* – cargas transferidas pelas paredes do módulo e; 2) *Corner supported steel modules* – cargas transferidas através das vigas externas para pilares dos cantos, nos vértices dos módulos.

Figura 9: Exemplo de módulos de acordo distribuição de cargas verticais.

CARGAS VERTICAIS DISTRIBUIDAS PELAS PAREDES	CARGAS VERTICAIS DISTRIBUIDAS PELOS PILARES
<p>AÇO</p> 	 <p>AÇO</p>
<p>CONCRETO</p> 	 <p>MADEIRA</p>

Fonte: (Lawson, 2007; Jularmadeiras, 2015; Rwcompanies, 2015)

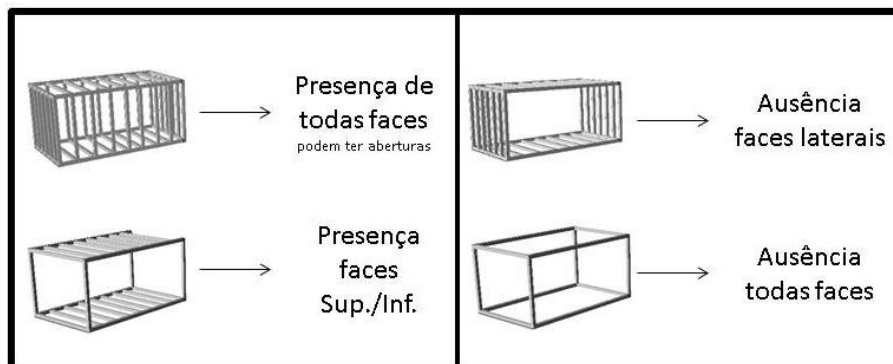
A solução estrutural adotada acarreta na obrigação, ou não, da presença de faces nos módulos Lawson, (2007). Os módulos poderão ter:

- a) Presença das 04 faces laterais;
- b) Ausência de 02 faces laterais;
- c) Presença de faces superiores e inferiores e ausência de faces laterais e,
- d) Ausência de todas as faces, mantendo somente pilares e vigas que acompanham as arestas do prisma que define o módulo⁸. (figura 10).

Alguns sistemas produzem módulos variando as aberturas nas unidades e, conseqüentemente, a solução estrutural do módulo para atender necessidades específicas de cada projeto. A Figura 11 ilustra vários tipos de módulos propostos pelo sistema Verbus, cujas numerações presentes na figura referem-se aos componentes explicitados pela patente.

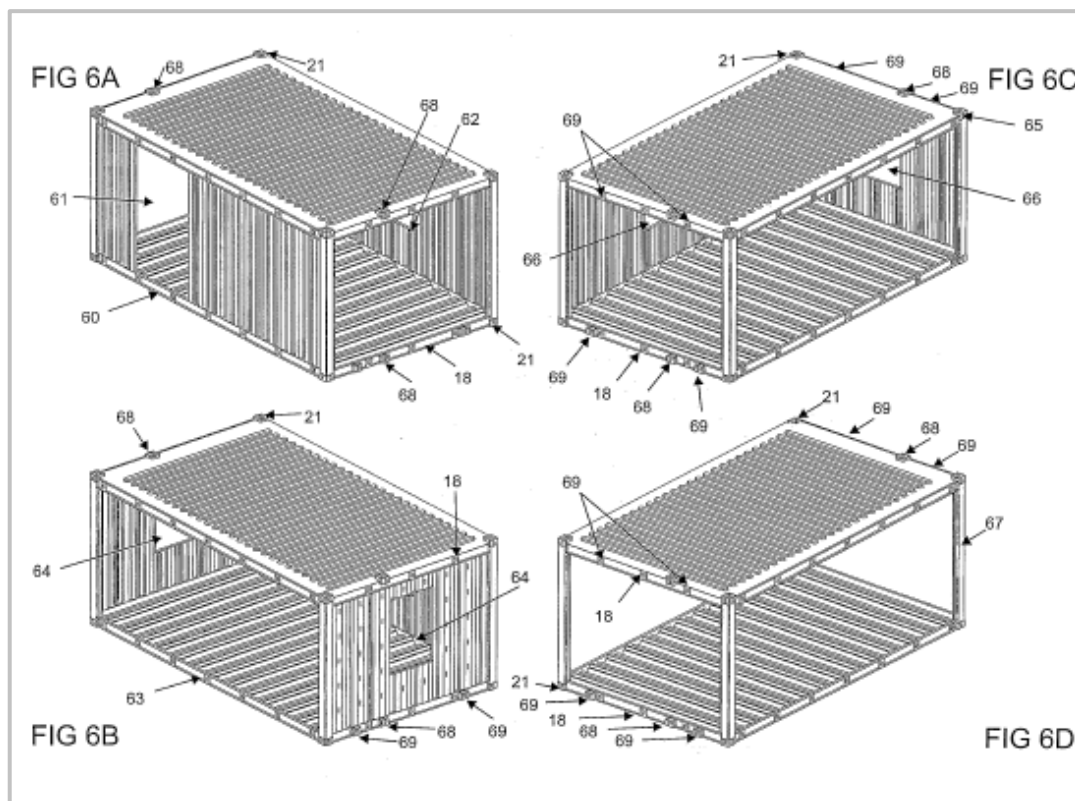
⁸ Na classificação apresentada por (Lawson et all, 2014), os principais tipos de módulos edificados com aço são: 1) módulos de quatro lados cujas cargas são transmitidas através das paredes; 2) módulos de lados abertos cujas cargas verticais são transmitidas através dos pilares nos vértices do módulo e, se necessário, pilares intermediários; 3) Módulos que não suportam cargas, frequentemente chamados de *pods*.

Figura 10: Exemplo de módulos de acordo a presença ou não de faces.



Fonte: Autor

Figura 11: Exemplos de módulos do sistema Verbus.



Fonte: (Heather *et al.*, 2007)

Independente do sistema estrutural utilizado, os módulos precisam ser transportados até o local de montagem do edifício, seja por via terrestre, marítima ou aérea, com exigências específicas relativas ao peso e dimensões. A escolha do transporte deve considerar o acesso ao sítio e o local de içamento das unidades

tridimensionais para montar o edifício. Os tamanhos máximos permitidos variam de acordo com as regras impostas pelas diferentes normas de transporte. No Brasil, o CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), através da Resolução Nº 210 de 13 de novembro de 2006, estabelece os limites de peso e dimensões⁹ para os veículos transitarem por vias terrestres.

Conforme disposto no Art. 101 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB - Lei nº 9.503 de 23 de Setembro de 1997), é possível ser concedida autorização especial de trânsito (AET) para veículo utilizado no transporte de carga indivisível, que não se enquadre nos limites de peso e dimensões estabelecidos pelo CONTRAN, “desde que atenda às medidas de segurança consideradas necessárias”. Conforme a via utilizada para transporte, deve-se solicitar a AET aos órgãos competentes: rodovias federais – DNIT; rodovias estaduais – DAER; vias municipais - prefeituras.

Elementos pré-fabricados como os módulos da AMV devem ser conduzidos da fábrica para o veículo de transporte, levados para o local de implantação, e finalmente, fixados e colocados, nivelados e ligados às outras unidades e/ou as fundações (Smith, 2010). Isso acarreta a necessidade de içar os mesmos, tanto para colocá-los no veículo de transporte como para montar o edifício. Esta obrigação envolve estudo de componente no módulo que possibilite a fixação do guincho bem como a análise estrutural para que a unidade resista aos esforços sofridos durante sua movimentação. Os módulos praticamente finalizados na fábrica recebem uma proteção para evitar danos ao serem transportados, como ilustra a Figura 12.

Uma pesquisa na Universidade Carlos III, em Madri-Espanha, desenvolvida no laboratório de Robótica (Robotics Lab) da Engenharia de Sistemas e Automação, propõe uma simulação via computador para verificar qual ordem de colocação dos módulos é mais eficiente para a montagem. (Padron et all, 2002). Diez et all (2003) simularam a montagem automatizada de protótipo, escala 1/3, de unidades modulares. A empresa Kullman indica que faz este planejamento e, para projetos mais complexos,

⁹ As dimensões autorizadas para veículos, com ou sem carga, limitam a largura máxima de 2,60m e a altura máxima de 4,40m. O comprimento total é variável de acordo o tipo de veículo. É possível ser concedida autorização especial de trânsito (AET) para veículo utilizado no transporte de carga indivisível, que não se enquadre nos limites de peso e dimensões estabelecidos pelo CONTRAN. Os principais são: veículos não-articulados: máximo de 14,00 metros; veículos articulados com duas unidades, máximo varia de 18,60 metros a 19,80 metros, conforme o tipo do veículo; e os veículos articulados com mais de duas unidades têm como máximo 19,80 metros. Os pesos máximos a serem transportados são de 29 toneladas para veículo não articulado e para os articulados há variações de acordo o comprimento e tipo, variando de 39,5 toneladas a 57 toneladas.

amplia a análise com simulação em modelagem digital, animando a colocação dos módulos (Garrison e Tweedie, 2008) e fazendo os ajustes necessários antes da montagem no sítio.

Figura 12: Módulo com proteção externa, preparado para transporte.



Fonte: (Terrapin, 2009)

O tamanho do módulo individual pode variar de forma paramétrica ou modular. A maioria dos módulos varia suas dimensões de forma paramétrica, tendo seu tamanho ajustado no momento de sua fabricação de acordo as exigências do projeto. Os sistemas Bruce (Bruce e Bruce, 2013) e Anderson (Anderson e Anderson, 2007) possuem pilares intermediários pré-definidos, acarretando em ampliações baseadas nesta medida base. Os sistemas propostos por Kovel (Kovel e Kovel, 2011) e Tremblay (Tremblay e Inc., 2010) desenvolvem combinações a partir do módulo-base, sem alterar o tamanho.

1.2.2. Edifício

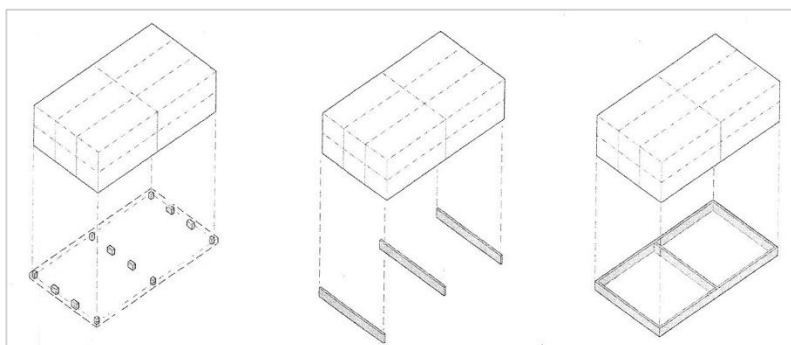
O **edifício** é composto pela junção dos módulos apoiados e/ou fixados nas fundações previamente preparadas para recebê-los. Como os módulos chegam ao terreno praticamente finalizados, a etapa de montagem envolve seus posicionamentos nas fundações, a conexão entre eles, a ligação dos serviços com as redes locais bem como serviços de drenagem do edifício. (Lawson *et al.*, 2014).

Vários tipos de fundação podem ser utilizados para receber os módulos e garantir a montagem do edifício. De acordo Smith (2010), os tipos de fundação podem

ser do tipo bloco assentado no solo, sapata isolada e sapata corrida. (Figura 13). Fundações profundas também podem ser usadas caso seja requerido pela edificação proposta. (Lawson *et al.*, 2014).

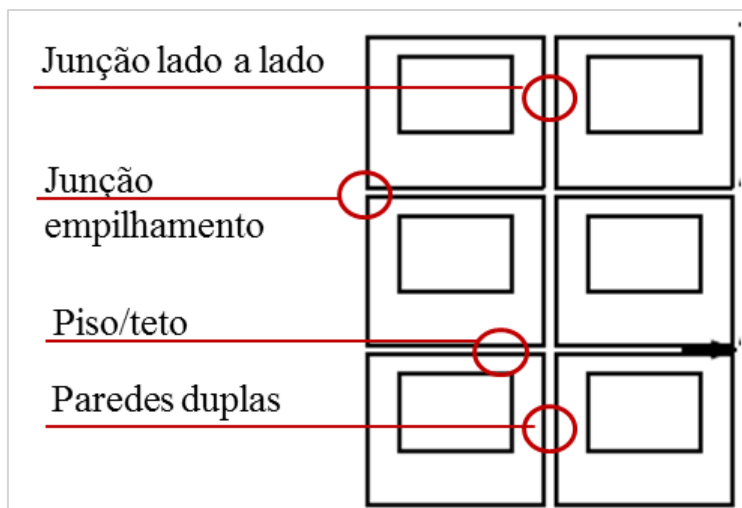
Depois da montagem finalizada, acabamentos para garantir a estanqueidade do edifício são realizados (Garrison e Tweedie, 2008). Os interiores da construção modular têm linhas casadas (*mate lines*), ou seja, fenda existente entre os módulos adjacentes (Garrison e Tweedie, 2008), que precisam ser consideradas para não acarretar problemas nos acabamentos. (Smith, 2010). Devido à independência dos módulos, a união pode ocasionar duplicação das paredes bem como piso e teto, aumentando isolamento acústico e resistência estrutural ao mesmo tempo em que causam redundância de medidas e materiais. (Cameron e Di Carlo, 2007). (Figura 14).

Figura 13: Tipos de fundação para edifício modular volumétrico.



Fonte: (Smith, 2010)

Figura 14: Ilustração da montagem de módulos, duplicando paredes; piso e teto.



Fonte: Autor

Para garantir a eficiência estrutural de toda edificação, os blocos devem ser conectados entre si, tanto horizontalmente como verticalmente. Conexões entre os módulos são estruturalmente importantes, pois influenciam a estabilidade estrutural global. (Lawson *et al.*, 2014). Conseqüentemente, a composição dos módulos, convencionalmente compreendida como montagem de caixas (Garrison e Tweedie, 2008), envolve junções entre módulos no sentido **horizontal** e no sentido **vertical**.

A junção dos módulos no sentido vertical é limitada pelo número máximo de blocos que podem ser empilhados. Concorre para este limite o peso recebido pelos blocos inferiores e a ação dos ventos. (Velamati, 2012). Considerando vãos de 05 a 08 metros, módulos com carga transmitida através dos pilares, podem alcançar 03 blocos empilhados e, com contraventamento adequado, podem chegar a 10 blocos. Com módulos estruturados em madeira, os edifícios podem chegar até 03 andares para serem economicamente viáveis. (Smith, 2010). Em edifícios mais altos do que 10 andares, os módulos são fixados a corredor e/ou núcleo em concreto para garantir a estabilidade estrutural (Lawson, 2007), havendo exemplos de edifícios com até 25 andares.

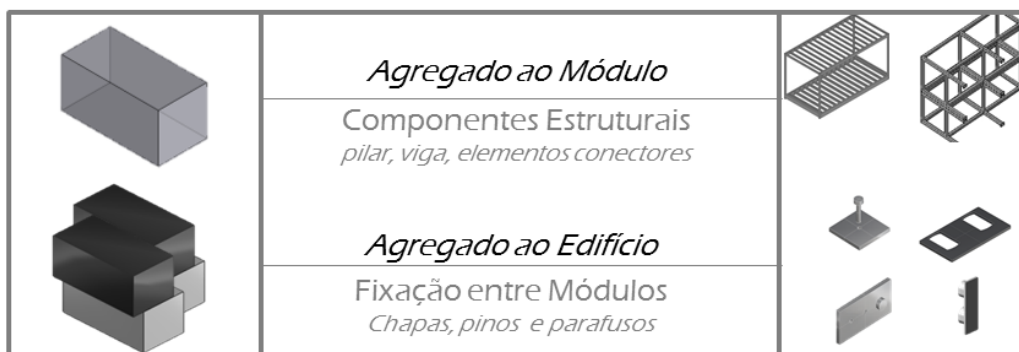
As características das junções verticais e horizontais são influenciadas pelas relações espaciais estabelecidas entre os blocos que acabam definindo os componentes estruturais que necessitarão ser fixados entre si. As relações espaciais propiciadas pelo **conjunto conectivo**, assim como a estrutura, também influenciam na capacidade combinatória dos módulos. As características do conjunto conectivo são descritas a seguir.

1.2.3. Conjunto conectivo

O **conjunto conectivo** resulta de peças agregadas ao módulo, ainda na fábrica (chapas, pinos, furos), e peças agregadas ao edifício durante a montagem deste no sítio, como chapa e parafusos. (Figura 15).

O conjunto conectivo deve ser apto a atender as junções entre módulos tanto para uniões de empilhamento (junções verticais) como para composições lado a lado (junções horizontais). A descrição das possibilidades de fixação entre módulos, a partir de peças metálicas, ocorreu a partir de 06 sistemas modulares volumétricos, observando os atributos geométricos e construtivos de seus componentes estruturais: pilar, viga e conjunto conectivo, ilustrados na Figura 16.

Figura 15: Exemplificação de conjunto conectivo de sistemas modulares volumétricos.



Fonte: Autor

Esses sistemas¹⁰ são:

- a) Lawson (2007) apresenta um estudo sobre construções modulares em aço. Destaca os tipos de módulos considerando o percurso das cargas verticais, consequentemente, se as faces dos módulos são livres de estrutura ou não. Além das vigas da extremidade, possuem vigas de piso e teto de menores dimensões, que quando empilhados geram um “vazio” entre esses elementos estruturais permitindo passagem de tubulações. As conexões com chapas metálicas são fixadas com parafusos, acessados por furo no pilar, tanto na unidade do módulo quando da junção entre eles, no sentido vertical e horizontal. (Lawson, 2007).
- b) Verbus (Heather *et al.*, 2007) é um sistema baseado em contêineres, edificado em aço e com dimensões variadas para atender construções residenciais, hotéis, acomodações para estudantes, apartamentos e hospitais. Fundamentado em elemento que fixa o contêiner para transporte, desenvolveu uma conexão para facilitar a união dos módulos fixando-os em ambos os sentidos, lado a lado e empilhados. O projeto dessa conexão foi patenteado mantendo os detalhes necessários para utilizar os transportes de cargas existentes no mercado. Prevê que essas peças de fixação sejam soldadas na extensão do módulo, com distância adequada para que equipamentos existentes possam içar os blocos.

¹⁰ Os componentes estruturais aqui citados e utilizados no trabalho referem-se ao mais comumente usado pelos sistemas, que pode apresentar variações conforme indicado em patentes e livros. Informações das patentes, publicações impressas e sites dos fabricantes foram usadas para estabelecer as características dos sistemas usados.

Complementou o sistema permitindo a interface com tecnologias existentes de vedação e cobertura (Cimc, 2014), colocando pontos para fixação de revestimento e/ou telhados. A estrutura utilizada possibilita o empilhamento de até 16 andares (Cimc, 2014), e seus módulos podem variar de acordo com a presença ou não de todas as faces laterais dos blocos. Estruturas mais rígidas podem ser indispensáveis, conforme a exigência do projeto, adaptando os módulos para tal necessidade. Uma característica importante é o sistema de fixação que permite que os módulos sejam conectados entre si de forma rápida, econômica e segura. (Heather *et al.*, 2007).

- c) Kovel (Kovel e Kovel, 2011) propõe um sistema baseado em módulo com base triangular sendo possível transportar até 06 unidades simultaneamente. O lado do triângulo tem aproximadamente 4,69m e a altura estimada em 3,65 metros¹¹. Apresenta estudos de possíveis combinações utilizando o módulo proposto, a partir de uma malha bidimensional de triângulos equiláteros. Alternativas compositivas tridimensionais são demonstradas através de vídeo com maquete esquemática chegando a até 04 módulos empilhados (Lowe, 2010), mesmo número de andares proposto no HOMB High Density (Skylabarchitecture, 2015). O módulo é construído com vigas de madeira e pilares metálicos que incorporam chapas para fixação das unidades tridimensionais.
- d) PolygHome é um sistema proposto por Jean-Robert Tremblay (Tremblay e Inc., 2010), com estruturas em madeira e fixação com chapas metálicas, gerando módulo base em forma de trapézio. Essa figura, conforme combinada, proporciona formas com curvaturas para as edificações. Com comprimento aproximado de 7 metros¹², o módulo tem alturas variáveis, pois a face superior que receberá a cobertura é inclinada, tendo suas extremidades com alturas diferentes, uma com 5 metros e a outra com 6 metros. Os desenhos esquemáticos disponibilizados na patente ilustram empilhamento com 04 pavimentos. Nesses casos, a face superior do módulo intermediário permanece plana. (Tremblay e Inc., 2010)

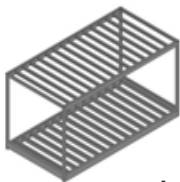


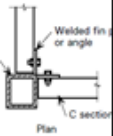
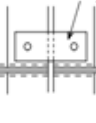
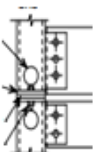


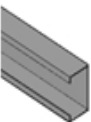
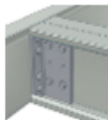
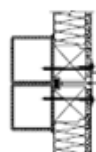
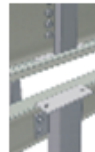



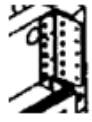


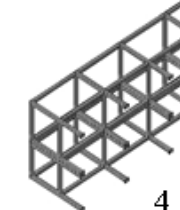



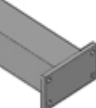

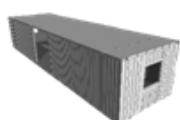











¹¹ As medidas do módulo do sistema Kovel são baseadas nas informações obtidas através da patente unidas proporcionalmente aos desenhos fornecidos.

¹² As medidas do módulo do sistema PolygHome são baseadas nas informações obtidas através da patente, unidas proporcionalmente aos desenhos fornecidos.

- e) Yorkon é uma empresa inglesa que constrói edifícios das mais diversas funções com sistema modular: escolas, hospitais, hotéis entre outros programas. Produz estruturas de aço com largura variando de 3 metros a 3,75 metros, comprimento de 6,0 a 18,75 m e altura de 2,6m a 3,3m. É possível obter vãos livres de 14,25 metros para edifícios térreos e vãos livres de 12 metros para edifícios de múltiplos pavimentos (Yorkon, 2012), e prédios de até 06 andares (Yorkon, 2007). Em todas as situações, as estruturas e respectivas junções são ajustadas de acordo com cálculos estruturais. Quando do içamento dos módulos, pontos de engate são deixados nos pilares dos cantos e ao longo do módulo. Reforços estruturais são adicionados, devido à movimentação sofrida durante o içamento.
- f) Mark e Peter Anderson (Anderson e Anderson, 2007), ambos arquitetos, propõem um módulo baseado no tamanho máximo de transporte de algumas regiões dos EUA com 18,3 metros e subdividido por módulos menores (sub-módulos), com estrutura de 2,44x3,66 metros e 2,44 metros de altura. O objetivo é repetir peças iguais, gerando uma fabricação reduzida de elementos únicos, e criando o maior componente possível de dimensões transportáveis. (Anderson e Anderson, 2007). Na largura, o vão entre pilares é de 2,44 metros mais um prolongamento horizontal de 1,83 metros, que se junta a outro módulo espelhado. Possibilita uma largura em torno de 6,71 metros no interior da edificação quando da combinação lateral, ou lado a lado. Os arquitetos apresentam projetos com o módulo proposto gerando até 06 pavimentos. A conexão no empilhamento ocorre por um pino metálico que espaça as barras metálicas em 3 polegadas. Contraventamentos com barras de aço de ½” de diâmetro são usados em cada sub-módulo da estrutura.

Para composições lado a lado, que necessitam de **junções horizontais**, encontram-se fixações feitas com chapa metálica e parafusadas nos componentes. Em alguns sistemas, as chapas são colocadas na face externa do módulo sobre dois pilares, um de cada módulo, como nos sistemas Lawson e Yorkon. No sistema proposto pelos arquitetos Peter e Mark Anderson (2007), que amplia o espaço lateral ao unir dois módulos, a conexão ocorre através de chapa metálica soldada na extremidade das vigas, unidas com parafuso na montagem do edifício.

Figura 16: Componentes que formam os sistemas quanto ao conjunto conectivo.

Sistemas e componentes					
Sistema	módulo			edifício	
	pilar	viga	junção	Junção Horizontal	Junção Vertical
LAWSON  1	 7x7 à 10x10		 <small>Welded fin or angle Plan C section</small>		
YORKON  2	 10 à 20 x 10				
POLYG HOME  3					
ANDERSONS  4	 6"x6" 15,24x15,24	 6"x6" 15,24x15,24			 Tubo espaçador
VERBUS  5					
KOVEL  6					






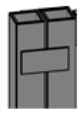
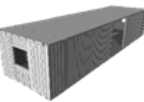




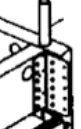

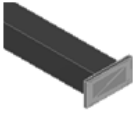

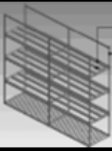


Fonte: Autor baseado em 1. (Lawson *et al.*, 1999; Lawson *et al.*, 2014); 2.(Yorkon, 2007; 2012; Bba, 2013); 3.(Tremblay e Inc., 2010); 4.(Anderson e Anderson, 2007); 5. (Heather *et al.*, 2007; Verbussystems, 2009); 6. (Kovel e Kovel, 2011)

O sistema Polyghome e o Kovel são fixados por chapa metálica com parafuso na face interna do módulo. Enquanto o Polyghome tem chapa colocada em pilar de madeira, o sistema Kovel possui chapa soldada no pilar e acompanha a angulação do módulo triangular, formando 60°. O sistema Verbus utiliza elemento conector “furado”, baseado nas conexões de containers, que recebe pinos e chapa metálica horizontal. A adição de parafusos, travando os pinos, garante simultaneamente a fixação para empilhamento.

Para composições com empilhamento, **junções verticais**, o sistema Lawson e Kovel tem chapa metálica soldada na ponta do pilar. Enquanto o sistema Lawson usa pilar metálico com secção retangular vazado, o sistema Kovel usa pilar com chapa dobrada, secção “L”. A diferença da secção do pilar afeta o acesso à colocação de parafuso no momento da montagem do edifício. O sistema Kovel é acessado pela face interna do módulo e o sistema Lawson prevê furo no pilar para acessar a junção das chapas. O sistema Yorkon também usa chapa soldada na extremidade do pilar, mais larga do que a secção, que não precisa ser furado para fixar os módulos. Outros sistemas usam pino e furo, um em cada módulo para fazer o encaixe durante a montagem, juntamente com travamento desses pinos por acesso frontal.

No sistema Polyghome, um pino metálico situa-se na face superior do módulo, em viga de madeira, e um furo na face inferior, o travamento do pino sendo feito com parafuso. O sistema Polyghome faz a fixação dos módulos através de chapa metálica fixada com parafuso pela parte interna do módulo. O sistema Anderson apresenta junção feita através de parafuso transpassado entre duas vigas metálicas de tubo, separadas por espaçador metálico. No sistema Verbus, o elemento conector é soldado no módulo e, com o auxílio de componentes metálicos, fixa-se um módulo ao outro, atendendo conexão tanto horizontal como vertical com mesmo conjunto conectivo. O sistema Kovel adota chapas metálicas soldadas no pilar, atendendo a ambas as funções de fixação entre módulos. As características destas conexões são ilustradas na imagem abaixo, Figura 17.

Figura 17: Características de conjuntos conectivos metálicos.

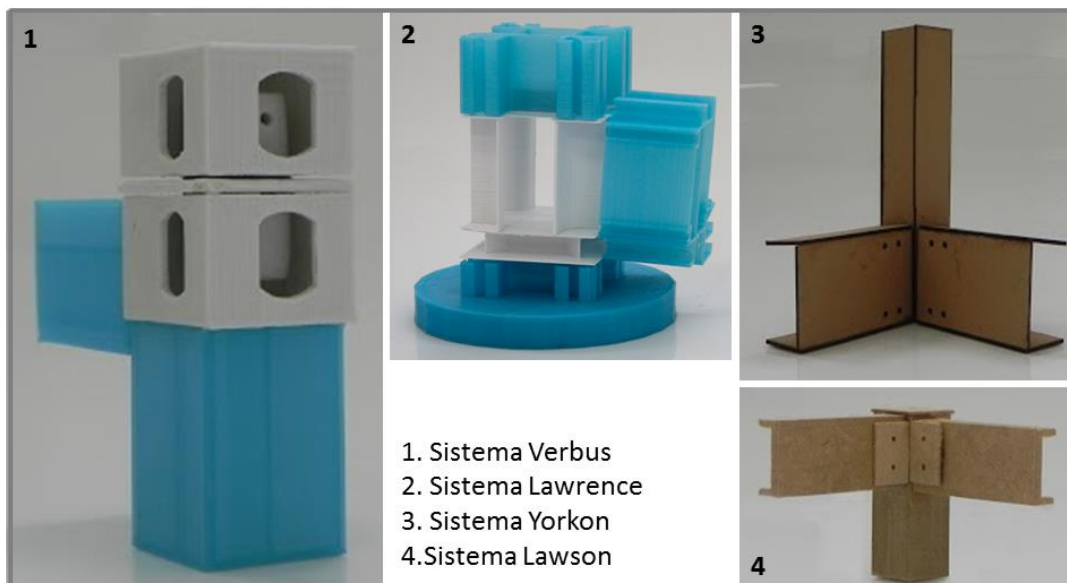
sistemas	conexões: união	conexões: empilhamento	Peças agregadas no módulo	Peças agregadas no edifício
KOVEL 			Chapa vertical Chapa horizontal	Parafusos
LAWSON 			Chapa horizontal Furos no pilar	Chapa vertical Chapa horizontal Parafusos
VERBUS 			Elemento conector Furos	Chapa vertical Chapa horizontal Parafusos Pinos
POLYHOME 			Pinos Furos	Chapa vertical Parafusos
ANDERSON 			Chapa vertical Espaçador Furos	Parafusos
YORKON 			Chapa horizontal	Chapa vertical Parafusos

Fonte: Autor

Estudos sobre os conjuntos conectivos foram realizados pela acadêmica de graduação do Curso de Arquitetura e Urbanismo, e bolsista do Simmlab (Laboratório para Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo) da UFRGS, Letícia Weijh. Weijh produziu maquetes de alguns sistemas¹³ utilizando técnicas de fabricação digital: impressora 3D e corte a laser. Seus estudos fazem parte do trabalho “Uso da Fabricação Digital na Análise de Desempenho Compositivo da Arquitetura Modular Volumétrica”, apresentado no XVII SIC – Salão de Iniciação Científica da UFRGS, em 2015. A Figura 18 ilustra esses protótipos.

¹³ O sistema Lawrence não foi inserido na tese devido ao fato de não haver duplicação de pisos e paredes na construção.

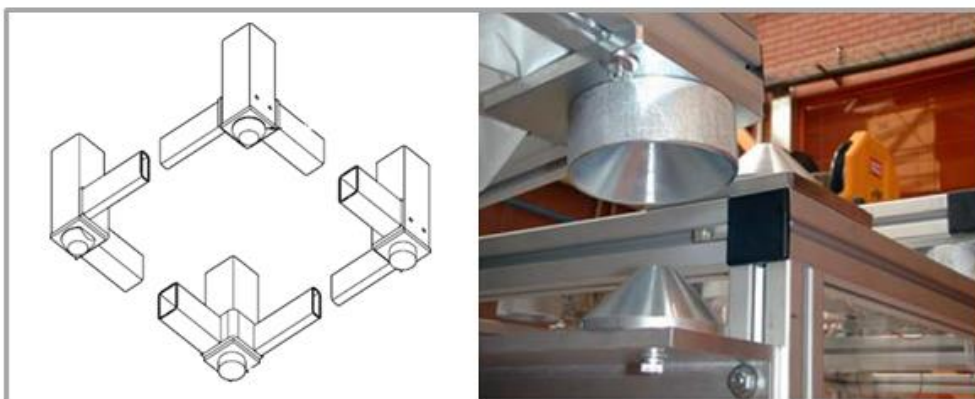
Figura 18: Exemplos de protótipos de conjuntos conectivos produzidos através de fabricação digital.



Fonte: Letícia Weijh, 2015. (imagens fornecidas por Letícia Weijh).

Visando facilitar o encaixe dos módulos durante a montagem, o sistema proposto pela empresa Kullman (Garrison e Tweedie, 2008) apresenta pinos metálicos na extremidade dos 4 pilares de canto, cada um com função diferente. Pinos em forma de cone facilitam o ajuste e encaixe entre módulos para uma montagem automatizada, como estudo da Universidade Carlos III em Madri, Laboratório de Robótica. (Padron *et al*, 2002). A figura 19 ilustra esses casos.

Figura 19: Detalhes de pinos para facilitar o encaixe dos módulos quando do empilhamento.



Fonte: (Garrison e Tweedie, 2008); (Padron et all, 2002)

Como as unidades volumétricas precisam ser combinadas para gerar espaços e atender programas arquitetônicos, a busca por **variabilidade plástica e compositiva**, compatibilizada com a racionalidade da **produção industrial**, torna-se, em si, um desafio. (Garrison e Tweedie, 2008). Algumas estratégias de compatibilização são descritas a seguir.

1.3. VARIABILIDADE PLÁSTICA E COMPOSITIVA

A produção de edifícios diferencia-se dos demais setores industriais pela necessidade de cada objeto ser compatibilizado com características ambientais específicas (Rocha, 2011). Quanto mais padronizado for o sistema, menos flexível ele se torna, (Anderson e Anderson, 2007) dificultando as alternativas combinatórias. A flexibilidade compositiva é maior quando os blocos são menores, ao mesmo tempo em que os blocos maiores possibilitam maior grau de acabamento. (Smith, 2010).

Uma das causas de desconfiança em relação às construções pré-fabricadas são as tipologias resultantes do pós Segunda Guerra Mundial. (Celento, 2010). A expressão “industrial” ainda é associada com monotonia, particularmente em residências, onde desejos individuais devem ser acomodados. (Staib *et al.*, 2008). Por outro lado, a repetibilidade de unidades é importante para manter materiais em estoque e utilizar gabaritos e configurações de maquinários, o que reduz os prazos de fornecimento. (Gorgolewski *et al.*, 2009).

Edifícios com “células tipo” como hotéis e casa de estudantes, que tem múltiplas unidades similares, adaptaram-se bem à arquitetura modular volumétrica. (Lawson *et al.*, 2005). Quando esse sistema modular é aplicado a outros programas arquitetônicos, surge a necessidade de ampliar a variabilidade compositiva, sem abandonar a capacidade produtiva na indústria.

Para sanar a lacuna entre idealização arquitetônica e produção de edifícios contemporâneos industrializados (Vibæk, 2012), uma descontinuidade estabelecida durante o século XX¹⁴, (Kolarevic, 2010), a arquitetura deve aprender com outros setores industriais, como o naval e automobilístico, que integram projeto e produção. (Kieran e Timberlake, 2003). Deve-se buscar soluções personalizadas e acessíveis assim

¹⁴ Kolarevic (2010) aponta que o uso de tecnologias digitais para conceber e produzir a arquitetura está encobrindo esta lacuna.

como foram oferecidas pela produção em massa. (Farr *et al.*, 2014). Uma alternativa é empregar a customização em massa, habilidade de projetar e realizar produtos diferentes dentro de uma produção em massa eficiente e veloz (Mullens, 2011), unindo a habilidade de criar muitas versões de um produto dentro de uma estrutura organizacional. (Willis e Woodward, 2010)

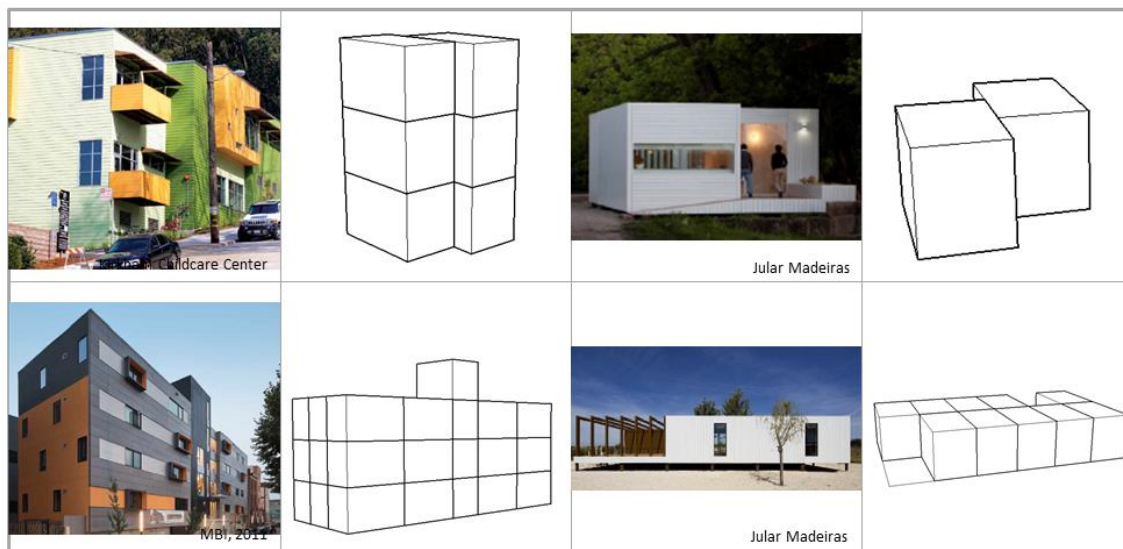
A indústria da construção usa três estratégias para a customização em massa da casa modular volumétrica: 1) *modular product architecture*, módulos independentes que constituem um sistema¹⁵; 2) *postponement of customization*, prolongar o processo de personalização para o final da cadeia produtiva propiciando que alterações no processo industrial ocorram o mais tarde possível e; 3) *flexible production processes*, aprimorar a habilidade de acomodar as variações no processo de produção usando padronização¹⁶, racionalização e métodos comuns. (Mullens, 2011).

Contribuindo com o *postponement*, alternativas plásticas são exploradas na superfície do edifício, através de: 1) adição de componentes como sacadas, telhados e marquises; e 2) materiais de vedação: acabamentos, revestimentos, aberturas e cores. (Figura 20). Consegue-se multiplicidade estética transformando a epiderme do módulo volumétrico, enquanto a base estrutural e de serviços do módulo segue a produção estabelecida pela indústria que o produz.

¹⁵ Schoenwitz *et al.* (2012) indica que na edificação residencial os itens customizados são: *Facade; Construction Design; Internal Design; Home Technology; Sanitary; Heating; Additional Services*; pois de uma certa forma, a indústria da construção já aplica técnicas de customização em massa ao integrar um conjunto de componentes montados – banheiros, cozinhas, sistemas mecânicos e elétricos. (Woudhuysen *et al.*, 2010).

¹⁶ A Padronização refere-se ao design intencional de ambos: produtos e processos para conseguir a maior uniformização e repetibilidade. Contribui com a produção enxuta cujo objetivo é satisfazer o cliente, oferecendo a mais alta qualidade pelo mais baixo custo. (Mullens, 2011). Somado a estratégias de modularização, contribui para qualificar a indústria da construção civil. (Mohamad *et al.*, 2013).

Figura 20: Combinações de módulos e adição de elementos na parte externa do edifício



Fonte: Autor; (Jularmadeiras, 2015) e (Mbi, 2011)

Outra maneira de contribuir com a indústria da construção é somar à variação plástica, alternativas combinatórias entre os blocos. Para isso, as empresas desenvolvem um conjunto de soluções compositivas e produzem um catálogo para que os clientes possam personalizar a partir de conjunto conhecido. Através de seus websites, disponibilizam um conjunto de soluções prontas, uma biblioteca de volumes com plantas previamente desenvolvidas. Dentro deste conjunto preestabelecido, focado quase que exclusivamente em residências, os clientes ainda podem escolher entre uma variedade de acabamentos e cores. Nessa situação, as composições entre os blocos e programa de necessidades estão pré-definidos, colaborando para o processo de produção envolvido. As interfaces entre módulos, com os acabamentos necessários e serviços, são antecipadamente apreciadas. Assim, além de prolongar o ponto de customização, é possível planejar o processo de produção, indo ao encontro do *flexible production processes*. É possível planejar o processo industrial com racionalização e padronização.

Figura 21: Exemplo de catálogo da Arquitetura Modular Volumétrica.



Fonte: (Alchemy, 2015)

No sistema WEEHOUSE, proposto e disponibilizado por *Alchemy Architects*. (Alchemy, 2015), o módulo-base possui os dois lados horizontais abertos, possibilitando diferentes composições em até dois pavimentos. A partir deste catálogo, o cliente escolhe sua alternativa e a personaliza com escolha de materiais de acabamentos e cores. O *Resolution: 4 Architecture* (Tanney e Luntz, 2014), a partir de estudos de uso doméstico do espaço, criou barras lineares de no máximo 4,87m de largura por 18,28m de comprimento. As plantas básicas são combinadas em matriz tipológica que relaciona 7 tipos configuracionais básicos com a quantidade de módulos usados, variando de 1 a 4 módulos (ou barras). Apesar de possuírem a capacidade de personalizar através de alternativas plásticas e compositivas, não demonstram a influência que essas variações causam nos componentes estruturais e quais seriam os requisitos necessários para fixar os módulos em diferentes arranjos. Outro exemplo é o *SIT Modular Solution*, empresa

portuguesa que trabalha somente com um pavimento. A partir do módulo-base feito em concreto, disponibiliza soluções para bangalôs, bares, escritórios e sanitários. (Sit, 2015). A Figura 21 ilustra esses exemplos.

Utilizando prismas retangulares como forma base para as unidades, o departamento de Engenharia de Sistemas e Automação da Universidade Carlos III de Madri propõe um sistema de integração automatizada entre projeto e execução. Cria uma ferramenta digital para adaptar o projeto tradicional às novas tecnologias de construção, neste caso, a arquitetura modular. Diez et al (2000) desenvolveram o AUTMOD3, software interligado ao sistema CAD, onde uma biblioteca com vários tipos de módulos auxilia o arquiteto com módulos estruturais 3D, módulos de fachada 2D e módulos de telhados 3D, entre outros. Este sistema é interligado ao sistema de planejamento, apresentado por Padron et al (2002), que organiza e define o processo para a montagem dos módulos destinados a uma edificação específica.

Complementando a tecnologia CAD com a tecnologia CAM, surge a integração conhecida como CAD/CAM, (CAD - *Computer Aided Desing* – Projeto Assistido por Computador e CAM - *Computer Aided Manufacturing* – Fabricação Assistida por Computador), que permite gerar informações para a construção diretamente das informações do projeto. (Kolarevic, 2003). Este fato poderia facilitar a obtenção da customização em massa na AMV, pois ao promover alterações no projeto, essas ocorreriam também na fabricação. Schoenborn (2012) aponta que este tipo de tecnologia ainda não auxiliou a indústria da construção a alcançar essa personalização. Os softwares CAM, comprados juntamente com os equipamentos, são geralmente inadequados para manipulação de projetos personalizados. Pequenas alterações projetuais acarretam em grandes modificações nos códigos que comandam as máquinas, dificultando a manipulação por parte dos operadores. Na AMV a automação é usada para processos repetitivos. (Schoenborn, 2012).

A aplicação da arquitetura do produto na arquitetura modular volumétrica pode ser vista pela decomposição do produto final em uma série de módulos¹⁷ (ou *chunks*),

¹⁷ Termos apropriados para a manufatura de construção industrializada: **Parts**: são produtos adaptáveis (ajustados) que podem ser materiais autônomos ou podem ser componentes para construção. Em *offsite construction*, partes não são erguidas no terreno (*onsite*) e sim são unidas em *subassemblies* na fábrica. **Subassemblies**: referem-se aos componentes, painéis ou módulos que são reunidos juntos com partes para criar elementos para montagem no sítio (*onsite*). **Assembly**: este é o ato de fixar *subassemblies* juntas *no terreno*, sua locação final, e “fixá-los”. (Smith, 2010). No caso da Construção Volumétrica, as “parts” seriam as janelas, portas, estruturas, serviços; as **Subassemblies** seriam os próprios módulos e a *assembly* corresponde aos módulos que serão unidos no sítio.

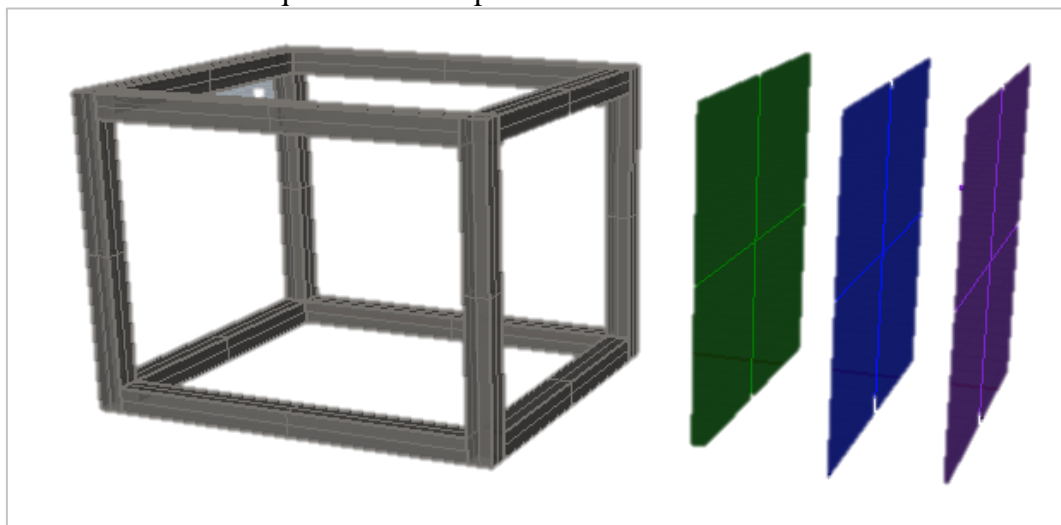
que por sua vez são formados por uma série de componentes, semelhante ao realizado pelo setor automobilístico quando da melhora de sua cadeia produtiva. Os componentes são acoplados fora da linha de montagem principal e o módulo pronto parte da montagem do produto final. (Kieran e Timberlake, 2003). Essa divisão em partes possibilita distribuir a fabricação dos componentes entre diferentes fornecedores. (Mello e Marx, 2006). Além disso, o uso da unidade tridimensional padrão e/ou de sua estrutura-chassi auxilia na *flexible production*, pois garante a repetitividade de peças e componentes. A empresa japonesa *Sekisui Heim* aplica estes conceitos contemplando chassi estrutural em aço que percorre a linha de montagem recebendo as demais partes da construção: pisos, paredes, serviços entre outros. (Linner e Bock, 2013).

Esse raciocínio aplicado na arquitetura volumétrica pré-fabricada divide o módulo tridimensional, a unidade volumétrica, em vários sub-módulos: estrutura, vedação, piso, cobertura, entre outros, como ilustra a Figura 22. Esses, por sua vez, podem ser divididos em componentes: no caso do sub-módulo estrutura, sistema pilar-viga, os componentes são: pilar, viga e conjunto conectivo.

Ainda no contexto de aplicação da Arquitetura do produto, Lawrence (2003) trabalhou na criação de um módulo funcionando como um chassi¹⁸, estrutura básica, padronizada e produzida em série, acomodando os serviços de infraestrutura do edifício. Altera o projeto através de partes intercambiáveis entre si e conectadas a um sistema estrutural constante. (Schoenborn, 2012). A modificação plástica do projeto ocorre através de vedações e divisórias internas permutáveis que são fixadas na estrutura sistema pilar/viga previamente construída. Permite mudanças solicitadas pelos moradores bem como reconfigurações exigidas pelas modificações sociais e econômicas ocorridas com o passar do tempo. (Lawrence, 2003).

¹⁸ Na indústria do design, esta estratégia é um dos tipos da arquitetura do produto, também chamada de “plataforma design”.

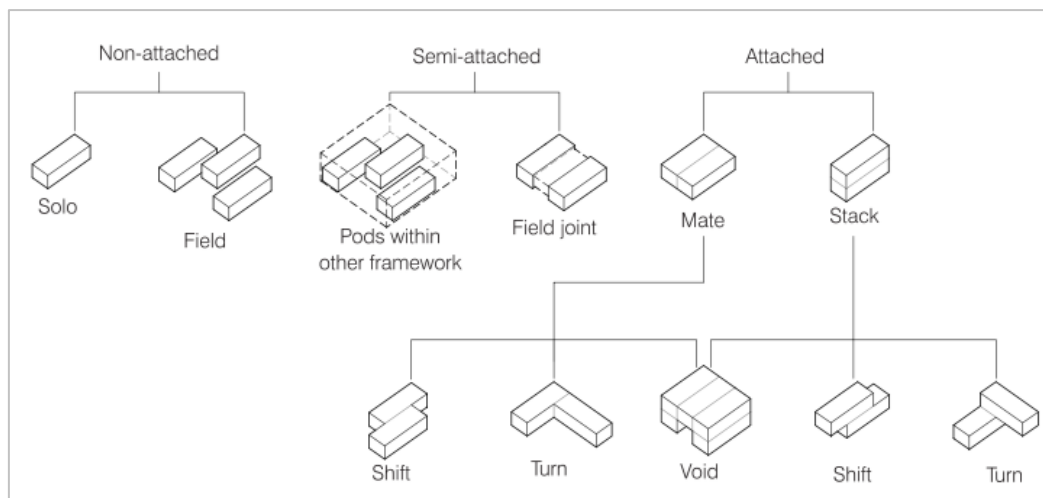
Figura 22: Ilustração do conceito de chassi: estrutura padronizada que recebe componentes intercambiáveis.



Fonte: Autor

Lonergan (Lonergan, 2011), pensando em maior flexibilidade e funcionalidade para atender os moradores, propõe divisão semelhante separando o apartamento em três membros primários: estrutura, o interior e a fachada. Cada um desses elementos agrega componentes funcionais específicos. O interior permite mudanças para atender diversos usos, a estrutura cuida da parte de encanamentos, energia e dados ao passo que a fachada fica responsável pelo sombreamento, envelopamento térmico, aquecimento e ar condicionado.

Para ampliar as possibilidades combinatórias, é necessário ver além da epiderme do edifício e estudar estratégias compositivas entre os blocos tridimensionais. No manual de arquitetura modular, disponibilizado pela empresa Kullman (Garrison e Tweedie, 2008), esses blocos podem estar anexados, presos uns aos outros, ou somente aproximados, sem se encostarem; ou serem unidos por outro elemento, uma cobertura, por exemplo. A Figura 23 ilustra essa classificação através do prisma retangular, o mais utilizado pelos sistemas modulares volumétricos.

Figura 23: Exemplo de combinações de módulos.

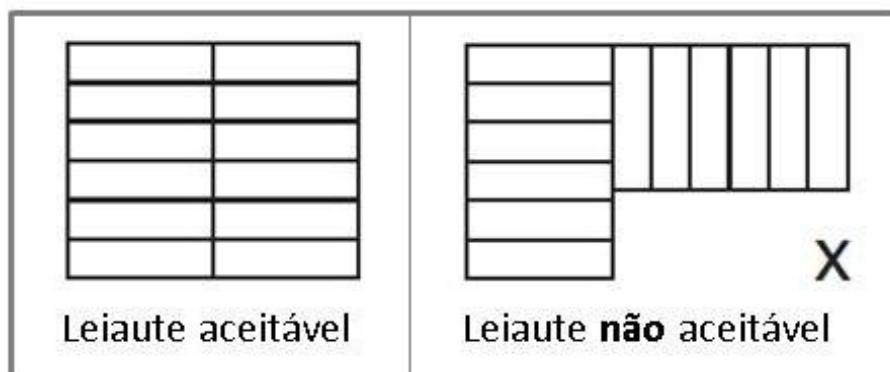
Fonte: (Garrison e Tweedie, 2008)

As combinações cujos módulos encostam-se podem ocorrer lado a lado (união) e/ou sobrepostas (empilhamento). No caso de prisma retangular, as combinações com faces totalmente coincidentes resultam em blocos prismáticos retangulares maiores, com pouca variação compositiva do módulo inicial para a forma do edifício final. Quando a forma prismática possui como base o trapézio ou o triângulo, as combinações com faces totalmente coincidentes podem alterar a forma final do edifício possibilitando curvaturas. A forma final de edifícios construídos modularmente depende tanto da geometria do bloco tridimensional como das relações espaciais estabelecidas entre eles. Alterando o ângulo de 90° entre as peças estruturais, muda o formato das faces laterais do bloco. Sistemas que utilizam módulos diferentes do retangular encontram-se no Kovel (Kovel e Kovel, 2011), com módulo em forma de prisma triangular. Sistemas com módulo trapezoidal são propostos por Trembley ao desenvolver o sistema Polyghome (Tremblay e Inc., 2010) e também por Mlynsk (2012) na revitalização de área portuária de Gdynia, Polônia. Construções e ocupações são sugeridas através da combinação de blocos cuja forma difere-se da prismática. A Figura 24 ilustra algumas possibilidades compositivas com prismas de diferentes formas.

Figura 24: Exemplos de sistemas existentes

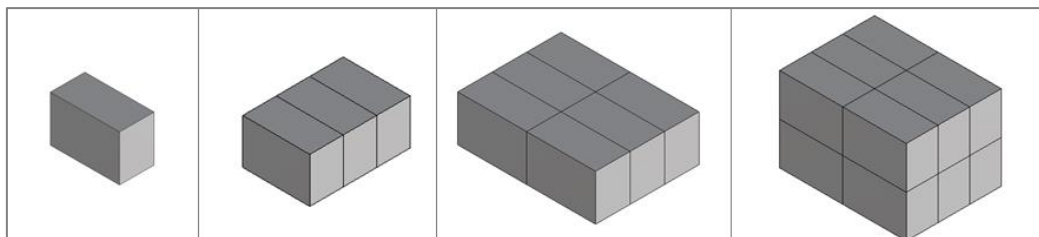
Fontes: 1. Prisma triangular (Kovel e Kovel, 2011); 2. Prisma trapezoidal ((Tremblay e Inc., 2010); 3 e 4. Prisma retangular (Yorkon, 2013)

Alguns sistemas como o Yorkon, empresa inglesa que constrói edifícios modulares nas mais diversas funções, não aceitam desencontro de módulos, reforçando a variação estética pela superfície, pois os módulos retangulares devem manter o alinhamento pelos vértices, sem rotação de módulos, como ilustram as Figuras 25 e 26.

Figura 25: Exemplos de combinações aceitáveis no sistema Yorkon.

Fonte: (Yorkon, 2012)

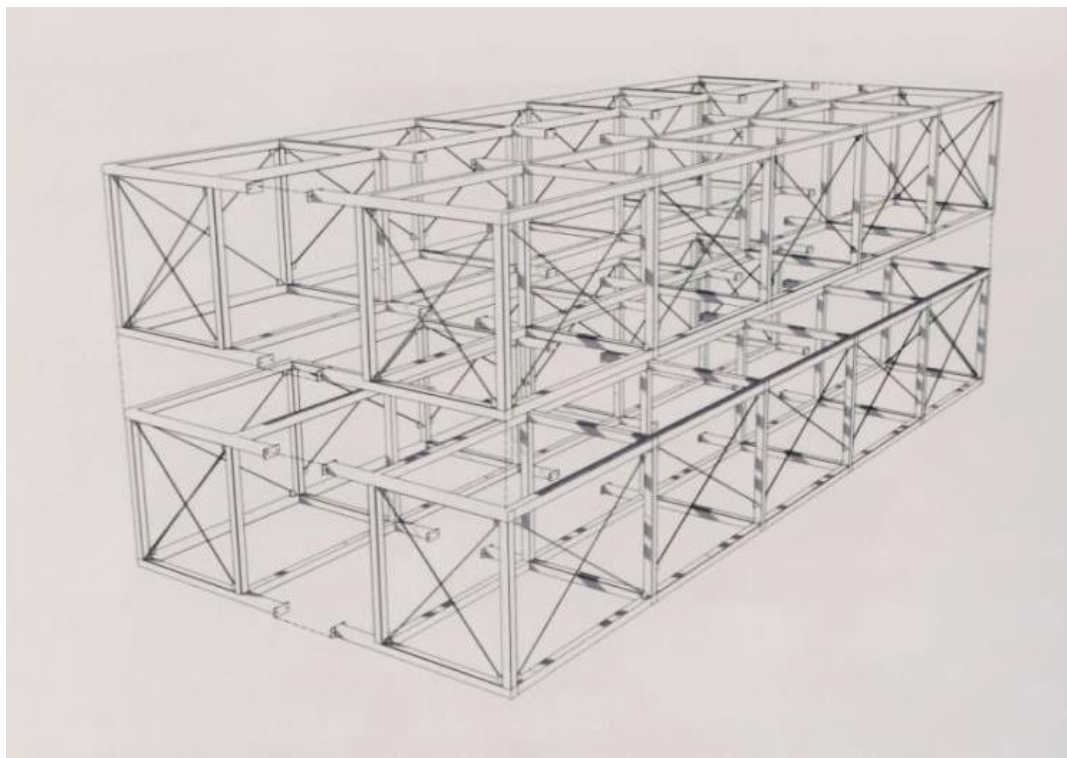
Figura 26: Prisma retangular com combinações de faces totalmente coincidentes.



Fonte: Autor

Varição compositiva com prisma retangular é proposta pelos arquitetos Mark e Peter Anderson (2007), que propõem um módulo baseado no tamanho máximo de transporte de algumas regiões dos EUA, com 18,3 metros e subdividido por submódulos menores. Na largura, o vão entre pilares é prolongado horizontalmente, que se junta a outro módulo espelhado, quando da combinação lado a lado. O prisma retangular recebe barras horizontais que se prolongam além da base do retângulo. Apesar de aumentar a largura, permite somente composições espelhadas e sem deslocamentos entre os blocos, conforme ilustra a Figura 27.

Figura 27: Ilustração indicando a junção de 04 módulos, sistema Anderson.



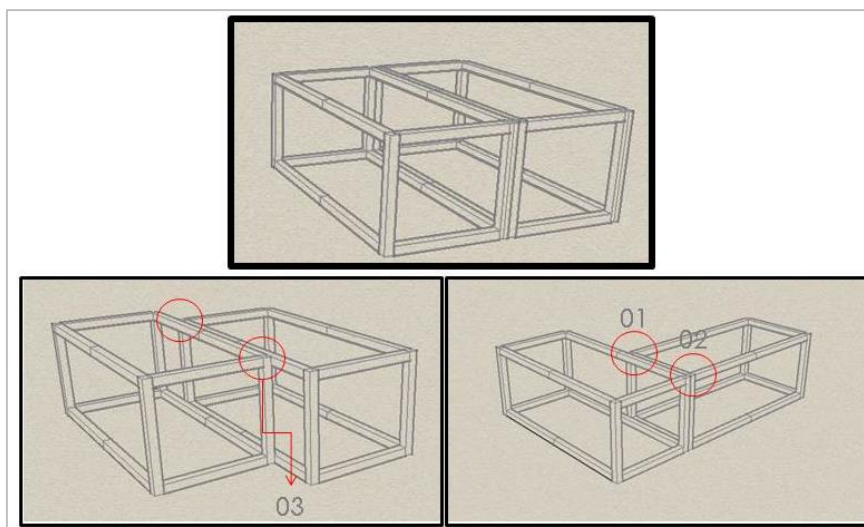
Fonte: (Anderson e Anderson, 2007)

No **Brasil**, o sistema Fast Flex produzido pela SISCOBRAS (Sistemas Construtivos do Brasil) trabalha principalmente com composição unindo os módulos pelos seus vértices. As combinações são feitas com faces totalmente coincidentes e são projetadas para empilhamento de até 4 blocos. As conexões entre os módulos são feitas através de solda e a água pluvial é recolhida por tubulação que percorre os pilares dos cantos. Os módulos com estrutura de aço galvanizado possuem dimensões de 3 metros de largura por 6 metros de comprimento e 3 metros de altura. Módulos maiores são possíveis, seja no comprimento, largura, ou mesmo pé direito. (Siscobras, 2014-2015). Caiado (2005) propõe um sistema em módulos utilizando a estrutura metálica em aço, voltado para edifícios comerciais de 2 a 4 pavimentos. O estudo proposto apresenta módulos únicos com faces totalmente coincidentes. Outro exemplo brasileiro é o MiniMod, protótipo de unidade residencial feita pela parceria do Studio Paralelo e Maam. Um único módulo, com 27 m² e peso de 8 t a 10 t, atende à função proposta e requer fundações pequenas. “A estrutura é feita em steel frame, com o desenho em pórticos que resolvam a estrutura de pisos paredes e cobertura.” (Frajndlich, 2013).

O tipo de módulo utilizado na composição também influencia a variabilidade plástica e compositiva, principalmente na ampliação de espaços e troca de fechamentos/aberturas, mesmo após a construção. Nesse sentido, módulos que apresentam independência entre estrutura e vedação admitem maior liberdade projetual, seja pela soma de espaço dos módulos combinados e/ou pela possibilidade de abrir totalmente os 4 lados do módulo, eliminando restrições para a composição de cheios e vazios nas fachadas.

Quando se considera módulo com 4 lados aberto, ampliam-se as possibilidades de customização na superfície do edifício e no planejamento dos espaços internos, devido à independência entre estrutura e vedação. As fases dos módulos tridimensionais devem estar livres de esforços estruturais para permitir total abertura na vedação assim como a ampliação/interligação de espaço. Caso as paredes envolvam o percurso das cargas estruturais, a união de espaços dos módulos e as aberturas na superfície externa ficam vinculadas à estabilidade do edifício.

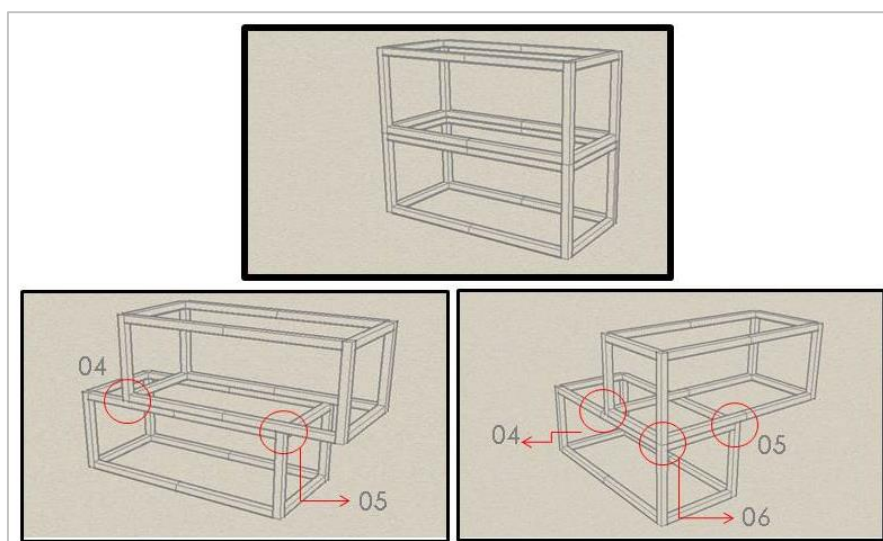
Figura 28: exemplos de encontros entre blocos para combinações lado a lado.



Fonte: Autor

Para ampliar as possibilidades combinatórias e, conseqüentemente, o resultado final da volumetria, as relações espaciais entre os blocos precisam ser alteradas. As faces totalmente coincidentes passam a ser parcialmente coincidentes, como ilustram as Figuras 28 e 29. A alteração das relações espaciais entre os blocos altera os locais e as características de conexão entre os mesmos. Mudar a relação espacial entre unidades tridimensionais propicia ampliar as variações compositivas ao mesmo tempo em que modifica as fixações necessárias do conjunto.

Figura 29: Exemplos de encontros entre blocos para combinações sobrepostas.



Fonte: Autor

Quando coincidentes, os blocos estão alinhados e as junções entre componentes estruturais ocorrem vértice com vértice, facilitando a união e a distribuição dos esforços. Nas faces parcialmente coincidentes, os encontros entre os componentes estruturais são alterados. As arestas verticais (pilares) são unidas com arestas horizontais (vigas), gerando uniões entre vértice e meio de bloco, outro tipo de fixação entre componentes. No empilhamento, a combinação de faces não coincidentes deixa o módulo superior em balanço, exigindo dos componentes, além da fixação, capacidade estrutural específica para esta situação.

A forma do bloco também influencia os conjuntos conectivos, pois a angulação interna de cada prisma difere-se entre si e quando os blocos são combinados, outras angulações são formadas, pela soma dos ângulos.

Para o estudo das possibilidades combinatórias vinculadas às necessidades de fixação foi utilizado o método da Gramática de Formas, processo generativo controlado por regras vinculadas à relação entre composições e junções geradas (Teribele, 2011). O conceito e o método aplicado da Gramática de Formas são descritos a seguir.

1.4. GRAMÁTICA DE FORMAS

As unidades tridimensionais da Arquitetura Pré-Fabricada Modular Volumétrica são compostas de prismas reto: poliedros formados por faces planas, arestas retilíneas e vértices, cujas faces superior e inferior são iguais e paralelas entre si. (Pottmann et al., 2007). O polígono que forma a base do prisma define seu tipo: retangular, trapezoidal, triangular, entre outros. A unidade volumétrica com os 4 lados abertos pode ter seus componentes estruturais: pilares, vigas e conexões, relacionados com as arestas e vértices do prisma. Em cada vértice há o encontro de 3 componentes: 1 pilar e 2 vigas.

Através de processos generativos, que geram várias soluções em potencial para serem avaliadas e escolhidas pelo arquiteto, princípios geométricos-matemáticos podem ser aplicados para alcançar um conjunto de arranjos compositivos entre os módulos. Com 3 objetivos principais: otimização do projeto; automatização de tarefas de desenho e geração criativa de formas, os processos generativos usam o poder de processamento dos computadores no processo projetual, (Gonçalves, 2015), podendo também ser feito sem auxílio do computador. (Celani *et al*, 2006). Promove o desenvolvimento de soluções de projeto originais, fato difícil ou impossível de alcançar com outros métodos.

(McCormack *et al.*, 2004). Os processos generativos permitem aprofundar o conhecimento teórico e/ou prático dos problemas abordados em cada projeto ampliando a capacidade de pesquisa de alternativas e a consolidação de estratégias adotadas. (Santos, 2009).

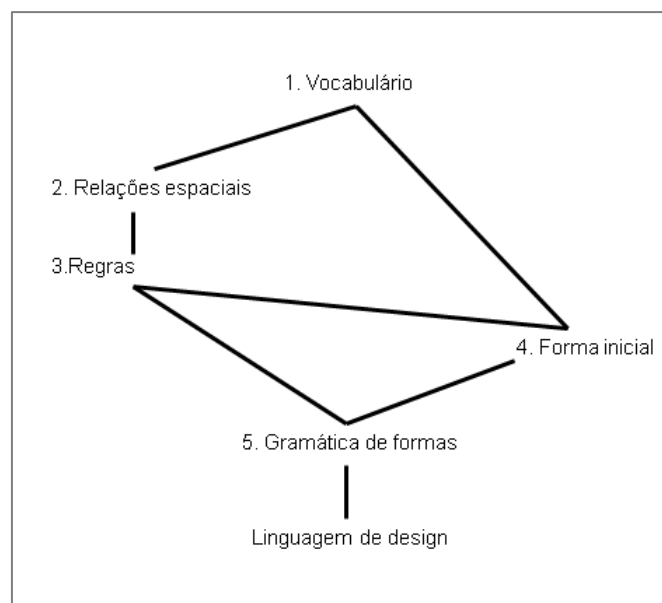
A Gramática de Formas (Stiny e Gips, 1972) é um processo generativo que combina um vocabulário pré-determinado com regras pré-estabelecidas, para gerar alternativas compositivas. Baseado “no sistema de produção do matemático Emil Post (1943) e na gramática generativa do linguista Noam Chomsky (1957)” (Celani *et al.*, 2006), permite que novos conjuntos de desenhos sejam explorados e alternativas de projeto sejam conseguidas. (Prats, 2007).

O vocabulário é um conjunto finito de formas bidimensionais e/ou tridimensionais, e as regras, sequência de instruções que definem a maneira como as formas podem ser combinadas. (Mayer, 2012). As regras provêm das relações espaciais que as formas estabelecem entre si, a partir de operações booleanas: adição, subtração, interseção e/ou interpenetração de formas; transformações geométricas:¹⁹ rotação, translação e reflexão; e/ou, paramétricas, que atuam sobre parâmetros geométricos da forma. (Schreiner, 2009). A Figura 30 ilustra o processo utilizado na Gramática de Formas em que cada gramática propicia a caracterização de uma linguagem formal.

A aplicação de uma regra sobre as formas é definida por marcadores, que podem ser inseridos, por exemplo, para redução da simetria, restringindo a aplicação das regras e controlando o resultado das aplicações. (Gonçalves, 2015). Os marcadores podem ser iniciais, espaciais e terminais, definindo o início, o local e o fim da geração formal. (Schreiner, 2009). Para o processo da gramática, determina-se a forma inicial na qual uma regra é aplicada. Essa regra pode ser aplicada recursivamente, ou seja, repete-se o processo sobre a forma resultante, ou podem-se inserir novas regras até alcançar o resultado pretendido. Envolve uma maneira lógica e matemática de pensar o projeto. (Celani *et al.*, 2006).

¹⁹ Também chamadas de isométricas e/ou euclidianas.

Figura 30: Etapas que envolvem o processo da Gramática de Formas.



Fonte: Stiny, 1980

Esse método surgiu com o objetivo de criar formas originais na pintura (Stiny e Gips, 1972) chamada de gramática sintética. Posteriormente, a gramática analítica passa a ser usada para extrair e reproduzir uma gramática existente, criando novas formas a partir da linguagem arquitetônica analisada. (Duarte, 2001; Godoi, 2008). Além de fazerem parte da Gramática Analítica e descreverem uma família de projetos (Duarte, 2007), estes trabalhos propõem a geração de novos projetos dentro da linguagem investigada.

A Gramática de Formas também pode ser dividida em gramática de conjuntos (*set grammar*): quando não inclui a emergência de formas, e/ou gramática que inclui à emergência. (Duarte, 2007). A emergência de formas, capacidade de reconhecer formas que não foram predefinidas pela gramática, é um processo difícil de ser implementado no computador, que não identifica a forma facilmente como faz o cérebro humano. (Celani *et al.*, 2006). Outra possibilidade é a Gramática paramétrica, na qual as regras são parametrizadas, com os valores deixados em aberto para definição na hora da aplicação, funcionando, então, cada regra como um conjunto de regras. (Duarte, 2007; Gonçalves, 2015).

Mayer (2012) propõe uma Modelo Geométrico Paramétrico para a geração de projetos de Habitação de Interesse Social e explora a Gramática de Formas para gerar

alternativas adequadas à realidade socioeconômica brasileira. O trabalho de Mendes (2014) utiliza a Gramática de Formas para propor metodologia de projeto que permita a criação de espaços comuns e áreas de lazer em conjuntos habitacionais. Desenvolve experimentos de ensino com alunos que aplicam regras em modelos físicos tridimensionais.

A Gramática de Formas com formas tridimensionais foi experimentada pela primeira vez em 1980, (Knight, 2000), quando Stiny utilizou os *blocos Froebel* como vocabulário para a geração de novas formas. (Stiny, 1980) As regras aplicadas basearam-se em relações espaciais entre os blocos, aproximados ou unidos pelos vértices, arestas e/ou faces dos blocos. Knight (Knight, 1994b) utiliza os *blocos Froebel* e desenvolve uma gramática original explorando as relações espaciais através da aplicação de transformações geométricas: rotação, translação e reflexão. Quantifica as composições obtidas através do uso de matriz combinatória. A matriz combinatória também foi usada para explorar e quantificar formas com 2 módulos de mobiliário multifuncional. As matrizes utilizadas basearam-se nos grupos de simetria plana²⁰ para realizar as combinações. (Schreiner, 2009).

A gramática de formas para objetos tridimensionais foi implementada por Piazzalunga e Fitzhorn (1998), que simularam objetos tridimensionais no computador. Aplicaram regras e marcadores nas formas tridimensionais iniciando com o vocabulário de Kindergarten grammar (oblong) e depois com prismas retangulares de outras dimensões variando regras e marcadores. (Piazzalunga e Fitzhorn, 1998).

Seguindo este estudo (Wang, 1998; Wang e Duarte, 2002), automatizam a geração formal com blocos Froebel, sendo possível a visualização 3D dos objetos combinados bem como a fabricação digital dos mesmos.

Koning and Eizenberg (1981) também aplicaram a Gramática de Formas para análise de blocos tridimensionais ao extraírem a gramática das *Praire Houses*. Dividiram-na em dois estágios: regras de composição básica e regras ornamentais. (Knight, 1994a). No 1º estágio, estabeleceram as regras que geram as alternativas compositivas e, no 2º, estabeleceram regras para agregar elementos decorativos às composições geradas.

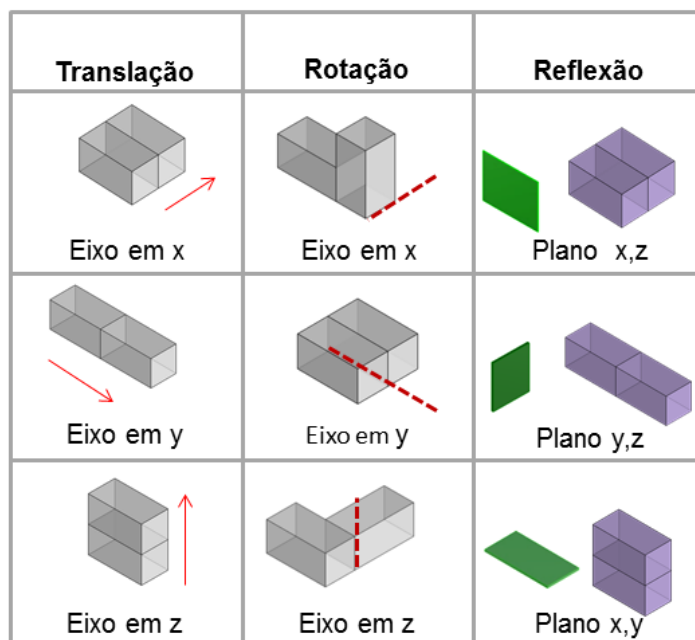
²⁰ A simetria plana faz parte das simetrias geométricas cujas simetrias são geradas por transformações geométricas. Em um sistema dimensional, a geometria pode ser linear, plana e espacial. (Rosen, 1998); (March e Steadman, 1974)

Duas etapas gramaticais também são utilizadas por Godoi Gonçalves (2015). Na 1º etapa, a autora define regras para a geração de formas bidimensionais, mais especificamente, plantas das igrejas coloniais brasileiras. Na 2º etapa, define as regras para geração tridimensional dos edifícios estudados.

Duas ou mais gramáticas que atuam juntas são chamadas de Gramáticas paralelas, definidas inicialmente por Stiny ao propor gramáticas descritivas junto com a gramática de formas. (Knight, 2003). Outros exemplos de trabalhos que usam mais de uma gramática simultaneamente podem ser encontrados no trabalho de Li (Li, 2001) e Duarte. (Duarte, 2007). Li propõe gramática para definir as plantas e elevações, ambas com descrições dos projetos, baseado no Yingzao Fashi. Duarte chama de gramática Discursiva a integração de Gramáticas da Forma, Gramáticas Descritivas e um conjunto de Heurísticas, *“usada para escolher uma regra para aplicar em cada passo da geração ou para condicionar a escolha a um pequeno número de regras”*. (Duarte, 2007) Duarte também usa gramáticas paralelas sequenciais, visto que definições do 1º piso levam para as definições dos pisos superiores que levam, por sua vez, à fachada frontal.

A Gramática de Formas neste trabalho será utilizada para gerar um conjunto de alternativas para cada um dos 3 tipos de módulos: triangular, trapezoidal e retangular. As composições utilizadas serão baseadas nas transformações euclidianas ou geométricas, podendo alterar a posição do objeto sem alterar sua forma e tamanho (Mitchell, 2008). Somando-se às transformações euclidianas, a regra de adição foi incorporada ao processo para permitir a criação de conjuntos de prismas. A Gramática de Formas definirá as regras para combinar os blocos, definindo e controlando as relações espaciais estabelecidas entre os blocos tridimensionais.. Neste caso, as combinações formais ocorrem unindo, total ou parcialmente, as faces dos blocos e preservam as funções estruturais dos componentes dos módulos. O estudo dos tipos de encontros gerados entre os componentes estruturais dos módulos permitirá a descrição das diretrizes de conexão, necessárias para uni-los quando da construção do edifício pretendido. Trata-se de uma Gramática Descritiva, que descreve aspectos relevantes de projeto, de acordo com critérios de interesse pré-estabelecidos. (Stiny, 1981; Duarte, 2007).

Figura 31: Exemplo de transformações geométricas aplicadas sobre módulo tridimensional.



Fonte: Autor

As transformações: translação, rotação e reflexão; exemplificadas na Figura 31, podem ser aplicadas no espaço bidimensional e/ou no espaço tridimensional. No espaço tridimensional, podem ser chamadas de transformações espaciais (Rosen, 1998), permitindo também aplicações no eixo z. Apesar de o módulo ser um elemento tridimensional, neste trabalho as transformações serão aplicada sobre o plano bidimensional x,y. As movimentações em z serão somente de translação, permitindo o empilhamento dos blocos. Aplicação das demais transformações no eixo z modifica a função estrutural dos componentes, fazendo com que um pilar seja exigido como uma viga e vice-versa.

As relações espaciais estabelecidas entre as unidades modulares aqui estudadas consideraram situações de combinações em que as unidades modulares encostam-se face a face, tanto encontro total e/ou parcial definindo os deslocamentos entre as faces. As formas serão adicionadas umas as outras através da regra de adição, formando inicialmente composição com 2 blocos e, posteriormente, combinações com 4 blocos. A Gramática Descritiva é empregada para descrever as características das faces que se encontram entre blocos bem como os atributos de junções gerados. Esse processo é utilizado para definir padrões combinatórios de módulos que possam ser explorados

para gerar alternativas compositivas com a Arquitetura Modular Volumétrica, vinculando a essas composições as diretrizes de fixação.

Não se pretende gerar uma gramática definindo uma linguagem arquitetônica, e sim indicar um caminho metodológico para que gramáticas sejam exploradas com este tipo de arquitetura: a criação de novas gramáticas pode ser conseguida através da transformação de gramáticas pré-estabelecidas. (Knight, 1994a). Como tipos de módulos e conjuntos conectivos permitem um determinado conjunto de composições, a ampliação das possibilidades compositivas pode ser conseguida estudando as características de fixação necessárias para unir módulos em diferentes arranjos combinatórios.

Neste trabalho, estudam-se as possibilidades compositivas vinculando estudos de fixação com 4 conjuntos conectivos. Abre-se campo para definir atributos de fixação que permitam unir módulos em diferentes relações espaciais, aplicado para 03 modelos, de diferentes tipos de prismas.

Esta tese divide a gramática em duas partes: na 1^o parte concentra-se na geração de alternativas compositivas e definição de padrões, enquanto que na 2^o parte definem-se as diretrizes de fixação a partir da relação composições e tipos de encontros entre os componentes estruturais dos módulos. Estabelecem-se princípios da Gramática Compositiva e da Gramática Conectiva. Na Compositiva definem-se os padrões e na Conectiva extraem-se os tipos de junções e definem-se as diretrizes de fixação. Para identificar os tipos de junções, foi necessário estabelecer primeiramente as composições, criando uma dependência da Gramática Compositiva em relação à Conectiva. Apesar desta dependência, no modelo generativo proposto, onde o modo de combinar os padrões compositivos é definido, foi possível estabelecer um paralelismo, onde as duas gramáticas andam lado a lado. Os padrões pré-determinados são combinados e indicam os atributos de fixação envolvidos, permitindo gerar alternativas combinatórias vinculadas às diretrizes de fixação necessárias para efetivá-las. A sistematização dessas regras é descrita no próximo capítulo, Materiais e Método.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado um modelo de geração formal vinculando opções compositivas com diretrizes conectivas. Trata-se de uma pesquisa básica estratégica (Gil, 2010), que direciona-se a soluções de problemas práticos, como aspectos construtivos e geométricos que envolvem a arquitetura modular volumétrica.

Para atingir tal objetivo, utiliza-se 3 modelos generativos abstratos baseados em três tipos de prismas: retangular, trapezoidal e triangular. Estes modelos servem, individualmente, para fornecer os tipos de encontros gerados entre os componentes estruturais dos módulos, bem como para estabelecer padrões compositivos que possam ser reproduzidos. Os tipos de encontros são analisados em 4 conjuntos conectivos genéricos, baseados em sistemas modulares existentes, e propiciam a identificação dos requisitos de fixação necessários para atender aos arranjos propostos. O método ‘Gramática de Formas’ possibilita definir o modelo generativo proposto: diretrizes conectivas incorporadas às regras combinatórias. Gera distintos arranjos compositivos vinculados às informações necessárias para conectar módulos.

Assim como nas Gramáticas propostas por Li (2001) e Duarte (2007), onde uma gramática antecede a outra, neste trabalho ocorre o mesmo quando da obtenção das regras compositivas e conectivas. A primeira envolve aspectos combinatórios dos prismas geométricos, e define os padrões compositivos por meio das características das faces que se unem nas composições geradas. A segunda identifica os tipos de junções geradas pelo encontro dos módulos, em cada padrão compositivo, a partir dos quais se definem as diretrizes de fixação. A Gramática Compositiva e a Gramática Conectiva utilizam a gramática paralela sequencial.

No modelo generativo proposto, os princípios extraídos das duas gramáticas atuam simultaneamente, podendo ser entendidas como Gramáticas Paralelas. (Knight, 2003). Os tipos de encontros formados entre os componentes estruturais dos módulos fazem a ligação entre composição e diretrizes de fixação. Os Materiais e Métodos que estabelecem esse processo são descritos a seguir.

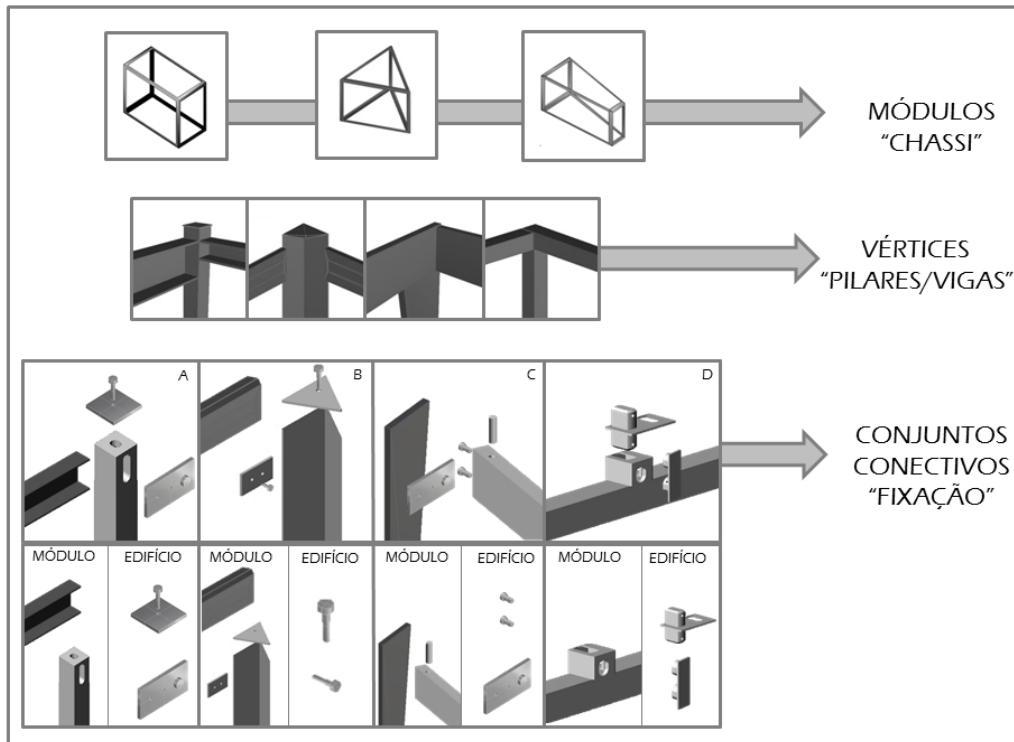
2.1. MATERIAIS

Para efetivar combinações na AMV, dois elementos são necessários, a unidade tridimensional enquanto estrutura e o conjunto conectivo usado para fixar essas unidades entre si. Neste trabalho o bloco tridimensional é limitado ao o módulo-chassi com as faces laterais abertas, constituindo os 3 tipos de prismas: retangular, trapezoidal e triangular. Para avaliar os requisitos construtivos e geométricos necessários para fixar componentes estruturais de módulos, 4 conjuntos de fixação foram usados como base da investigação. A definição desses conjuntos baseou-se nas características conectivas para unir blocos tanto lado a lado (união) como sobrepostos (empilhamento), baseando-se em soluções apresentadas por sistemas modulares volumétricos existentes²¹.

A imagem a seguir (Figura 32) ilustra os tipos de módulos e os componentes estruturais que correspondem aos conjuntos conectivos estabelecidos para este trabalho, explicitados a seguir. Os componentes soldados aos módulos bem como os pilares e vigas de cada sistema são considerados adaptados às diferentes angulações dos tipos de prismas utilizados, enquanto as peças colocadas na execução do edifício permanecem com o formato inicial, seguindo a forma do sistema original sendo: a) e d) prisma retangular; b) prisma triangular e c) trapezoidal. A figura 33 ilustra os vértices e parte do conjunto conectivo acompanhando a angulação e perímetro dos diferentes tipos de prismas utilizados.




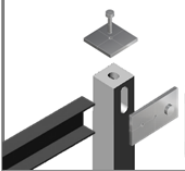
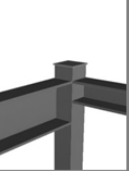
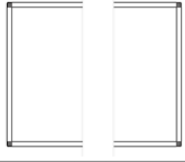
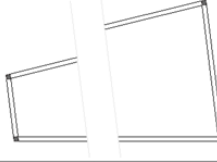

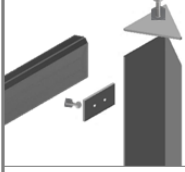
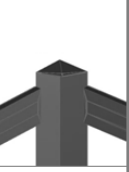
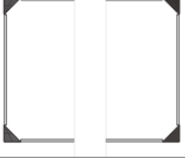

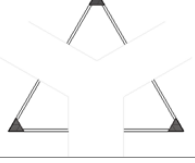
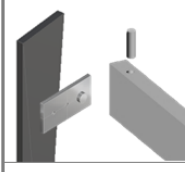


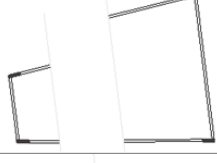
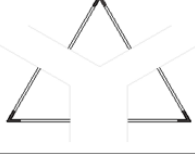
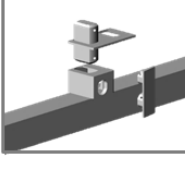


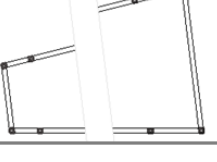
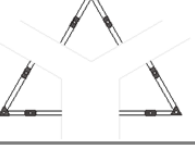
²¹ Os conjuntos conectivos são interpretados a partir de informações obtidas através das patentes, catálogos e imagens dos sites dos sistemas investigados.

Figura 32: Tipos de módulos e os conjuntos conectivos usados na metodologia.



Fonte: Autor

Figura 33: Plantas dos módulos adaptados aos pilares dos conjuntos conectivos.

CONJUNTO CONECTIVO				
FIXAÇÃO	PILARES E VIGAS			
				
				
				
				

Fonte: Autor

a) Conjunto Conectivo A – União feita com chapa metálica plana (vertical) e parafuso colocado externamente sobre pilares, previamente furado na face frontal. Empilhamento feito com parafuso e chapa metálica plana (horizontal) entre extremidades dos pilares, com ponta fechada por chapa metálica soldada aos pilares. Furo na face externa do pilar permite acessar a fixação dos parafusos, feito por acesso externo. A altura do pilar é maior que a face superior da viga. As vigas apresentam secção “C” com face externa alinhada ao pilar tubular com secção quadrada.

b) Conjunto Conectivo B - União feita com chapas metálicas planas (vertical) soldadas ao pilar do módulo que recebe duas vigas, uma de cada lado, fixada por parafusos colocados pelo lado interno. Empilhamento feito através de chapa metálica (horizontal) soldada na ponta do pilar e fixada com parafuso acessado pelo lado interno do módulo. Une componentes estruturais do módulo juntamente com a fixação entre eles. A altura do pilar é maior que a face superior da viga. As vigas apresentam secção retangular e os pilares são em chapa dobrada acompanhando a abertura do vértice do módulo.

c) Conjunto Conectivo C – União feita com chapa metálica (vertical) interna aos pilares e fixadas com parafusos. Empilhamento realizado através de pinos colocados nos cantos do módulo, lado inferior e, furos definidos nos cantos inferiores dos módulos sobrepostos. Travamento²² do empilhamento feito pelo lado externo do edifício, faces frontais, com furos e parafusos abrangendo componentes estruturais dos dois módulos. Pilar com secção retangular finalizando na viga, também com secção retangular.

d) Conjunto Conectivo D – União e empilhamento feito simultaneamente com elemento conector, soldado na viga do módulo. Possui furo na face frontal para travamento feito com chapa vertical e pinos parafusados e, furo na face superior para receber pino e chapa horizontal furada. Foram consideradas chapas de 01 unidade, 02 unidades e 04 unidades cujo lado maior une-se ao lado maior. No prisma triangular, o elemento conector tem furo em ambos os lados. O elemento conector encontra-se no canto do módulo e no meio de viga de acordo deslocamento entre blocos. Pilar e face superior da viga, ambos tubulares de secção quadrada, terminam na mesma altura e os acessos para fixação são externos.

Os módulos e conjuntos conectivos estabelecidos para a investigação limitam-se aos componentes do conjunto conectivo e ao formato dos pilares e das vigas de cada um

²² A fixação dos pinos/ furos, nos casos de módulos empilhados, chamou-se de travamento neste trabalho.

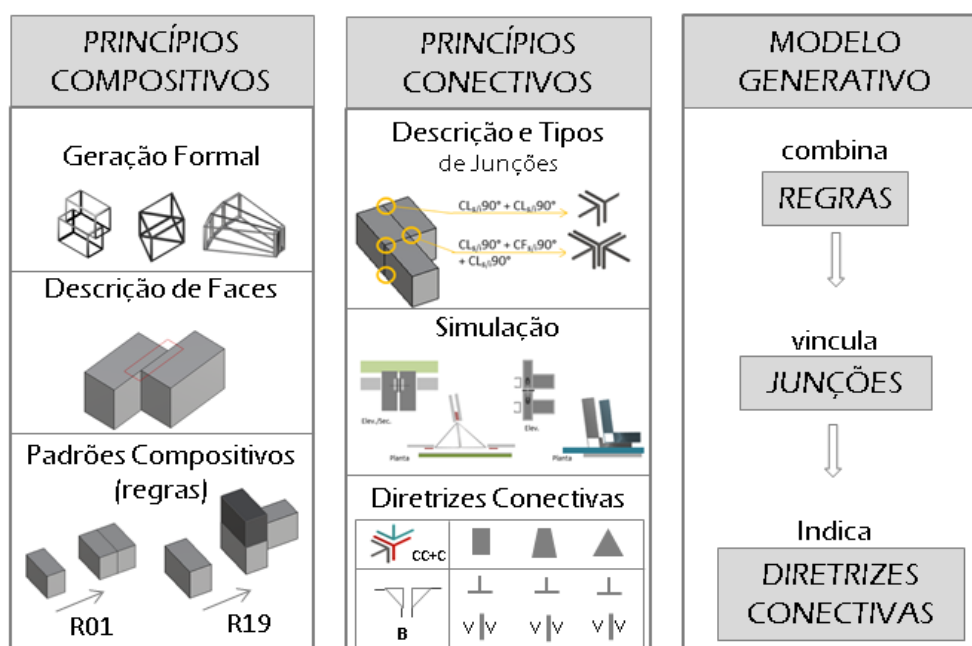
deles. Aspectos referentes aos esforços presentes nas composições geradas não foram incluídos. Componentes estruturais intermediários como vigas de piso/cobertura, contraventamentos, pilares intermediários, peças conectivas extras poderão ser requeridos bem como dimensões das secções de vigas, pilares, chapas e parafusos devem ser adequados aos esforços sofridos pelos componentes estruturais nas composições geradas.

Os conjuntos conectivos estabelecidos foram inseridos nos tipos de junções encontradas, de modo a fornecer os requisitos geométricos e construtivos para diretrizes de fixação. Essas junções provêm de três modelos formais, cada um deles baseado em um tipo de prisma. A metodologia utilizada está descrita a seguir.

2.2. MÉTODOS

O objetivo deste trabalho é propor três modelos generativos, um para cada tipo de prisma, vinculando as composições geradas com as diretrizes de fixação para unir os módulos. A metodologia foi dividida em três partes: **Princípios da Gramática Compositiva; Princípios da Gramática Conectiva; Modelo de Geração Compositiva-Conectiva**. Cada parte conta com suas próprias etapas metodológicas, abaixo descritas e ilustradas na Figura 34:

Figura 34: Esquema ilustrativo das etapas da metodologia.



Fonte: Autor

- **Princípios da Gramática Compositiva:** Estabelecer padrões compositivos baseados nas características das faces dos módulos que se unem. Contempla as etapas:
 - a. **Geração formal** - Dividem-se em duas fases, ambas para os três prismas. Na 1° fase, geram-se combinações com 2 módulos, e na 2° fase, geram-se combinações com 4 módulos.
 - b. **Descrição de Faces** - Identificação e descrição dos tipos de faces na união dos módulos analisando as composições geradas na 1° e 2° fases para os três prismas.
 - c. **Padrões Compositivos** - Composições entre diferentes módulos, cujo encontro das faces apresenta características específicas definindo o padrão compositivo.

- **Princípios da Gramática Conectiva:** Descrever as diretrizes de fixação indispensáveis para efetivar cada padrão combinatório sob o enfoque da conexão entre módulos. Contempla as etapas:
 - d. **Descrição e tipos de Junções** - Identificação e descrição dos encontros gerados entre os componentes estruturais dos módulos para cada padrão compositivo gerado. Define posição, quantidade de componentes, faces e ângulos em cada encontro. Na descrição, identificam-se as faces e ângulos nos encontros, agrupando-as nos tipos de junções que englobam quantidade de peças e posição dos componentes.
 - e. **Simulação** – Simula o uso de 4 conjuntos conectivos genéricos, para cada tipo de junção identificada.
 - f. **Diretrizes Conectivas** – Definição das diretrizes de fixação necessárias para unir os blocos nas composições geradas; dados obtidos a partir da simulação realizada.

- **Modelo Generativo Compositivo-Conectivo:** Estabelece os modos que os padrões compositivos podem ser combinados garantindo a vinculação com as diretrizes de fixação:

- g. Combina regras** – Define como os padrões podem ser combinados.
- h. Vincula Junções** – Cada padrão compositivo define uma regra, que por sua vez descreve os atributos de fixação, promovendo a relação entre conexão e composição. Pode haver necessidade de substituição ou acréscimo de tipos de junções, indicadas no modelo generativo proposto.
- i. Indica Diretrizes Conectivas** – Indica as diretrizes de fixação para unir os módulos, de acordo o tipo de prisma e sistema conectivo utilizado, para cada composição proposta com o uso do modelo generativo.

2.2.1. Princípios da Gramática Compositiva

As etapas que compõem essa fase da metodologia – geração formal, descrição de faces e padrões compositivos – são detalhadas a seguir.

- Geração Formal 1º Fase:

Associando um vocabulário a um conjunto de regras, foram criados três modelos combinatórios. O prisma reto é associado aos módulos dos sistemas modulares volumétricos com três diferentes bases: retângulo, triângulo e trapézio, formando o vocabulário utilizado. A aplicação das transformações geométricas: translação, rotação e reflexão estabelecem diferentes relações espaciais entre os blocos.

Nesta 1º fase, os prismas são combinados para gerar formas com faces coincidentes e/ou parcialmente coincidentes e 2 módulos. São consideradas válidas as formas que mantêm a função dos componentes estruturais, pois devido ao posicionamento do módulo, uma viga pode assumir a posição de pilar e vice-versa, invalidando a composição. As combinações que geram balanços maiores que 25% do vão também foram descartadas. Manteve-se um deslocamento de $\frac{1}{4}$ do vão, de um módulo sobre o outro, bem como duas laterais alinhadas desses blocos sobrepostos, quando em composições com empilhamento. Nas composições lado a lado, o deslocamento estabelecido é de $\frac{1}{2}$ do vão de um módulo em relação ao outro. No prisma triangular, admitiu-se uma exceção para permitir composições com balanço, pois devido à forma do prisma, não ocorre balanço com duas faces laterais alinhadas. Neste caso, manteve-se somente uma face alinhada com a face do módulo sobreposto. “A gramática deve conter regras capazes de descrever os arranjos possíveis e restringir as relações

indesejáveis, apoiando o processo de projeto através da rapidez e multiplicidade de soluções”. (Mayer, 2012).

○ Geração Formal 2° Fase:

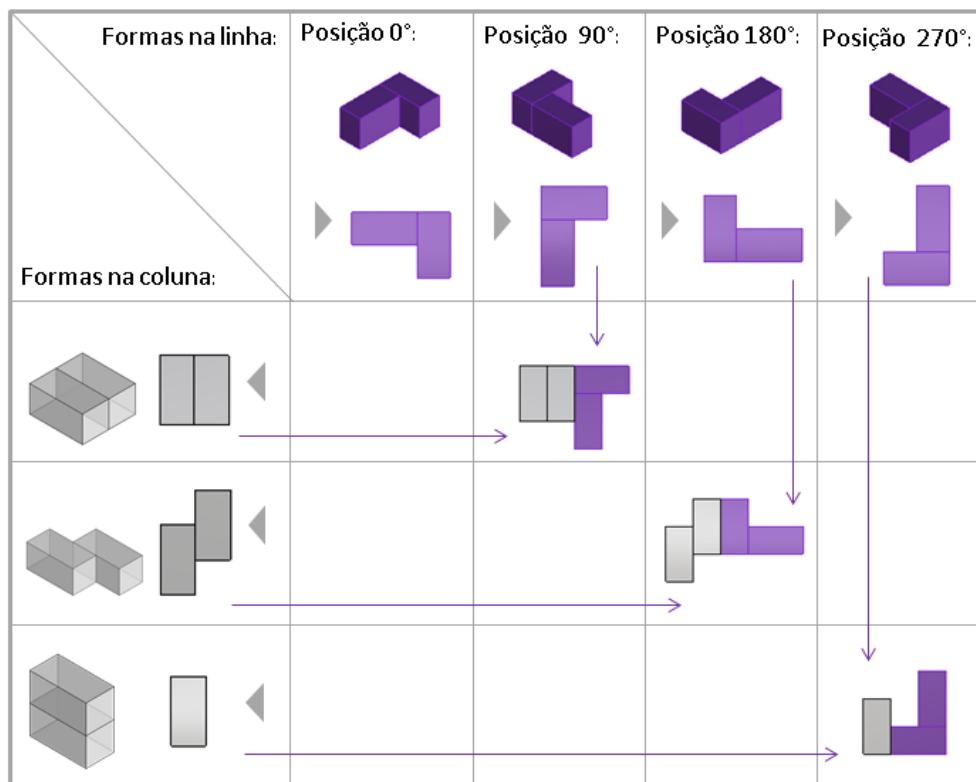
As composições geradas na 1° fase foram novamente combinadas proporcionando resultados formais com 4 blocos e mantendo os critérios estabelecidos. Uma matriz, um mapeamento disposto dentro de uma estrutura matemática abstrata (March e Steadman, 1974), formada por linhas e colunas, permite a permutação entre as combinações da 1° fase, resultando em arranjos com 4 módulos.

Na linha, foram colocadas as formas geradas na 1° fase rotacionando-as sobre o plano x, y . Cada forma é rotacionada ocupando um lugar na linha: posição 0° , 90° , 180° e 270° . Na coluna, foram colocadas as formas na posição 0° , definindo-se um local para receber a composição disposta na linha, um marcador para identificar qual será o local de junção entre os blocos. Ou seja, as 4 posições que uma composição assume na linha são combinadas com cada forma gerada na 1° fase, unindo-as pela face lateral maior do prisma inicial (marcador). No prisma retangular e trapezoidal, mantém-se o marcador no lado maior, e no prisma triangular, o marcador ocorre em uma das faces laterais, visto que as 3 faces laterais são iguais²³. É possível ampliar as possibilidades combinatórias usando marcadores para unir os arranjos pelas demais faces: superior e diferentes laterais. Quando os arranjos de 1° fase não são simétricos, o marcador pode ser aplicado em ambos os lados.

A Figura 35 ilustra o esquema combinatório utilizado na matriz. Na coluna, alguns arranjos da 1° fase são representados com o marcador lateral, e na linha, uma forma posicionada com as 4 rotações utilizadas: 0° ; 90° ; 180° e 270° . Cada forma é combinada com todas as outras formas geradas na 1° fase, rotacionadas em 4 diferentes posições, no caso do prisma retangular. No caso dos prismas trapezoidal e triangular, essas angulações foram adaptadas visando proporcionar combinações válidas de acordo com critérios estabelecidos.

²³ Outras combinações podem ser exploradas futuramente, aumentando o número de marcadores para composições dispostas na coluna que não geram simetria.

Figura 35: Ilustração demonstrando a matriz combinatória utilizada como base de combinações para a 2ª Fase de geração formal



Fonte: Autor

As formas geradas na 2ª fase são avaliadas para eliminar composições repetidas, ou seja, com mesmo resultado formal, bem como as composições não válidas de acordo os requisitos citados anteriormente. As composições cujo um bloco disposto acima no plano x,y (cota > 0) fica sem apoio e; modelos cuja simetria por reflexão geram mesma solução foram também eliminados. Além disso, as combinações com prisma trapezoidal, que obtiveram 02 prismas trapezoidais na mesma posição e unidos por vértice ângulo de 83°, foram eliminadas por gerar um espaço vazio angular, de difícil acesso e manutenção. As composições com balanço, presente na 1ª fase, foram mantidos na 2ª fase. Por isso, na matriz combinatória, o lado com balanço não foi unido com a outra forma.

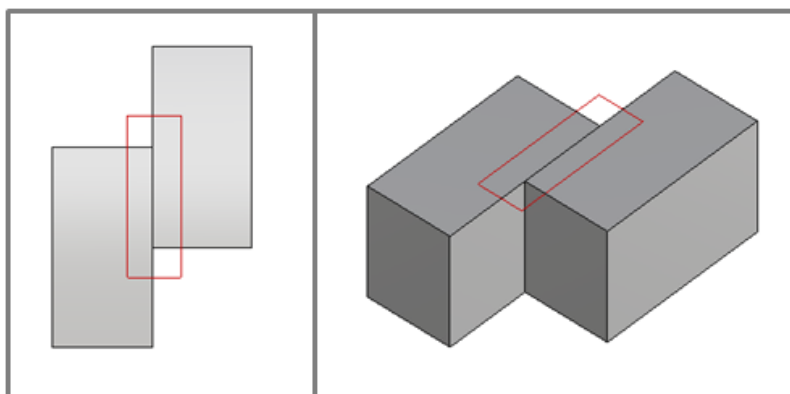
O objetivo da utilização da matriz nesta etapa compositiva não é quantificar as formas possíveis como proposto por Knight (1994), mas sim proporcionar alternativas compositivas para além da simetria ao mesmo tempo em que permite controlar as formas geradas juntamente com as tipologias de junção. A matriz proposta determina composições com até quatro módulos. O mesmo processo pode ser repetido para

soluções compositivas com maior número de módulos. Alternativas compositivas geradas através da matriz combinatória podem ser observadas no trabalho proposto por Bruce Martin para cabines telefônicas, conforme citado e ilustrado por March e Steadman.(1974).

- Obtenção dos tipos de faces

Conforme a posição que o módulo assume no conjunto, define as características das faces investigadas, dividindo-as em: Lado (L); Frente (F); Inferior (I); Superior (S); Lado deslocado (L_D); Frente deslocado (F_D); Inferior deslocado em direção à frente (I_{DF}); Inferior deslocado em direção ao lado (I_{DL}); Duas faces lado empilhadas ($S/I(L)$) e; Duas faces lado empilhadas sendo que a inferior está deslocada para frente ($S/I_{DF}(L)$). Para o trapézio dividiu-se a Frente em Frente Menor (F_n) e Frente Maior (F_m). A Figura 36 ilustra o ponto de encontro das faces analisadas.

Figura 36: Encontro entre as faces dos módulos, base para identificar os padrões combinatórios.



Fonte: Autor

- Padrões Compositivos

A característica do encontro das faces, bem como a quantidade de módulos no encontro entre eles, define o padrão combinatório a partir do qual se extraiu as regras de composição. Para cada regra atribui-se um valor como: R_1, regra 01; R_2, regra 02; e assim sucessivamente até se esgotarem os padrões compositivos das combinações analisadas. Novos padrões podem ser gerados ampliando-se a geração formal proposta, seja pela variação dos marcadores, diminuição de restrições e/ou pelo aumento do

número de módulos que se unem. No caso do prisma triangular, por exemplo, é possível unir 6 módulos no mesmo ponto de encontro.

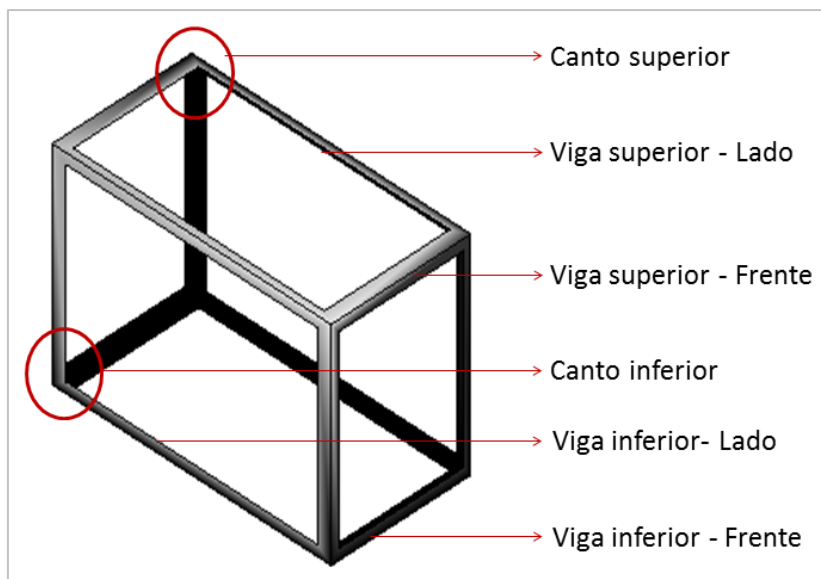
2.2.2. Princípios da Gramática Conectiva

○ Descrição e Tipos de junção:

Esta etapa identifica os encontros formados entre os blocos combinados, extraíndo os tipos de junção formados pelos vértices dos módulos. Os tipos são categorizados pelo local da junção: canto e/ou meio de viga; situação de fixação: empilhamento e/ou união; posição dos componentes; quantidade de peças e angulação entre elas na junção. Quanto ao local, o canto é definido pelo vértice do prisma com 03 componentes: 01 pilar e 02 vigas e; meio de viga quando a fixação ocorre na extensão desse componente. Quanto ao empilhamento, 04 pontos são considerados por cada módulo sobreposto para fazer a fixação. Na descrição define-se se o mesmo é junção para fixar o bloco sobreposto ou se é dispensável por já haver quatro pontos de apoio. Quanto à união, foram considerados os encontros entre blocos com ao menos um canto na junção, tanto na parte inferior quanto superior dos módulos. Dois blocos unidos podem unir-se a um terceiro por pelo menos 02 pontos de fixação. Quanto à posição: frente, lado, inferior e superior; referem-se à face dos componentes que se encostam como ilustra a figura 37. Na descrição aparecem todas as características citadas e no tipo, agrupam-se as junções pelo: local da junção; quantidade e; tipo de fixação definindo se a peça está no empilhamento ou ao lado de outro componente. Um mesmo tipo de junção pode ter várias descrições de junções, inclusive de diferentes prismas.

Na 2º fase, além dos tipos de junção da 1º fase, identificam-se os tipos de encontro formados pela junção das 02 composições (uma da linha e outra da coluna), havendo, neste caso, tipologias com número maior de componentes, pois se une maior quantidade de módulos.

Figura 37: Módulo esquemático exemplificando os componentes quando das junções.



Fonte: Autor

○ Simulação e Diretrizes de Fixação

Nesta etapa, verificam-se quais conjuntos conectivos, descritos no item 2.1, são aptos a atender as tipologias de junção geradas e quais são as características geométricas e construtivas necessárias para fixar os módulos nos arranjos propostos. Esta etapa é realizada para os tipos de junções extraídos dos 3 modelos de geração formal e definem as diretrizes de fixação.

2.2.3. Modelo de Geração Compositiva-Conectiva

Para cada solução formal gerada na metodologia proposta, extraíram-se os encontros formados entre os componentes estruturais dos módulos. A sobreposição dos aspectos tipológicos de junção aos aspectos compositivos formais permitiu extrair padrões combinatórios que definem a base para as regras Compositivas e Conectivas do modelo proposto. As regras compositivas caracterizam-se pelas composições geradas com os módulos e definidas pelas distinções das faces que se encontram. As regras Conectivas descrevem os tipos de junções gerados em cada arranjo proposto, vinculando a essas descrições as diretrizes, construtivas e geométricas, para fixar os blocos combinados.

Diferentemente da gramática paralela proposta por Li (2001) e Duarte (2007), onde uma gramática antecede a outra, neste trabalho as regras compositivas e conectivas ocorrem simultaneamente quando do uso do processo generativo proposto. A composição formal é acompanhada pela descrição dos tipos de junção que, por sua vez, vinculam-se as diretrizes de fixação. Para chegar ao modelo de geração é necessário extrair os padrões compositivos para, a partir deles, extrair os tipos de junções, que no processo generativo ocorrem simultaneamente.

3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

A metodologia aplicada ao estudo está descrita neste capítulo, englobando princípios da Gramática Compositiva; princípios da Gramática Conectiva e o modelo Generativo Compositivo-Conectivo.

3.1. PRINCÍPIOS DA GRAMÁTICA COMPOSITIVA

Esta fase da metodologia inicia-se com a geração de modelos compositivos para 03 tipos de prismas: trapezoidal, triangular e retangular. A partir destas 3 gerações formais, foram extraídos os padrões compositivos, baseadas nas características das faces que se encostam quando da união dos blocos. Os padrões combinatórios definem as regras compositivas, cujas etapas estão descritas a seguir.

As regras estabelecidas consideraram deslocamentos de $\frac{1}{2}$ vão para composições de união e $\frac{1}{4}$ de deslocamento do vão para composições de empilhamento. Os tamanhos dos prismas utilizados basearam-se em sistemas existentes. No apêndice A, apresenta-se uma discussão da localização das junções de acordo o deslocamento proposto em 2 tamanhos de prismas: um com medidas modulares e outro não.

3.1.1. Geração formal

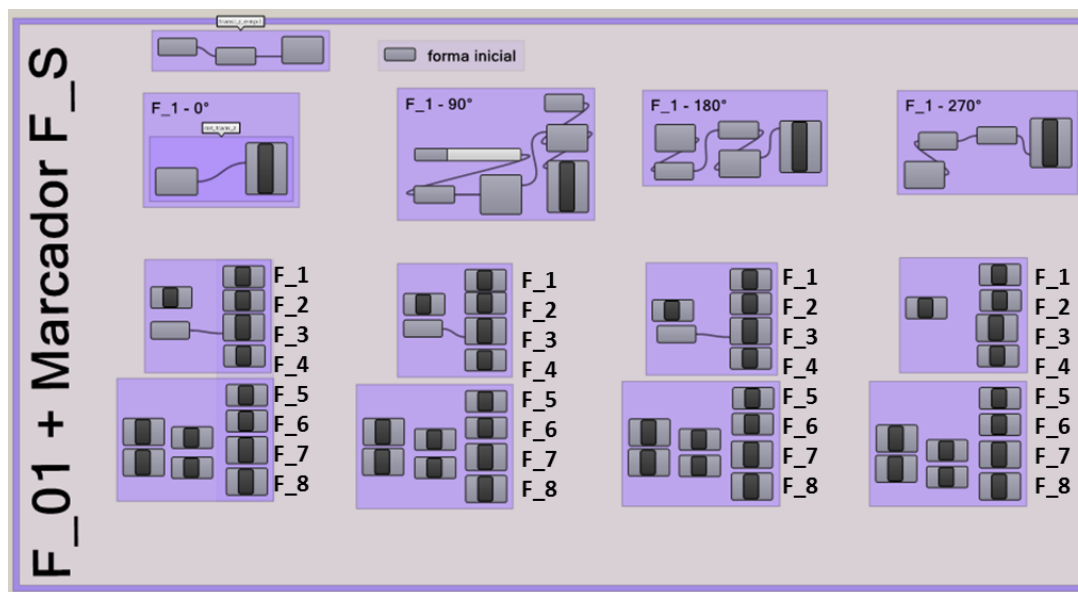
Cada tipo de prisma forma o vocabulário utilizado no modelo combinatório, resultando em 3 modelos de geração formal.

Os modelos combinatórios foram desenvolvidos através do software paramétrico *Grasshopper*, um plug-in do programa *Rhinoceros* baseado na tecnologia NURBS, desenvolvido pela Robert McNeel & Associates. Desenvolvido por David Rutten, o *Grasshopper* permite a modelagem de elementos tridimensionais a partir da definição de relações geométricas indicadas pelo projetista. (Souza e Coelho, 2003). Essas relações são definidas por componentes no *Grasshopper* e visualizadas tridimensionalmente no *Rhinoceros*.

Dividindo-se o processo em duas fases onde, na 1º fase, são formadas composições com 2 blocos, nomeadas por números: F_1, F_2, e, assim, sucessivamente. Deixando paramétricas as dimensões do módulo-base, as formas da fase inicial

transformaram-se vocabulário para a 2ª fase de geração formal, onde são unidas através de matriz combinatória para gerar componentes com 4 módulos. Nas linhas, cada forma é rotacionada e combina-se com as formas da coluna onde o marcador define o local de adição das formas. A Figura 38 demonstra a programação feita no *grasshopper* para a forma F_1, prisma retangular, rotacionada e combinada com as demais formas. Esse processo foi repetido para os 03 tipos de prismas, descritos individualmente a seguir.

Figura 38: Programação feita no *Grasshopper* ilustrando a programação das matrizes.



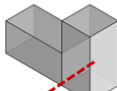




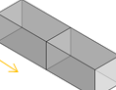
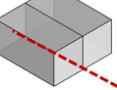





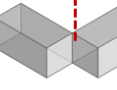






Fonte: Autor

3.1.1.1. Geração Formal: Vocabulário Prisma Retangular

No **prisma retangular**, as transformações geométricas de rotação e translação foram aplicadas pelos 03 eixos (x, y e z) e para a reflexão pelos três planos (x,y; x,z; y,z), visando gerar combinações com 02 blocos. Como citado no item 2.2.1, restrições foram consideradas para aprovar as composições geradas. As formas geradas que alteram a função estrutural dos componentes, devido mudança de posição, foram eliminadas, como ilustra a imagem 39. Formas geradas pela reflexão foram eliminadas devido resultado ser igual ao resultado da translação e por inverter vigas de piso com vigas de teto quando aplicada pelo plano x,y. Essa mudança de função dos componentes também foi observada na aplicação da rotação, eliminando duas das três formas geradas.





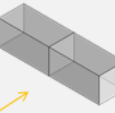

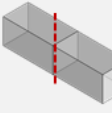


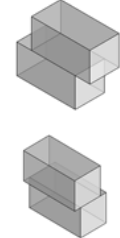

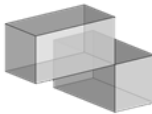


Figura 39: Ilustração demonstrando a 1º aplicação de transformações geométricas para prisma retangular.

Regras – 1º aplicação			
Forma inicial	Translação	Rotação	Reflexão
		 	 
		 	 
		 	 
 Eliminados. Geram formas repetidas, não geram faces total e/ou parcialmente coincidentes e/ou componentes estruturais mudam de função.			

Fonte: Autor

Posteriormente a esta etapa, as formas válidas na 1º aplicação das transformações passaram por uma 2º aplicação objetivando promover combinações de 02 blocos com encontro parcial das faces. Nesta 2º aplicação, as formas geradas na 1º aplicação são a forma inicial da gramática. A translação foi aplicada com deslocamento de $\frac{1}{2}$ face do bloco ao passo que a translação que gera balanço foi aplicada ocasionando $\frac{1}{4}$ de deslocamento. A rotação foi aplicada considerando eixo no vértice da figura. No empilhamento e na rotação, não foram validadas as formas com, pelo menos, duas faces alinhadas. A imagem 40 ilustra a 2º aplicação das transformações que proporcionou diferentes formas com 02 blocos.

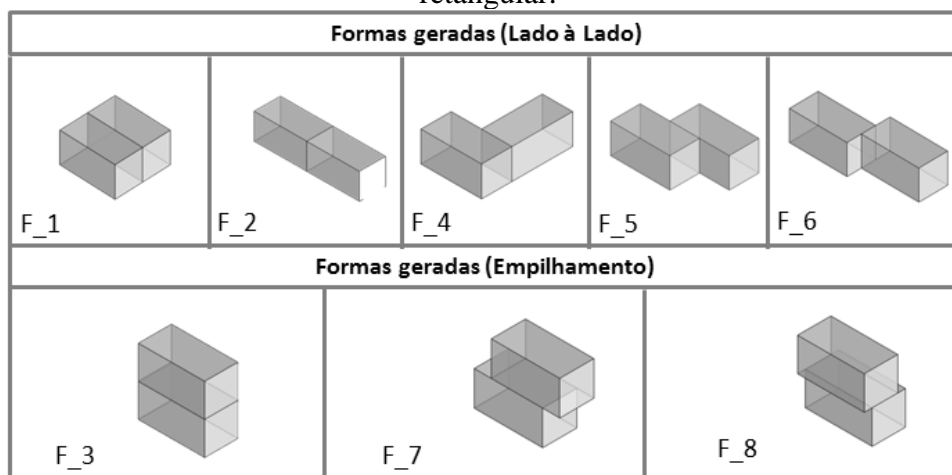
Figura 40: Ilustração demonstrando a 2ª aplicação de transformações geométricas para prisma retangular.

Regras – 2ª Aplicação			
Forma inicial	Translação	Forma inicial	Rotação
			 ☒
			 ☒
		 Eixo rotação novértice	 ☒
		☒ Eliminadas: Não atendem os critérios estabelecidos	

Fonte: Autor

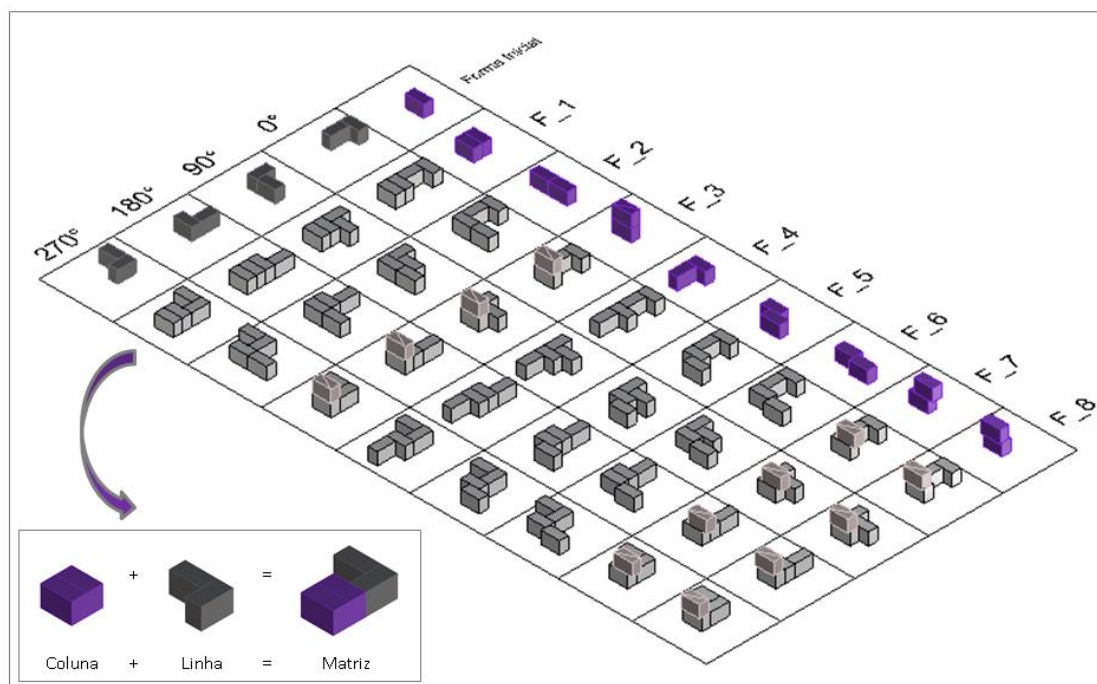
Na 2ª etapa de geração, as 8 formas resultantes da 1ª fase foram combinadas através de uma matriz, como ilustrado nas figuras 35 e 42. Na linha, ficaram as 8 formas (figura 41), em 4 posições distintas cada: 0°, 90°, 180° e 270°. Na coluna, ficaram as 8 formas, com marcador face lateral maior. Como o resultado dessa matriz gera muitas combinações, a mesma foi dividida em matrizes menores, por forma utilizada. A Figura 42 ilustra essa matriz parcial e as demais estão nos apêndices B,C e D. Na fase 1, as combinações ocorrem em um sentido da forma inicial e na fase 2, no sentido inverso, diminuindo as chances de sobreposição de formas, fato que invalidaria as composições.

Figura 41: Formas validadas na 1ª fase, vocabulário para 2ª fase de geração, prisma retangular.



Fonte: Autor

Figura 42: Ilustração da matriz combinatória da forma F_4 com marcador lateral.



Fonte: Autor

Na F_1, F_2, F_3, F_5 e F_6, as rotações 180° e 270° geram formas iguais, devido simetria da mesma. Por isso, esta matriz combinatória conta com 2 formas na linha: F_0° e F_90°. Na F_4, devido forma não simétrica do conjunto, a face lateral

maior da combinação (marcador), recebeu a F_4 em todas as posições rotacionadas (0° , 90° , 180° e 270°). Na F_7 e F_8, apesar de não serem formas simétricas, foram consideradas combinações com as formas 0° e 90° , para o balanço ficar interno a forma gerada e para não gerar sobreposição do mesmo, eliminando-o.

3.1.1.2. Geração Formal: Vocabulário Prisma Trapezoidal

No **prisma trapezoidal**, as transformações geométricas foram aplicadas como no prisma retangular, também objetivando gerar combinações com 2 blocos. As transformações de rotação e translação foram aplicadas pelos 3 eixos (x, y e z) sendo que na rotação, o eixo z foi posicionado na face lateral menor e na face lateral maior, gerando 2 formas diferentes. A reflexão foi aplicada pelos três planos (x,y; x,z; y,z) sendo que o plano x,z foi posicionado na face menor e na face maior. O plano y,z foi posicionado na face lateral do prisma, acompanhando a angulação do mesmo, para permitir a geração de forma com faces coincidentes. As formas que não apresentaram os critérios estabelecidos foram eliminadas, como ilustra a figura 43.

Figura 43: Ilustração com 1º aplicação de transformações geométricas para prisma trapezoidal.

Regras - 1º Aplicação			
Forma inicial	Translação	Rotação	Reflexão
Eliminados. Componentes estruturais mudam de função e/ou não geram faces coincidentes			

Fonte: Autor

Novamente, as formas válidas na 1º aplicação das transformações passaram por uma 2º aplicação objetivando promover combinações cujos encontros são parcialmente coincidentes. A translação foi aplicada com deslocamento de $\frac{1}{2}$ face do bloco ao passo que a translação que gera balanço foi aplicada ocasionando $\frac{1}{4}$ de balanço para o menor vão. A Figura 44 ilustra a 2º aplicação das transformações que proporcionou diferentes formas com 2 blocos.

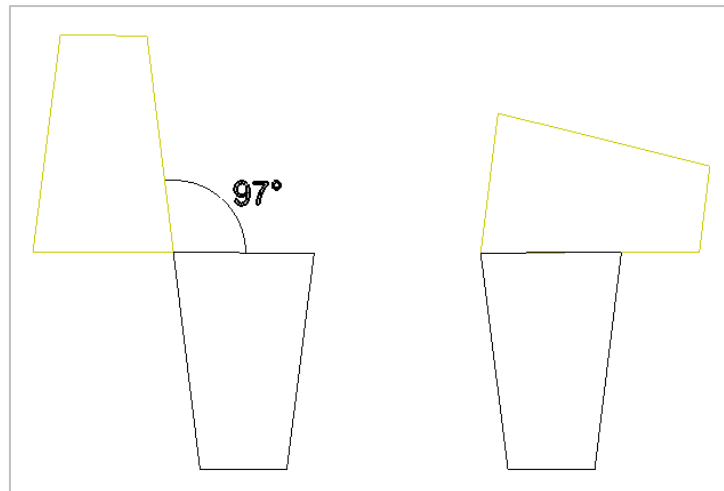
Figura 44: lustração demonstrando a 2º aplicação de transformações geométricas para prisma trapezoidal.

Regras – 2º Aplicação					
Forma inicial	Translação	Rotação	Forma inicial	Translação	Rotação
Eliminadas. Não atendem critérios estabelecidos					

Fonte: Autor

A combinação de dois prismas trapezoidais, quando aplicada rotação, depende do ângulo interno que o mesmo forma. O valor do ângulo determinará o valor de rotação conforme a posição desejada. A Figura 45 ilustra o ângulo formado entre os prismas. O mesmo valor foi aplicado na rotação para permitir que as faces encostem-se à composição proposta.

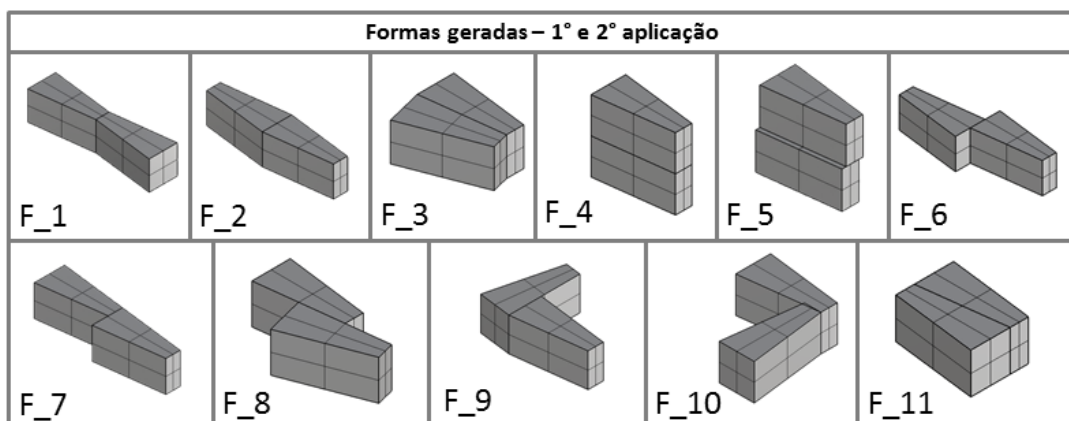
Figura 45: Composição antes da rotação e o ângulo formado entre as duas. (esquerda). Composição gerada depois da aplicação de rotação com o ângulo identificado. (direita).



Fonte: Autor

A 1ª fase de geração com o prisma trapezoidal resultou em 11 combinações com dois prismas cada, como ilustra a imagem 46. Essas formas, combinadas em uma matriz combinatória programada no plug-in *Grasshopper*, resultou nas composições com 4 módulos que juntamente com as 11 composições da 1ª fase, serviram de base para a extração dos padrões combinatórios.

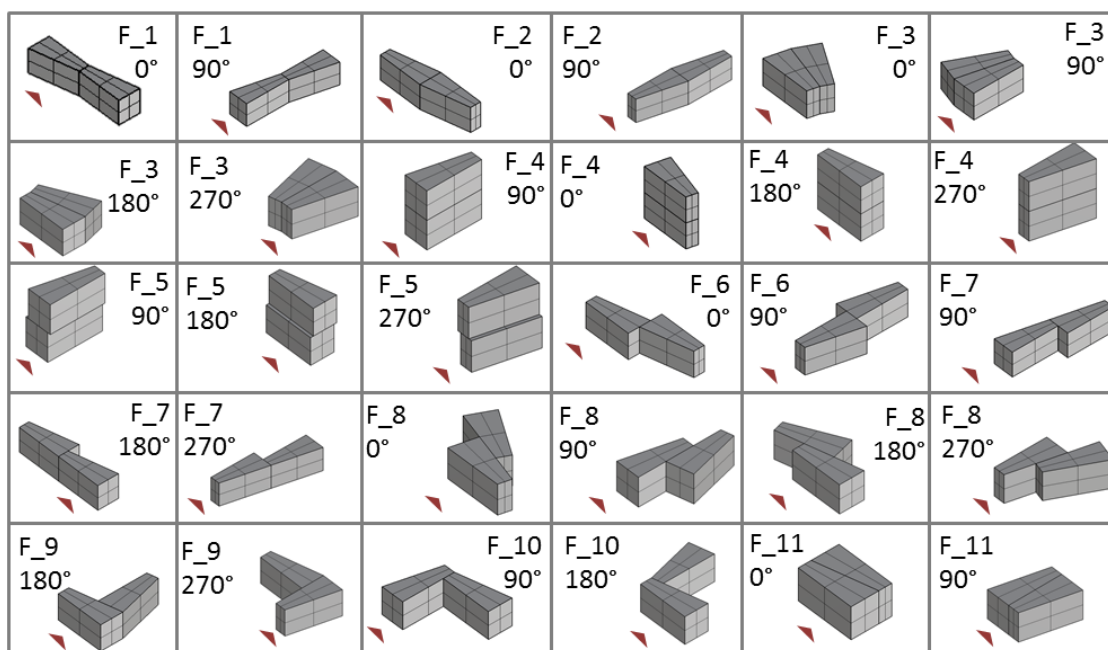
Figura 46: Formas geradas na 1ª fase, vocabulário para 2ª fase de geração, modelo com prisma trapezoidal.



Fonte: Autor

As formas colocadas na linha foram rotacionadas de tal maneira que uma de suas faces una-se a face lateral (marcador) dos prismas posicionados nas colunas, mas continuou-se chamando de posição 0° , 90° , 180° e 270° para facilitar a compreensão. A Figura 47 ilustra as composições com os marcadores.

Figura 47: Formas rotacionadas para serem inseridas na linha da matriz combinatória e combinadas com o lado maior das formas na coluna. Desenho em perspectiva indicando o local de junção.



Fonte: Autor

Devido à simetria das formas posicionada nas linhas, as formas F_1 , F_2 , F_6 , e a F_{11} foram posicionadas em 0° e 90° . As formas F_{10} na posição 270° ; F_3 , F_7 , F_9 e F_{10} na posição 0° geram sobreposição de prismas e foram eliminadas assim como a F_5 (0°) cujo balanço não ocorre, pois fica sobre outro bloco. A geração da F_9 (90°) também foi eliminada, pois todas elas geram composições com dois prismas na mesma posição, unidos pelo vértice 83° .

Quando colocadas frentes (menores e/ou maiores) sobre os lados, manteve-se canto (vértice) do lado menor com canto (vértice) do lado menor bem como canto (vértice) do lado maior com canto (vértice) do lado maior. As formas que não propiciaram esta situação foram eliminadas bem como as composições que geraram situações de encontro entre prismas somente pelo vértice.

3.1.1.3. Geração Formal: Vocabulário Prisma Triangular

No **prisma triangular**, as transformações geométricas foram aplicadas como no prisma retangular, também objetivando gerar combinações com 2 blocos. As transformações de rotação e translação foram aplicadas pelos 3 eixos (x, y e z) e a reflexão pelos três planos (x,y; x,z; y,z), que foram posicionados paralelos às faces do prisma. As formas geradas que não apresentaram os critérios estabelecidos foram eliminadas, como ilustra a Figura 48.

Figura 48: Ilustração demonstrando a 1ª aplicação de transformações geométricas para prisma triangular.

Regras – 1ª aplicação			
Forma inicial	Translação	Rotação	Reflexão
Eliminados. Componentes estruturais mudam de função e/ou não geram faces total e/ou parcialmente coincidentes			

Fonte: Autor

Objetivando obter maior número de formas válidas, formas geradas na 1ª aplicação que não ocasionaram composições com mudança de função estrutural de componentes e/ou não são simétricas às anteriormente geradas, sofreram nova aplicação das transformações. Nesta etapa, a translação foi aplicada com $\frac{1}{2}$ bloco de deslocamento para formas sobre o plano x,y e $\frac{1}{4}$ de deslocamento para formas que ocasionam balanço. A rotação foi aplicada com eixo no vértice do módulo. A Figura 49 ilustra esse processo de geração formal.

Figura 49: lustração demonstrando a 2ª aplicação de transformações geométricas para prisma triangular.

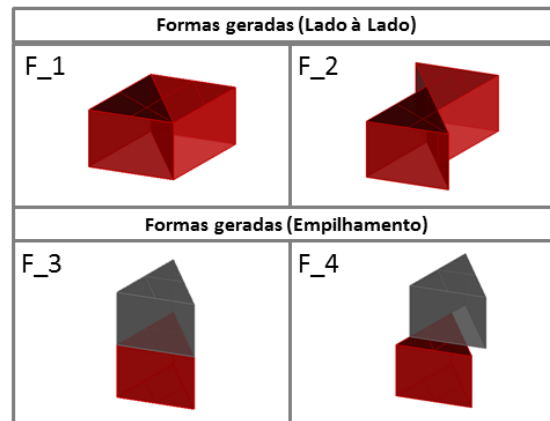
Regras – 2ª Aplicação			
Forma inicial	Translação	Forma inicial	Rotação
Eliminados. Combinações iguais; não geram faces coincidentes e/ou as combinações são simétricas as geradas anteriormente			

Fonte: Autor

As formas geradas na 1ª fase com prisma triangular resultaram em 4 tipos de composição, nomeadas de F_1 até F_4, que se tornaram o vocabulário da 2ª fase de geração, como ilustra a Figura 50. Essas foram colocadas na coluna da matriz recebendo o marcador na face lateral. Cada elemento da coluna foi adicionado aos elementos da linha: formas F_1 até F_4, rotacionadas. Esse processo foi desenvolvido no plugin *Grasshopper* onde formas da linha e da coluna foram combinadas para gerar soluções com 4 módulos.

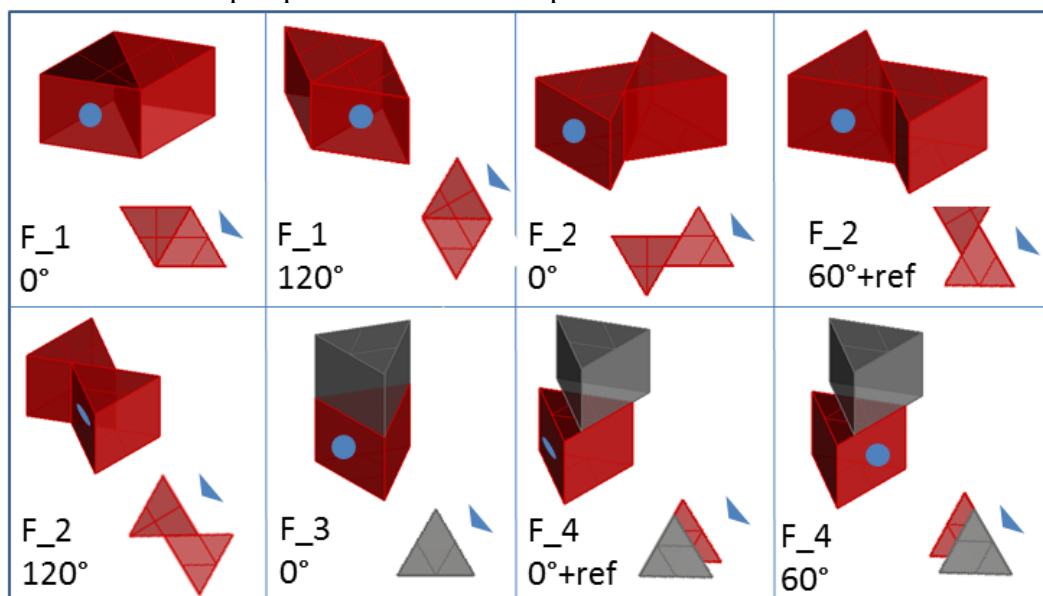
A rotação das formas para inserção na linha ocorreu em função do ângulo interno do prisma, 60° e eliminaram-se as formas que resultaram simétricas quando da rotação. Assim, a F_1 ficou na posição 0° e 120°; F_2 ficou na posição 0°, 60° com aplicação de reflexão e 120°; F_3 0°; F_4 0°, como ilustra a Figura 51.

Figura 50: Formas geradas na 1^o fase, vocabulário para 2^o fase de geração, modelo com prisma triangular.



Fonte: Autor

Figura 51: Formas rotacionadas para serem inseridas na linha da matriz combinatória. Desenho em perspectiva e em vista superior com marcadores na cor azul.



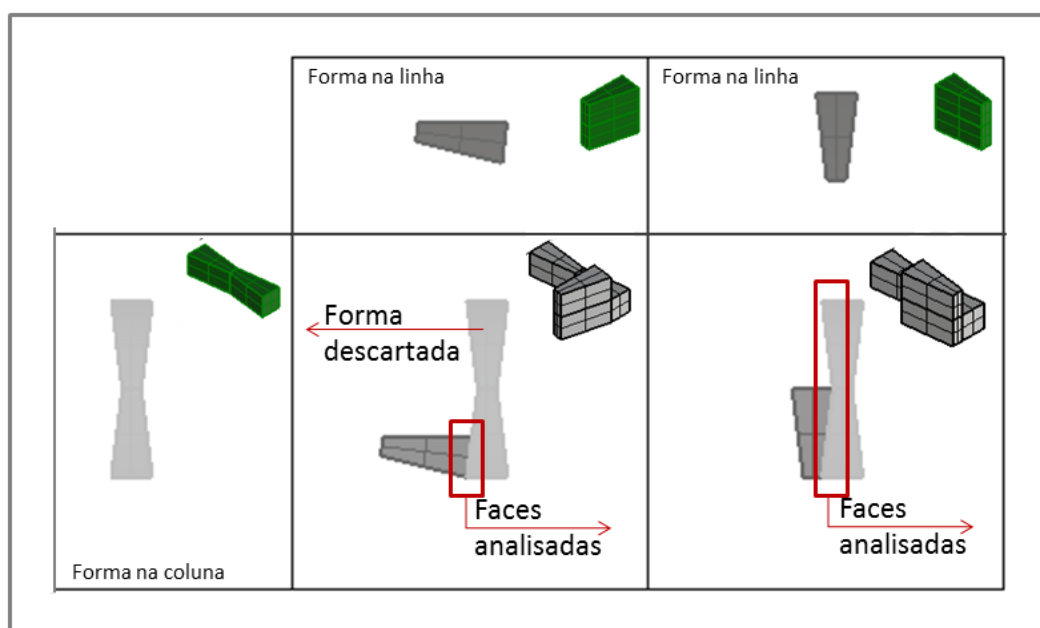
Fonte: Autor

3.2. Tipos de Faces

Para cada um dos 3 modelos formais, foram feitas análises dos tipos de faces que se encontram quando da união de módulos. Como na 1^o fase de geração formal, as combinações ocorrem com dois módulos, cada composição proporcionou um tipo de

encontro de faces. Na 2º face de geração formal, com 4 módulos unidos, foi necessário analisar individualmente as combinações, observando o encontro formado pela composição da linha com a composição da coluna. Os módulos que geram tipos de faces relatadas na 1º etapa foram descartados dessa análise. A Figura 52 demonstra parte de matriz combinatória de prisma trapezoidal ilustrando uma situação com um módulo descartado e a outra com 4 módulos fazendo parte do encontro de faces.

Figura 52: Exemplo de identificação de tipos de faces em matriz combinatória.



Fonte: Autor

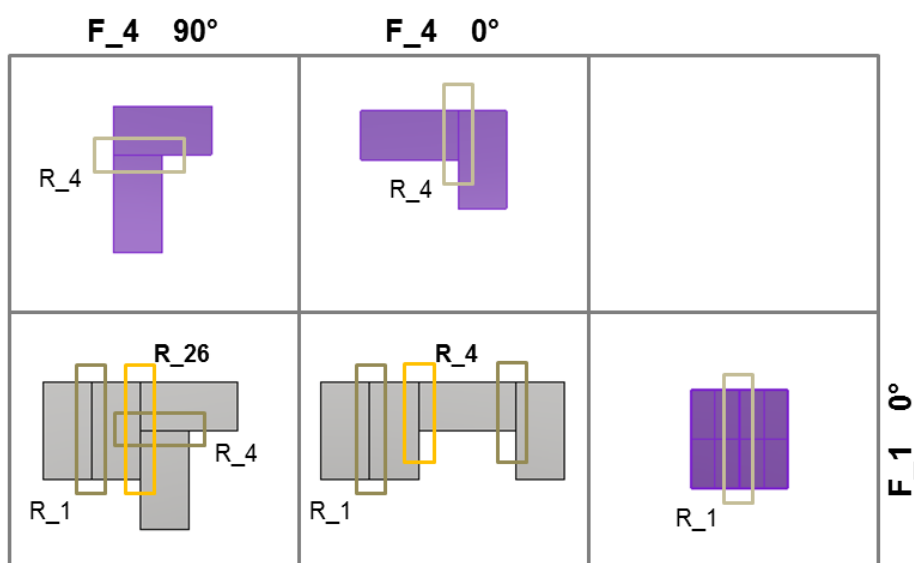
Para o **prisma retangular**, as faces foram denominadas F - frente do módulo; L - lado do módulo; I - face inferior do módulo; S - face superior do módulo; D - face em questão deslocada. Quando as letras I e S estão alinhadas verticalmente, significa que há duas faces empilhadas no encontro. Quando as letras F e/ou L estão alinhadas verticalmente, significa a posição dos módulos na composição. Para o **prisma triangular**, utilizou-se a mesma descrição de faces, considerando todas as faces laterais como L. Para o **prisma trapezoidal**, a diferença da descrição ocorreu por conta das “duas frentes” do prisma, uma denominada frente maior - Fm; e a outra frente menor, denominada Fn. O apêndice H demonstra essas descrições das faces, separadas por tipo de prisma.

3.3. Padrões combinatórios

Baseadas nas características das faces que se encostam quando da união dos blocos extraiu-se as regras compositivas, ou seja, para cada tipo de encontro entre as faces, definiu-se um padrão combinatório, para o qual foi atribuída uma regra compositiva. Na 1º fase de geração, para cada forma gerada, atribui-se uma regra, visto que os padrões analisados não se repetem. Na 2º fase, cada encontro diferente entre faces definiu uma nova regra.

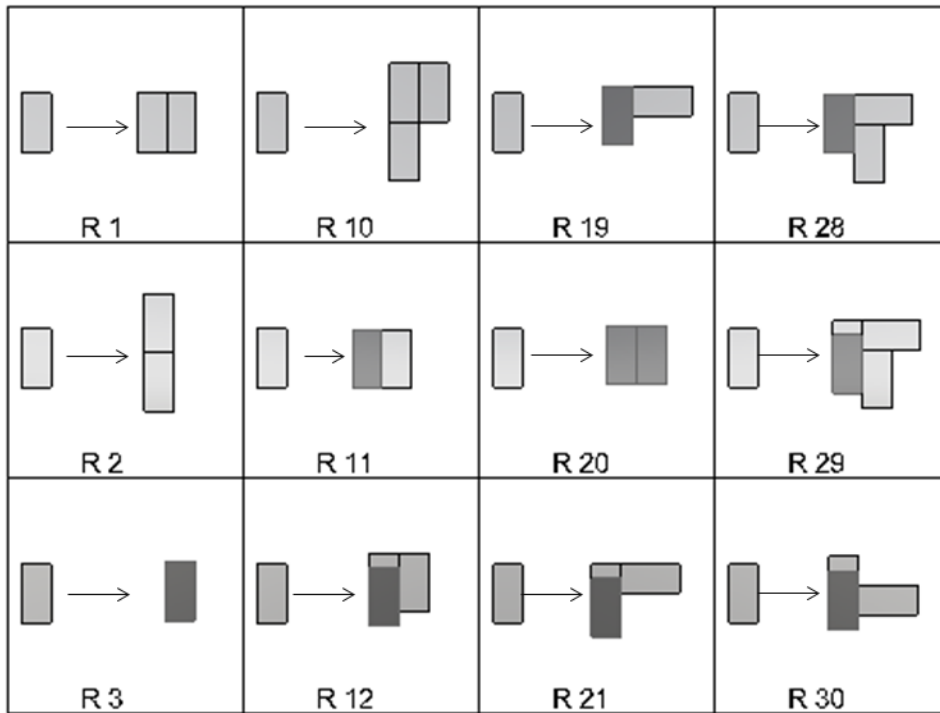
Algumas composições da 2º etapa possuem o mesmo padrão da 1º etapa, repetindo situações. Isso ocorre porque as regras geradas na 1º etapa acompanham a forma que compõe a 2º, repetindo regras e/ou gerando novos padrões, dependendo das faces que se encontram. A Figura 53 ilustra o processo de identificação de padrões nas composições geradas pela matriz combinatória. Na imagem, é possível visualizar um arranjo gerado com novo padrão de combinação e na outra, repetição da regra R_4, composições com prisma retangular. Nos apêndices E, F e G encontram-se as matrizes com o conjunto de regras presentes em cada composição gerada na matriz combinatória. As Figuras 54 e 55 ilustram parte das regras identificadas para o prisma retangular, em vista superior e perspectiva, sendo que as regras compositivas para os 3 tipos de prismas estão no apêndice H.

Figura 53: Parte de matriz combinatória do prisma retangular demonstrando a identificação de regras.



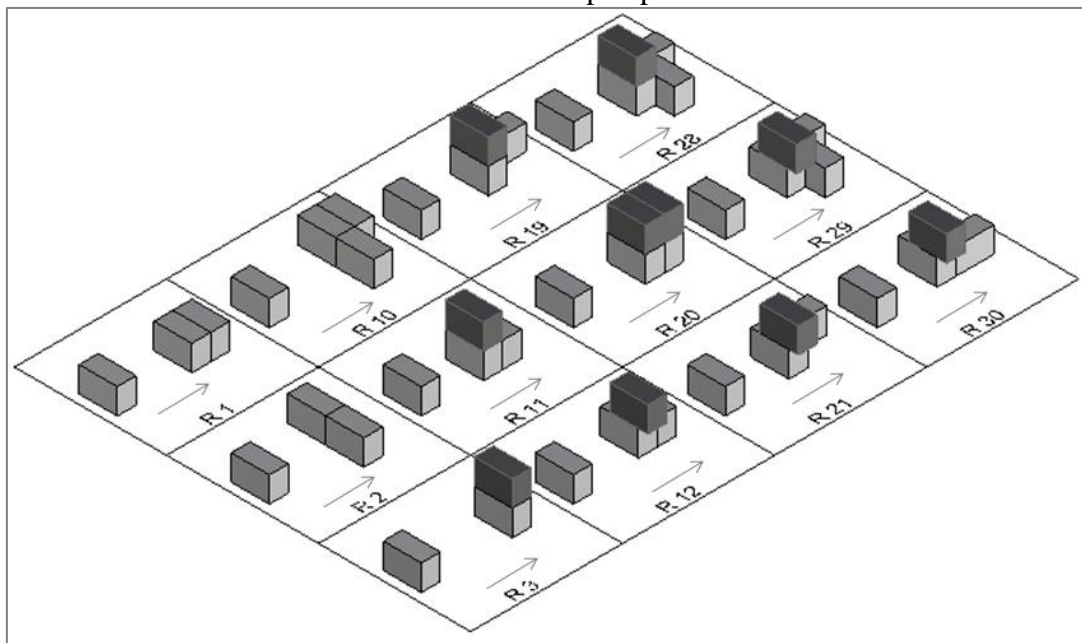
Fonte: Autor

Figura 54: Regras compositivas identificadas (parcial) para prisma retangular, demonstradas em planta baixa.



Fonte: Autor

Figura 55: Regras compositivas identificadas (parcial) para prisma retangular, demonstradas em perspectiva.



Fonte: Autor

Os princípios da Gramática Compositiva aqui estabelecidos contemplam a representação formal dos arranjos gerados entre blocos bem como descreve as faces do encontro. Essas faces permitem identificar os tipos de junção presentes em cada arranjo combinatório a partir do qual as diretrizes de fixação podem ser descritas. Essas diretrizes compõem os princípios da Gramática Conectiva que é apresentada a seguir.

3.4. PRINCÍPIOS DA GRAMÁTICA CONECTIVA

Para vincular as diretrizes de fixação com as composições geradas, foram extraídos os tipos de junção formados entre os componentes estruturais dos módulos, quando da combinação entre eles, analisando os encontros formados pelos vértices dos módulos. A descrição dos atributos e o agrupamento desses encontros em características comuns definiram os tipos de junções. A simulação de 4 conjuntos conectivos genéricos serviu de base para a descrição das diretrizes de conexão. A descrição e os tipos de junção bem como a simulação e as diretrizes de fixação são descritas a seguir.

3.4.1. Descrição e Tipos de junção

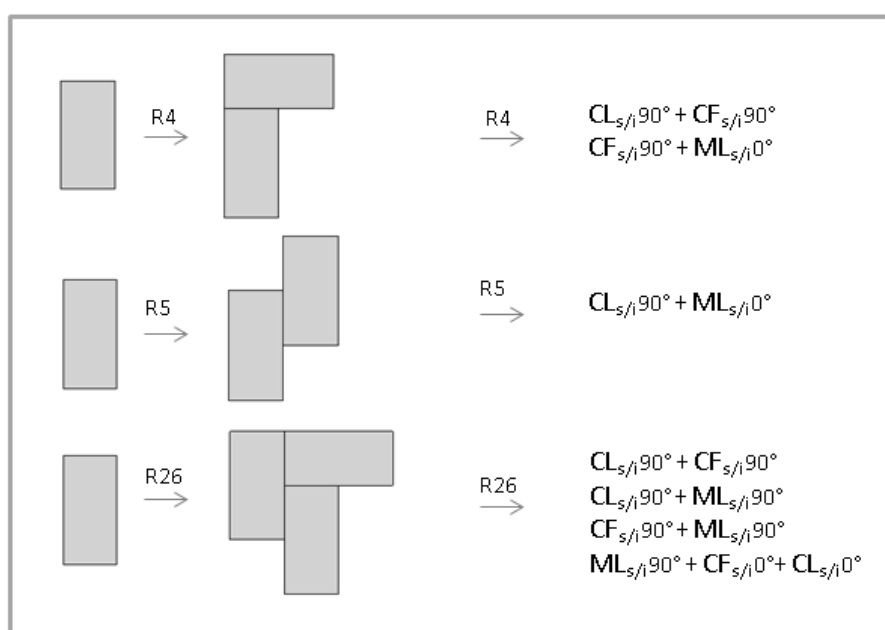
As regras definidas pelos padrões compositivos foram complementadas com a descrição das junções, visto que cada composição define tipos de encontro específicos. Engloba local; tipo de fixação; quantidade; ângulo e posição sendo:

- **Local:** a) canto – definido pelo vértice do prisma onde há junção de duas vigas e um pilar e/ou; b) meio de viga – definido pela junção com viga em posição diferente do canto.
- **Tipo de fixação:** união - módulos lado a lado e, empilhamento - módulos sobrepostos. Consideram-se as junções inferiores e superiores nos módulos quando lado a lado e 04 pontos de fixação para o empilhamento. Na junção inferior, a possível fixação juntamente com a fundação não foi considerada neste trabalho.
- **Quantidade:** quantos módulos estão no encontro sendo 02 blocos na 1º fase de geração e 03 ou 04 blocos na 2º fase.
- **Ângulo:** indica o ângulo interno do prisma no ponto de junção.

- **Posição:** qual a face do componente que se une com outro módulo: frente, lateral, inferior e/ou superior bem como o ângulo entre as peças.

A Figura 56 demonstra a descrição dos tipos de junções para cada regra estabelecida e, no apêndice I se encontram as descrições das regras conectivas para os 3 tipos de prismas. As informações são descritas por letras e números, explicitados a seguir.

Figura 56: Regras compositivas com a descrição das junções para prisma retangular.



Fonte: Autor

A letra C indica se a junção é no vértice do módulo, enquanto a M indica se é no meio do módulo²⁴. As letras L e F correspondem à face que se une à junção, lado ou frente respectivamente. As letras S e I apontam se a conexão ocorre na parte superior ou inferior do módulo. Quando os blocos estão sobrepostos, as letras E e U foram usadas para representar se o componente está no módulo empilhado (E) ou se está unido (U), lado a lado, a outro módulo. Há casos onde a fixação de empilhamento pode ser dispensada, por já haver 04 pontos de apoio na composição. Nestes casos, o meio da




²⁴ Meio da viga, ou meio do módulo, refere-se à posição em que encontra-se a junção, que é diferente do canto, não sendo necessariamente no meio do vão.

viga de módulo superior apoiado sobre módulo inferior, recebe a letra i para indicar apoio intermediário, sem necessidade de fixação (M_{Ei}). Quando é necessário fixar, como em situação com balanço, usou-se a letra a para diferenciar (M_{Ea}). O sinal de + separa os atributos dos componentes estruturais do módulo existentes no encontro ao mesmo tempo em que demonstra quantos módulos há na junção. Por exemplo, a junção $CL_{S/90^\circ} + CF_{S/90^\circ}$ indica que os módulos, neste ponto de junção, encontram-se vértice com vértice sendo que um deles o bloco encontra-se de frente e no outro de lado. As letras subscritas s/i indicam que esta junção ocorre na parte inferior e superior do módulo. Por se tratar do **prisma retangular**, a angulação entre os componentes corresponde a 90° . O parêntese foi utilizado para clarificar quando um prisma está sobreposto ao outro como, por exemplo, na junção $CL_U90^\circ + (CL_U90^\circ + CL_E90^\circ)$. Neste caso o canto (CL_E90°) está sobre o canto (CL_U90°). No **prisma triangular**, as letras L e F foram suprimidas visto que todos os lados são iguais e não gera diferenciação na junção. A angulação de 60° não foi indicada, pois toda junção canto gera 60° . Caso esse ângulo mude, a relação entre os lados também mudará, pois a base do prisma deixará de ser um triângulo equilátero. No **prisma trapezoidal**, a letra F foi dividida em Fm – Frente maior e Fn – frente menor. Os ângulos constituídos em cada tipologia de junção estão indicados, variando de 97° e 83° neste trabalho.

Os encontros dos componentes, agrupados por suas características comuns, definem os tipos de junções, onde alguns atributos da descrição são suprimidos como angulação e face do componente. As letras C e M, canto e meio, indicam o tipo padrão de junção, ao passo que o sinal de + indica se há empilhamento. Antes do sinal de +, os módulos estão lado a lado, apoiados no solo e após o sinal, estão sobrepostos, apoiados nos módulos inferiores. Se não há sinal de +, significa que a composição é somente união. Cada conjunto de letras possui uma imagem genérica, desenhada com ângulo de 90° entre os componentes²⁵, ilustrativa do tipo de junção que representa. Usou-se a cor cinza para representar encontros lado a lado e vermelho e verde para empilhamento sendo que o verde está sobreposto ao vermelho. A Figura 57 ilustra a relação entre a descrição das regras conectivas com o tipo padrão de junção. A seguir, aponta-se as particularidades de cada tipo de prisma para esta etapa da metodologia.

²⁵ Quando a junção ocorre somente em um tipo de prisma, a mesma é desenhada com a angulação que possui.

Figura 57: Tipos de junção com as possíveis variações presentes nas regras, caso prisma retangular.

TIPOS DE ENCONTROS - DESCRIÇÃO	
TIPO PADRÃO	DESCRIÇÃO
 <p>CC</p>	$CL_{s/i}90^\circ + CL_{s/i}90^\circ$ $CF_{s/i}90^\circ + CF_{s/i}90^\circ$ $CL_{s/i}90^\circ + CF_{s/i}90^\circ$
 <p>CCM</p>	$ML_{s/i} + CF_{s/i}90^\circ + CF_{s/i}90^\circ$ $ML_{s/i} + CF_{s/i}90^\circ + CL_{s/i}0^\circ$ $ML_{s/i} + CL_{s/i}90^\circ + CL_{s/i}90^\circ$
 <p>C+C</p>	$C_s90^\circ + (C_E90^\circ)$

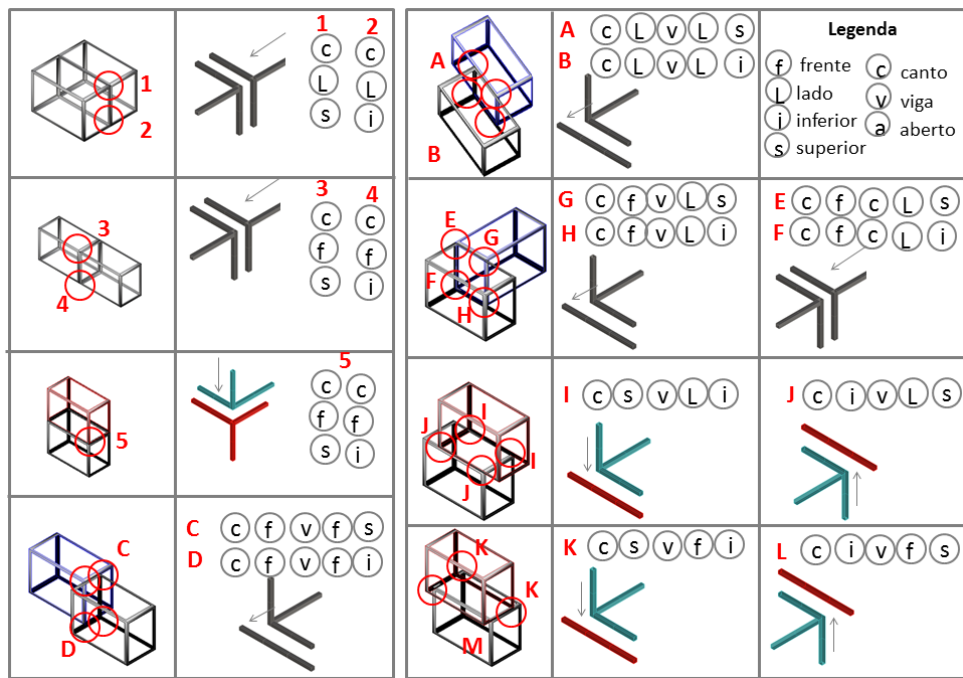
Fonte: Autor

o Tipos de Junção: Vocabulário Prisma Retangular

As junções entre os componentes de prisma retangular geram tipos de junção cuja angulação entre as peças mantem-se 90° . A frente foi considerada na face menor do prisma e a lateral na face maior. A Figura 58 ilustra os tipos de encontro para prisma retangular: canto com canto e, canto com meio de viga.

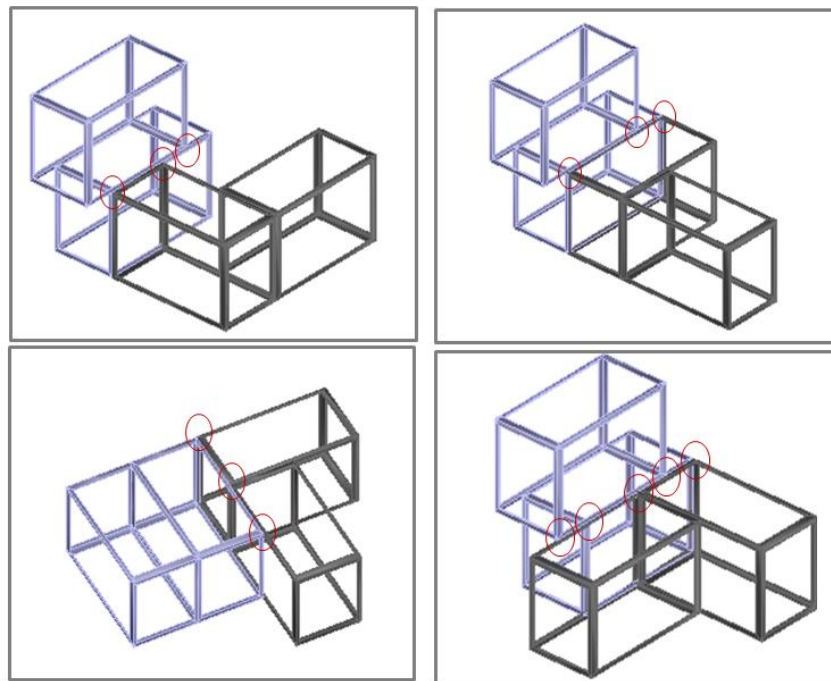
Na segunda fase de geração, os tipos de encontros foram extraídos dos padrões combinatórios restantes, que não correspondem a 1º fase de geração e que não se repetem na matriz combinatória. Nesta segunda fase, 4 blocos são combinados, 2 na linha e 2 na coluna, e de acordo a proposta compositiva, mais de 2 módulos podem se unir num mesmo encontro. A união dessas formas proporciona novos tipos de encontro, sendo necessário analisar as junções formadas na matriz, como indica a figura 59.

Figura 58: Tipos de encontro extraídos na 1º fase de geração formal, prisma retangular.



Fonte: Autor

Figura 59: Composições da 2º fase de geração formal e os tipos de junção extraídos entre composições com dois módulos cada.



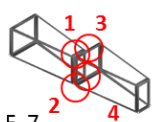


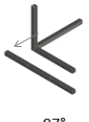
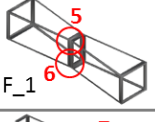


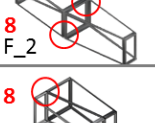

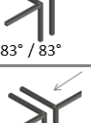
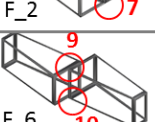
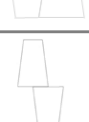
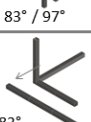
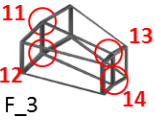


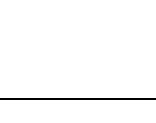

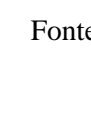

Fonte: Autor

Essas junções foram analisadas nos padrões compositivos, previamente selecionados pelos tipos de faces que se unem, não sendo necessário verificar todas as formas geradas nas matrizes.

○ Tipos de Junção: Vocabulário Prisma Trapezoidal

No prisma trapezoidal, além das características dos componentes citadas anteriormente, destaca-se a angulação, pois a base do prisma utilizado neste trabalho²⁶ é um trapézio formado pelos ângulos 97° na face menor e 83° na face maior. As junções tipo “canto” possuem duas divisões a mais neste modelo formal: o canto formado na face menor, com angulação de 97° entre as vigas e o canto formando na face maior, com 83° entre as vigas. Nas tipologias de junção ilustradas nas Figuras 60 e 61, indica-se também o ângulo que o conjunto conectivo deverá ter para atender este tipo de junção. Assim como o prisma retangular, o procedimento para extrair os tipos de junção da 2ª fase de geração formal manteve-se o mesmo.

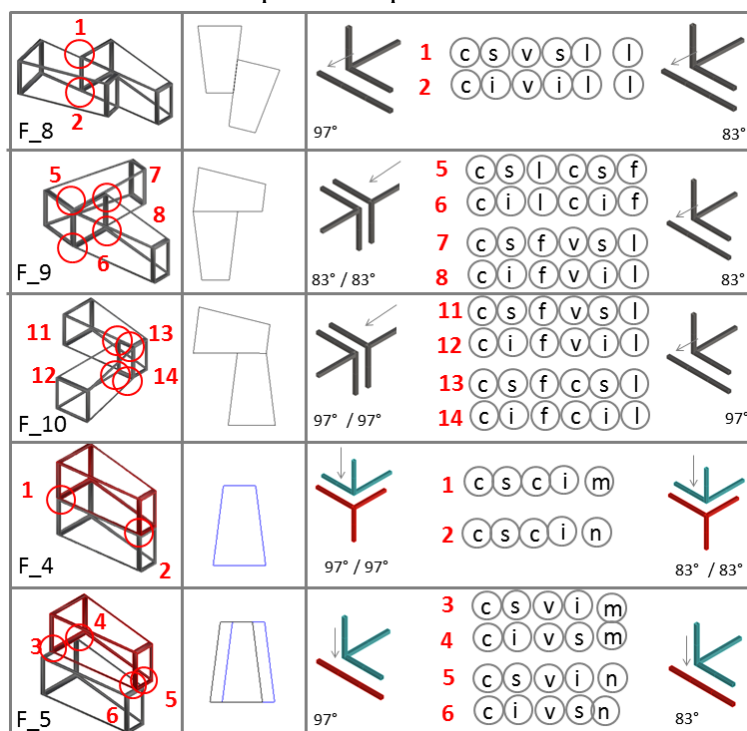
Figura 60: Tipos de encontro extraídos na 1ª fase de geração, prisma trapezoidal

 F_7		 97° / 83°	<p>1 c s m c s n</p> <p>2 c i m c i n</p> <p>3 c s n v s m</p> <p>4 c i n v i m</p>	 97°	<p>f frente</p> <p>L lado</p> <p>i inferior</p> <p>s superior</p> <p>C canto</p> <p>V viga</p> <p>a aberto</p> <p>m frente maior</p> <p>n frente menor</p>
 F_1		 97° / 97°	<p>5 c s n c s n</p> <p>6 c i n c i n</p>		
 F_2		 83° / 83°	<p>7 c s m c s m</p> <p>8 c i m c i m</p>		
 F_2		 83° / 97°	<p>7 c s n c i m</p> <p>8 c i n c s m</p>		
 F_6		 83°	<p>9 c s m v s m</p> <p>10 c i m v i m</p>		
 F_3		 83° / 83°	<p>11 c s l c s l m</p> <p>12 c i l c i l m</p> <p>13 c s l c s l n</p> <p>14 c i l c i l n</p>	 97° / 97°	

Fonte: Autor

²⁶ A definição das medidas dos prismas foi baseada em sistemas modulares volumétricos existentes, sendo possível propor outras dimensões. Neste trabalho, os prismas básicos foram desenhados com as dimensões paramétricas e no apêndice A propõe-se uma discussão relacionando as dimensões dos módulos com a posição das junções no mesmo.

Figura 61: Continuação dos tipos de encontro extraídos na 1ª fase de geração formal do prisma trapezoidal.



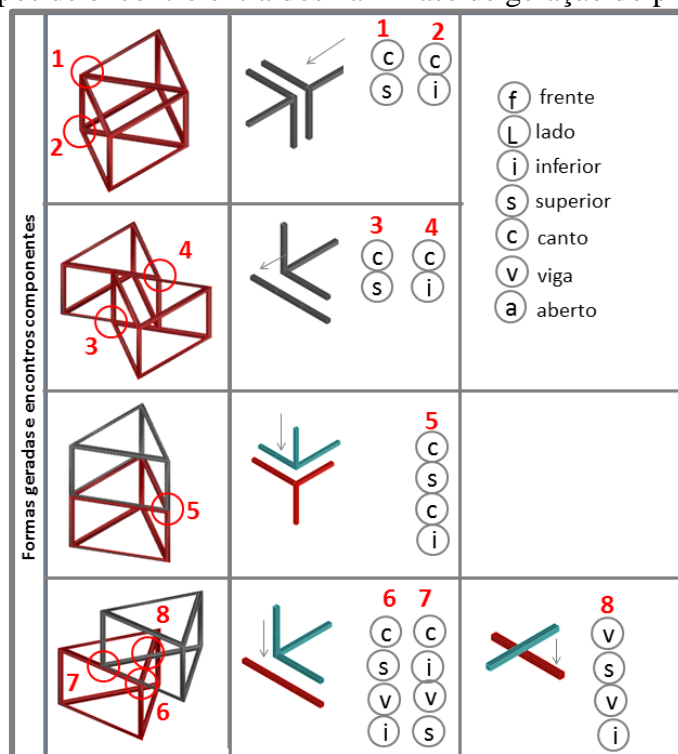
Fonte: Autor

○ Tipos de Junção: Vocabulário Prisma Triangular

No prisma triangular, com base em triângulo equilátero, o encontro entre componentes, na junção tipo canto, ocorre com 60°. Essa característica formal do prisma e a intenção de compor com balanço, proporcionou a geração de nova tipologia de junção ainda nesta 1ª fase: meio de viga com meio de viga. A sobreposição de peças que se cruzam formam sobre o plano x,y um ângulo de 60°, pois o encontro entre as peças não é ortogonal, como ocorreria no prisma retangular. Os tipos de junções extraídas nesse modelo compositivo são ilustrados na Figura 62.

Os tipos de encontro gerados na 2ª fase foram identificados através do mesmo procedimento aplicado para o prisma retangular.

Figura 62: Tipos de encontro extraídos na 1^o fase de geração do prisma triangular.

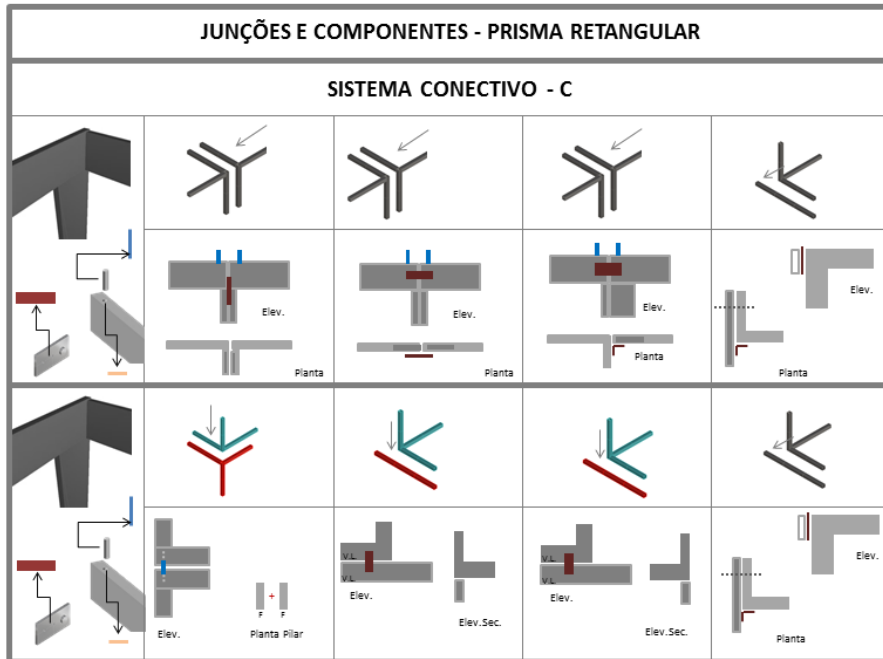


Fonte: Autor

3.4.2. Simulação e Diretrizes de Fixação

Identificados os tipos de junção, os conjuntos conectivos definidos para simulação foram inseridos nessas junções. Esse processo foi feito através de desenhos esquemáticos bidimensionais considerando os atributos disponibilizados pelos mesmos. Cada um dos 4 conjuntos conectivos foi simulado individualmente para todas as junções identificadas nos 3 tipos de prisma. As Figuras 63 e 64 ilustram este processo e as demais imagens das simulações realizadas encontram-se nos apêndices J e K.




















Figura 63: Simulação de conjunto conectivo nas junções encontradas na 1º fase do prisma retangular – parcial.



Através desta simulação verifica-se os conjuntos conectivos aptos a atender as junções e os não aptos identificando: a) necessidade de furo nos componentes para fixação de parafuso; b) posição de pino/furo/chapa; c) geometria e adequação a angulação das peças de fixação e; d) a influência da forma da secção da viga e/ou pilar para receber conexões.

A partir dessas informações sugerem-se atributos que indicam as diretrizes de fixação. Foram observados se os acessos aos pontos de junção são possíveis de serem alcançados, se outros módulos bloqueiam o acesso e quais itens construtivos devem estar previstos para efetivar a conexão. A Figura 65 ilustra os símbolos utilizados para essas diretrizes e a Figura 66 ilustra diretrizes definidas para um grupo de tipos de junção, seja pelo tipo de prisma utilizado bem como pelo conjunto conectivo. As demais diretrizes encontram-se no apêndice L.

Figura 65: Legenda com os símbolos e seu significado indicando as diretrizes de fixação necessárias para cada tipo de junção conforme o conjunto conectivo utilizado.

	Chapa plana vertical sobre canto e meio viga	E0	Elemento colocado no espaço entre vigas
	Chapa em "L"		Secção Viga
	Chapa em "L" com ângulo específico		Secção Viga
	Chapa plana		Chapa vertical na ponta pilar –viga meio com canto
	Chapa em ângulo – fixação externa aos pilares		Chapa na ponta pilares fixada por parafuso
	Chapa entre pilares	TF	Travamento Frontal
	Chapa entre vigas (canto/canto)	PTF	Travamento na lateral do módulo
	Chapa entre viga canto com viga meio	ATF	Adaptar travamento frontal
	Chapa entre pilar com viga meio		Furo em ambas as faces externas do pilar
	Chapa entre vigas de meio		Furo Meio de Viga
L	Adequar posição (local) furo		Furo e Pino
L2	Colocar 02 conectores/furos próximos	F	Acesso frontal (externo)
+Ch	Inserir chapa para fixar vigas	I	Acesso interno
	Furo lado elemento conector e furo/pino adequados	S	Acesso superior (externo)
LM	M livre quando cantos desse puderem ser fixados		Adaptar formato da chapa horizontal
LE	Empilhamento livre quando M _i	1°	Verificar ordem de montagem para fixar /travar

Fonte: Autor

Figura 66: Exemplo da descrição das diretrizes de fixação para alguns tipos de junção nos 04 conjuntos conectivos.

	CC	CCM	CCC	CCCC	CCCM
A					
B					
C					
D					

* - quando rotacionado; frente com frente; pouca área contato entre pilares

Fonte: Autor

Diferentes graus de ajustes foram usados para classificar os atributos necessários, informando os conjuntos conectivos que atendem parcialmente a situação e os que devem ser adaptados e/ou remodelados. Quando necessário prever mais furos, diferentes ângulos nos componentes de fixação e/ou mudar o local de fixação sem alterar o sistema, considerou-se como atendendo parcialmente. Quando é necessário adaptar o sistema, inserindo chapa em local não previsto, adaptando e ampliando o conjunto conectivo, definiu-se como conjunto conectivo adaptado. Quando intervenções maiores precisam ser providenciadas e inseridas nos conjuntos conectivos, alterando os mesmos, definiram-se como conjuntos conectivos remodelados.

3.5. MODELO GENERATIVO COMPOSITIVO-CONECTIVO

Os padrões compositivos e os tipos de junção, mapeados pela análise dos arranjos entre módulos, definiram os princípios da Gramática Compositiva e da Gramática Conectiva que compõem o Modelo Gerativo proposto. Este modelo

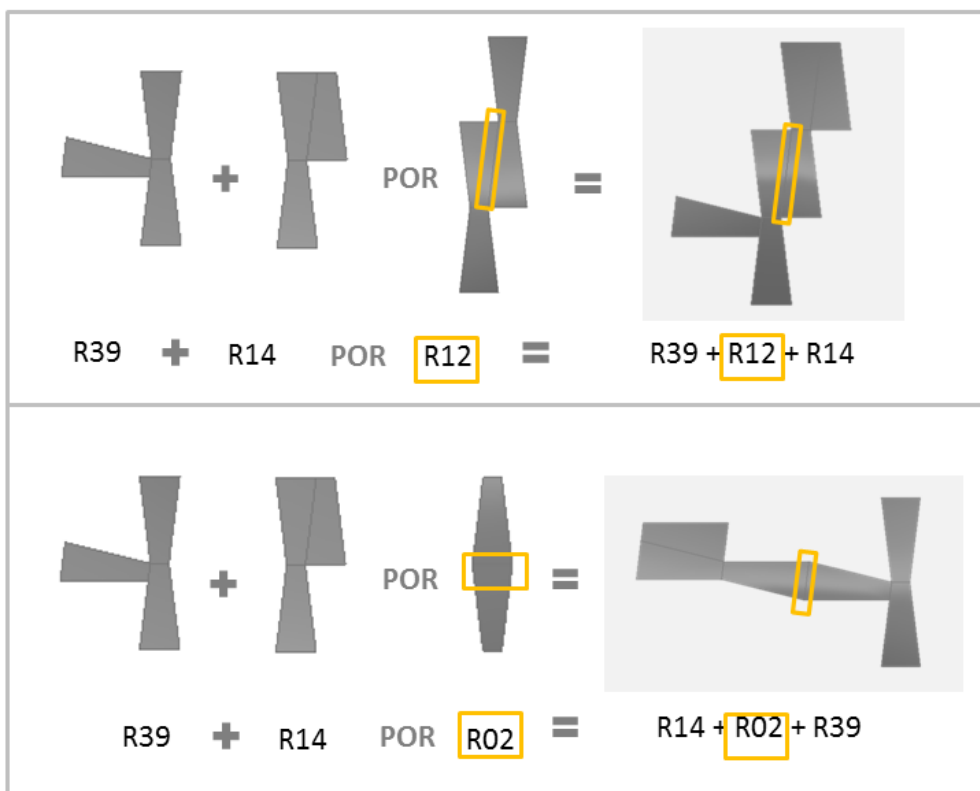
combina as regras estabelecidas nos princípios da gramática compositiva e indica as diretrizes de fixação para a composição criada, através da gramática conectiva. A vinculação ocorre a partir das descrições das junções presente em cada regra. Na metodologia proposta, cada tipo de junção indica os atributos necessários para unir os módulos quando de sua implantação.

O modelo generativo apresenta características diferentes de aplicação de acordo o tipo de prisma envolvido. Como os prismas retangular e trapezoidal são baseados em quadriláteros, ao unir uma face com outra, uma de cada módulo, a alteração das junções depende somente da regra aplicada, pois os vértices da face oposta estão “livres” de junções, independentemente se tiverem mais módulos unidos a eles. No prisma triangular, esta alteração das junções depende de como a face que será unida se apresenta, pois se o prisma triangular estiver vinculado a outro módulo, as faces opostas terão os vértices vinculados às junções da combinação em questão, que após a união mudará de características. Em contrapartida, a rotação dos padrões no plano x,y podem ser realizadas sem a interferência nas funções estruturais dos componentes e/ou nos tipos de junções. A reflexão por plano vertical também é possível de ser utilizada nos padrões que não possuam situações de balanço. Ambos os casos podem ser utilizados no modelo generativo, seguindo as regras abaixo descritas.

Para o prisma **retangular e trapezoidal**, as derivações das regras ocorrem através das combinações de padrões podendo ser por: a) adição de padrões e b) adição com substituição parcial de padrões.

Na adição de padrões, deve-se escolher qual regra existente atenderá à combinação dos padrões, observando como se dará o encontro das faces. Somam-se 3 regras, as 2 regras envolvidas, uma de cada padrão, mas a 3º criada com a junção das 2 anteriores. A Figura 67 demonstra a adição de dois padrões, por duas regras diferentes.

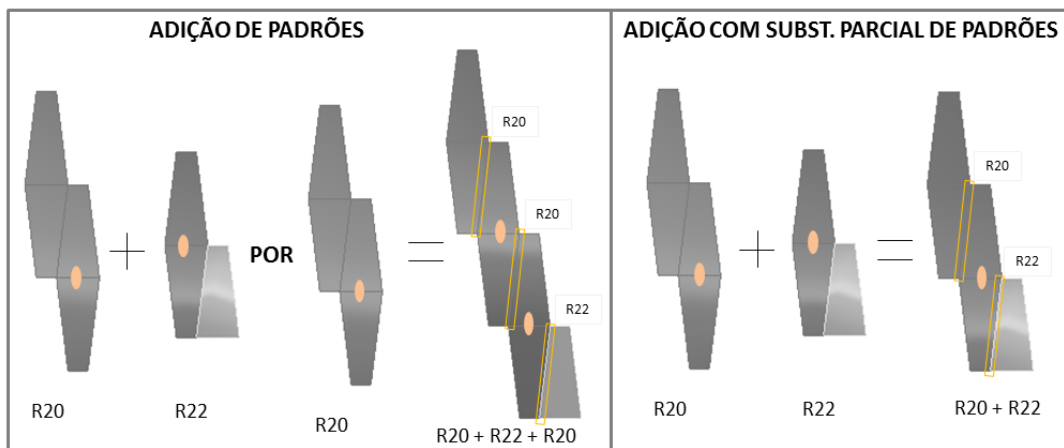
Figura 67: Exemplo de adição de padrões usando duas regras diferentes.



Fonte: Autor

Na adição com substituição parcial de padrões, unem-se 2 composições, substituindo um módulo por outro igual a ele. Neste caso, somam-se somente as 2 regras, 1 de cada composição. A Figura 68 ilustra essas situações.

Figura 68: Exemplo da composição com regras.



Fonte: Autor

Em ambos os casos, limitam-se às regras pré-estabelecidas, para garantir a relação com as diretrizes de fixação. A criação de novas regras, pela junção diferente de faces, implica na análise dos tipos de junções geradas.

Para vincular as composições geradas com as diretrizes de fixação, é necessário observar se haverá eliminação de junções. Quando os padrões são somados, combinando as faces de maneira conhecida e descritas pelas regras, não é necessário alterar as junções anteriormente descritas. Assim, ao aplicar o processo de **adição de padrões**, somam-se as regras utilizadas indicando as diretrizes de fixação pelos tipos de junções descritas pelas regras. Quando a composição usa **adição com substituição parcial de padrões**, é necessário verificar os tipos de faces combinadas, podendo ocorrer substituição de junções conforme derivação aplicada. Neste caso divide-se de 3 maneiras: a) 1 face livre + 1 face livre; b) 1 face livre + faces livre empilhada; c) faces livre empilhada; + faces livre empilhada. Entende-se por face livre a face que não tem junção com outro módulo, somente os vértices de 1 único módulo. Face livre empilhada ocorre quando 2 módulos estão sobrepostos e a face que será combinada está alinhada verticalmente com a face do módulo superior. A Figura 69 ilustra essa diferença.

Figura 69: Tipos de faces.



Fonte: Autor

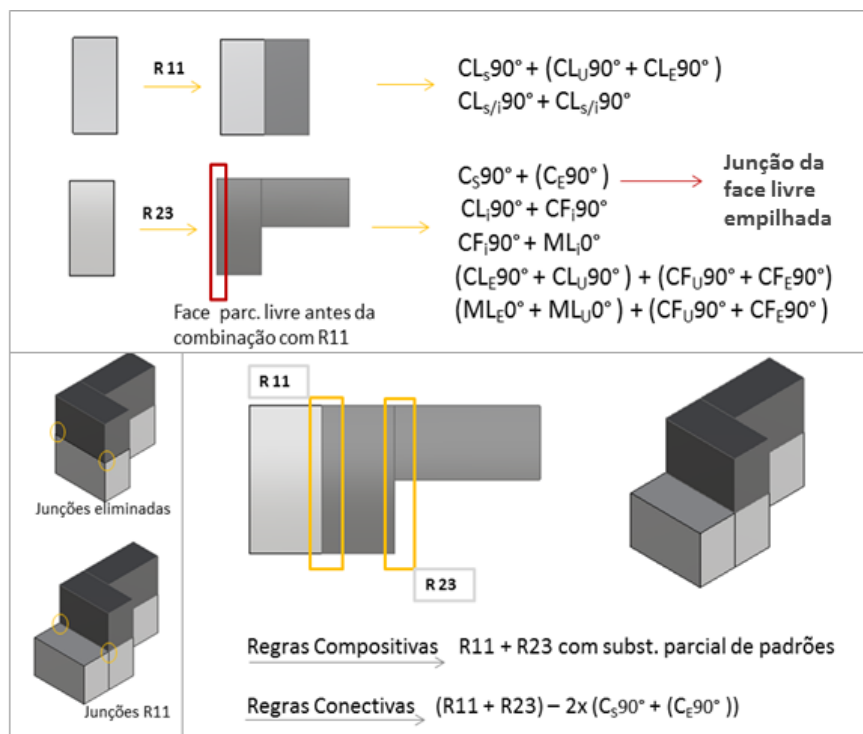
Face livre com face livre somam-se as regras compositivas acompanhadas das descrições das junções, ou seja, não há eliminação de junções. Nos outros dois casos, b e c, precisa-se eliminar a junção existente na face livre empilhada que após a combinação com outra composição estará gerando outro tipo de junção, tanto para empilhamento alinhado como com balanço.

Na Figura 70, como a face com empilhamento apresenta conexões entre face inferior e superior de 2 prismas unidos, a adição de regras precisa considerar a subtração

e substituição dessas junções. A forma empilhada, face livre empilhada na regra R11 e R23, quando da soma das 2 regras com substituição parcial de padrões, não apresenta mais esta face livre empilhada. Então, na gramática compositiva, tem-se $R11 + R23$, mas na regra conectiva, é necessário diminuir um tipo de junção. Então, a composição $R11p+R23p$ terá como tipos de junção as regras R11, R23, menos a junção C_S+C_E , neste caso.

Para o modelo generativo para prisma retangular ou trapezoidal, se os padrões forem combinados por adição de padrões, acrescentando a regra correspondente ao encontro das faces dos padrões e respeitando o uso de regras pré-determinadas, não é necessário substituir junções. As junções presentes nas composições geradas nestes casos seguem a descrição das regras. No caso de composições que usam adição com substituição parcial de padrões, é necessário observar as faces que se encontram. Se forem combinadas face livre com face livre, soma-se as duas regras, uma de cada padrões e as junções seguem as descrições das regras utilizadas. Se forem combinadas face livre com face livre empilhada e/ou face livre empilhada com face livre empilhada, além das 2 possíveis situações compositivas, retiram-se as junções da face empilhada que se unirá a outra após combinação.

Figura 70: Exemplo de subtração de junção quando necessário.



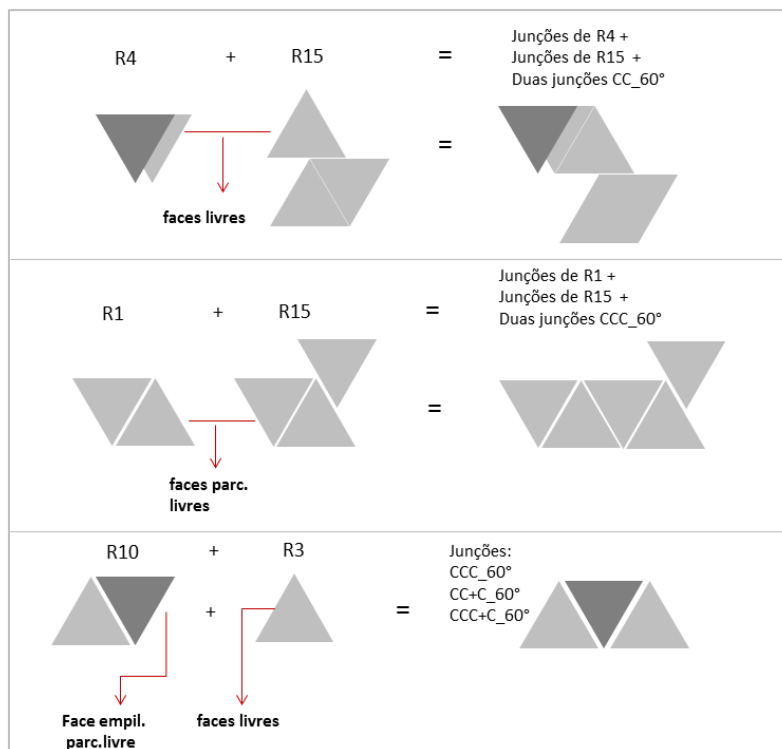
As situações com prisma em balanço foram consideradas somente combinação pelas faces empilhadas coincidentes, ou seja, não há regra prevista para módulo em balanço sobrepor-se ao módulo inferior, conforme indicado nas restrições estabelecidas.

Para o modelo generativo com o **prisma triangular**, determinou-se a **combinação dos padrões de acordo as faces que se encostam**. Isso se deu em função de as suas características geométricas do triângulo não permitirem situações com faces livres quando combinado com outro módulo, pois sempre gera mudança de tipo de junção no vértice da face. A exceção ocorre somente quando outro prisma triangular é combinado com meio de face, liberando uma delas. Em função dessas características, três tipos de faces foram selecionados para serem combinados entre si e propiciar variação compositiva²⁷: a) face totalmente livre, b) face parcialmente livre que possui um vértice com junção CC e, c) face empilhada parcialmente livre que possui dois vértices com junção C+C. A combinação de face livre com face empilhada parcialmente livre também foi incluída. Assim, quatro combinações entre as faces, ilustradas na Figura 71, são possíveis:

- 1) face totalmente livre com face totalmente livre gera acréscimo de duas junções CC_{60° ;
- 2) face totalmente livre com face parcialmente livre gera acréscimo de uma junção CC_{60° e outra CCC_{60° em substituição a uma CC_{60° ;
- 3) face parcialmente livre com face parcialmente livre gera acréscimo de duas junções CCC_{60° em substituição a duas CC_{60° ;
- 4) face livre com face empilhada parcialmente livre gera acréscimo de CCC, CC+C e CCC+C em substituição a CC, CC+C e C+C.

²⁷ Outros tipos de combinação entre faces podem ser explorados, avaliando e cadastrando os tipos de junção gerados.

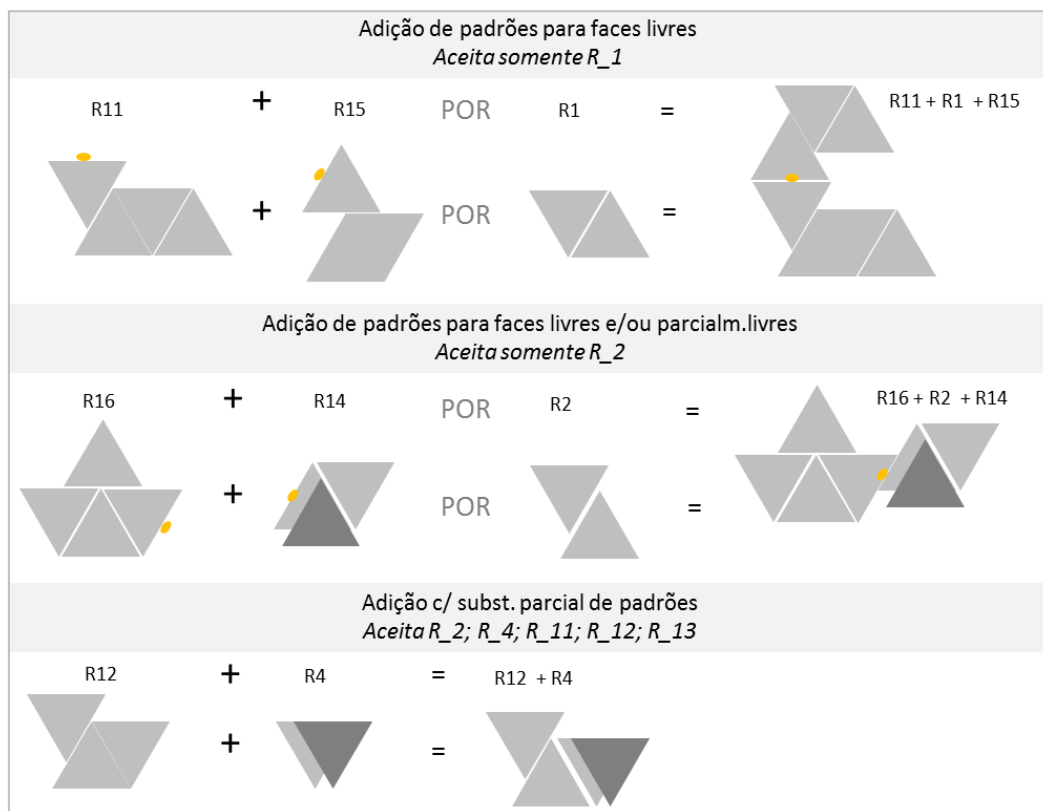
Figura 71: Exemplo da composição com regras e adição de tipos de junção.



Fonte: Autor

Seguindo a proposta de derivação feita para os prismas retangular e trapezoidal, o **prisma triangular** permite, com maior limitação, a combinação por **adição de padrões** e **adição com substituição parcial de padrões**. No 1º caso, é possível adicionar padrões de duas maneiras: a) sempre que ambos tiverem face totalmente livre para a composição, sendo necessário acrescentar a regra R_1; b) combinar dois padrões com faces totalmente livres e/ou parcialmente livre, unindo-os através da regra R_2. Para não alterar as junções pré-identificadas, neste caso, é necessário combinar a extremidade “livre” da face. No 2º caso, a substituição parcial de padrões deve ocorrer pelos blocos que possuem face totalmente livre, um de cada padrão, de modo a não alterar as junções dos padrões que serão combinados. Ou seja, o bloco com face livre de um padrão é substituído pelo bloco de face livre do outro padrão, cuidando para que a face livre do bloco torne-se a face com junção do bloco substituído e vice-versa. As regras cadastradas que possuem prisma com face totalmente livre são: R_2; R_4; R_11; R_12; R_13. Na regra R_4, o módulo inferior do padrão deve ser integrado ao prisma da extremidade garantindo que o módulo em balanço não se encoste aos demais prismas. A Figura 72 ilustra esses processos.

Figura 72: Exemplo de derivações com adição de padrões.

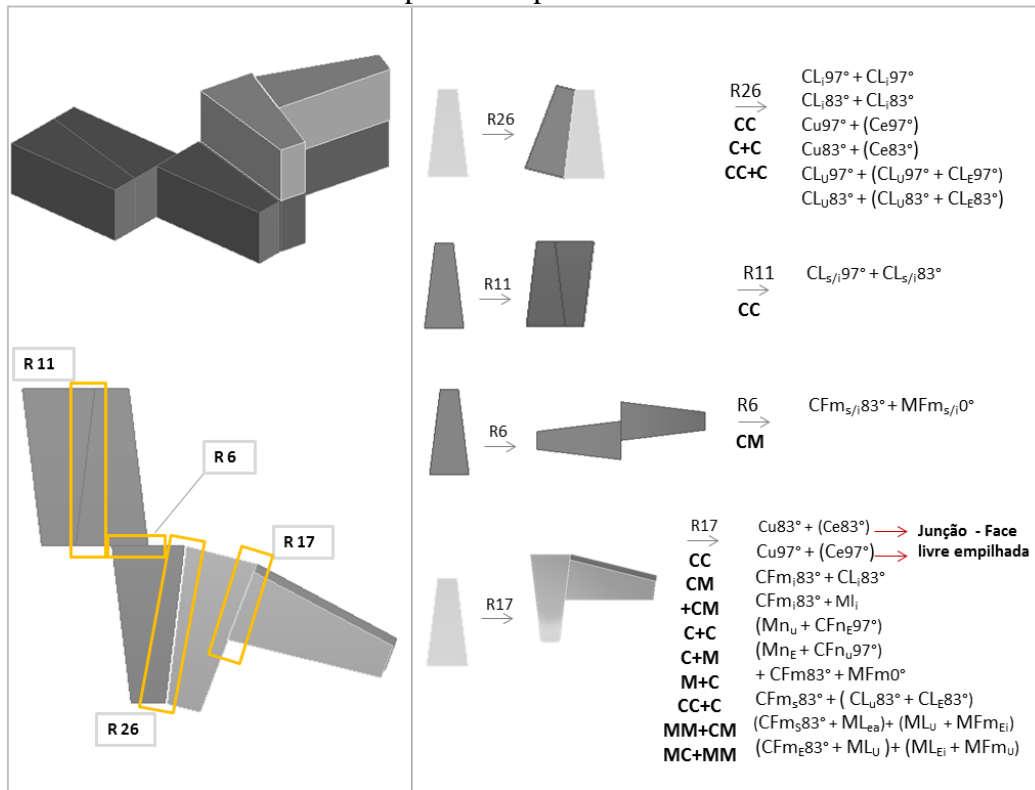


Fonte: Autor

Para verificar o modelo generativo sugerido, foram realizadas algumas derivações das regras, de duas maneiras: 1) composições feitas no *Rhinoceros* e; 2) composições feitas com blocos de madeira. Em ambos os casos as regras foram selecionadas aleatoriamente a partir dos padrões definidos no *Grasshopper* e aplicadas para os 3 tipos de prisma, proporcionando alternativas compositivas com as diretrizes conectivas vinculadas às composições.

Nas composições feitas no *Rhinoceros*, o prisma retangular e trapezoidal usaram as composições por **adição de padrões** e **adição com substituição parcial de padrões**, enquanto para o prisma triangular trabalhou-se com **combinação dos padrões de acordo as faces que se encostam**. As Figuras 73, e 74 ilustram o resultado formal para prisma retangular, as Figuras 75 e 76 ilustram modelo generativo para prisma trapezoidal e as Figuras 77 e 78 para prisma triangular.

Figura 75: Exemplo de composição realizada com regras seleccionadas aleatoriamente – prisma trapezoidal.



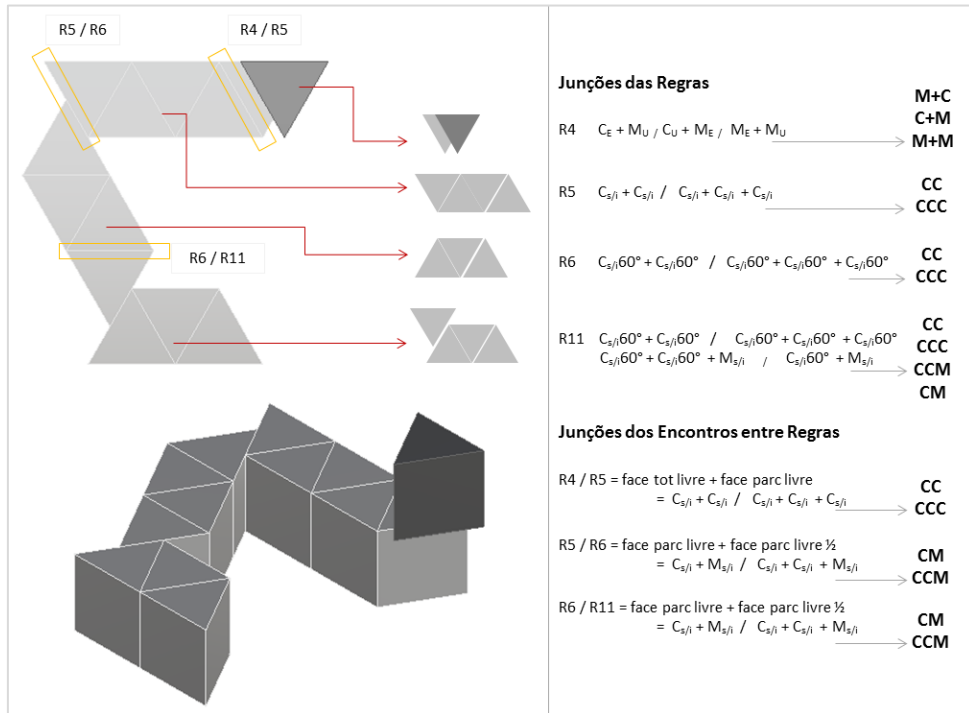
Fonte: Autor

Figura 76: Diretrizes de fixação para a composição proposta na figura anterior.

R26 → $CL_{i,97^\circ} + CL_{i,97^\circ}$ $CL_{i,83^\circ} + CL_{i,83^\circ}$ CC $Cu_{97^\circ} + (Ce_{97^\circ})$ C+C $Cu_{83^\circ} + (Ce_{83^\circ})$ CC+C $CL_{U,97^\circ} + (CL_{U,97^\circ} + CL_{E,97^\circ})$ $CL_{U,83^\circ} + (CL_{U,83^\circ} + CL_{E,83^\circ})$								
R11 → $CL_{s/i,97^\circ} + CL_{s/i,83^\circ}$ CC								
R6 → $CFm_{s/i,83^\circ} + MFm_{s/i,0^\circ}$ CM								
R17 → $Cu_{83^\circ} + (Ce_{83^\circ})$ → $Cu_{97^\circ} + (Ce_{97^\circ})$ → CC $CFm_{i,83^\circ} + CL_{i,83^\circ}$ CM $CFm_{i,83^\circ} + M_{li}$ +CM $(Mn_U + CFn_{E,97^\circ})$ C+C $(Mn_E + CFn_{U,97^\circ})$ C+M $+ CFm_{83^\circ} + MFm_{0^\circ}$ M+C $CFm_{s,83^\circ} + (CL_{U,83^\circ} + CL_{E,83^\circ})$ CC+C $(CFm_{s,83^\circ} + ML_{ea}) + (ML_U + MFm_{Ei})$ MM+MC $(CFm_{E,83^\circ} + ML_U) + (ML_{Ei} + MFm_U)$ CM+MM								
A								
B								
C								
D								

Fonte: Autor

Figura 77: Exemplo de composição realizada com regras seleccionadas aleatoriamente – prisma trapezoidal.



Fonte: Autor

Figura 78: Diretrizes de fixação para a composição proposta na figura anterior.

Junções das Regras								
R4	$C_E + M_U / C_U + M_E / M_E + M_U$	CM	CC	CCC	CCM	C+M	M+M	M+C
R5	$C_{s/i} + C_{s/i} / C_{s/i} + C_{s/i} + C_{s/i}$							
R6	$C_{s/i}60^\circ + C_{s/i}60^\circ / C_{s/i}60^\circ + C_{s/i}60^\circ + C_{s/i}60^\circ$	A						
R11	$C_{s/i}60^\circ + C_{s/i}60^\circ / C_{s/i}60^\circ + C_{s/i}60^\circ + C_{s/i}60^\circ$ $C_{s/i}60^\circ + C_{s/i}60^\circ + M_{s/i} / C_{s/i}60^\circ + M_{s/i}$	B						
Junções dos Encontros entre Regras								
R4 / R5	face tot livre + face parc livre $= C_{s/i} + C_{s/i} / C_{s/i} + C_{s/i} + C_{s/i}$	C						
R5 / R6	face parc livre + face parc livre 1/2 $= C_{s/i} + M_{s/i} / C_{s/i} + C_{s/i} + M_{s/i}$							
R6 / R11	face parc livre + face parc livre 1/2 $= C_{s/i} + M_{s/i} / C_{s/i} + C_{s/i} + M_{s/i}$	D						

Fonte: Autor

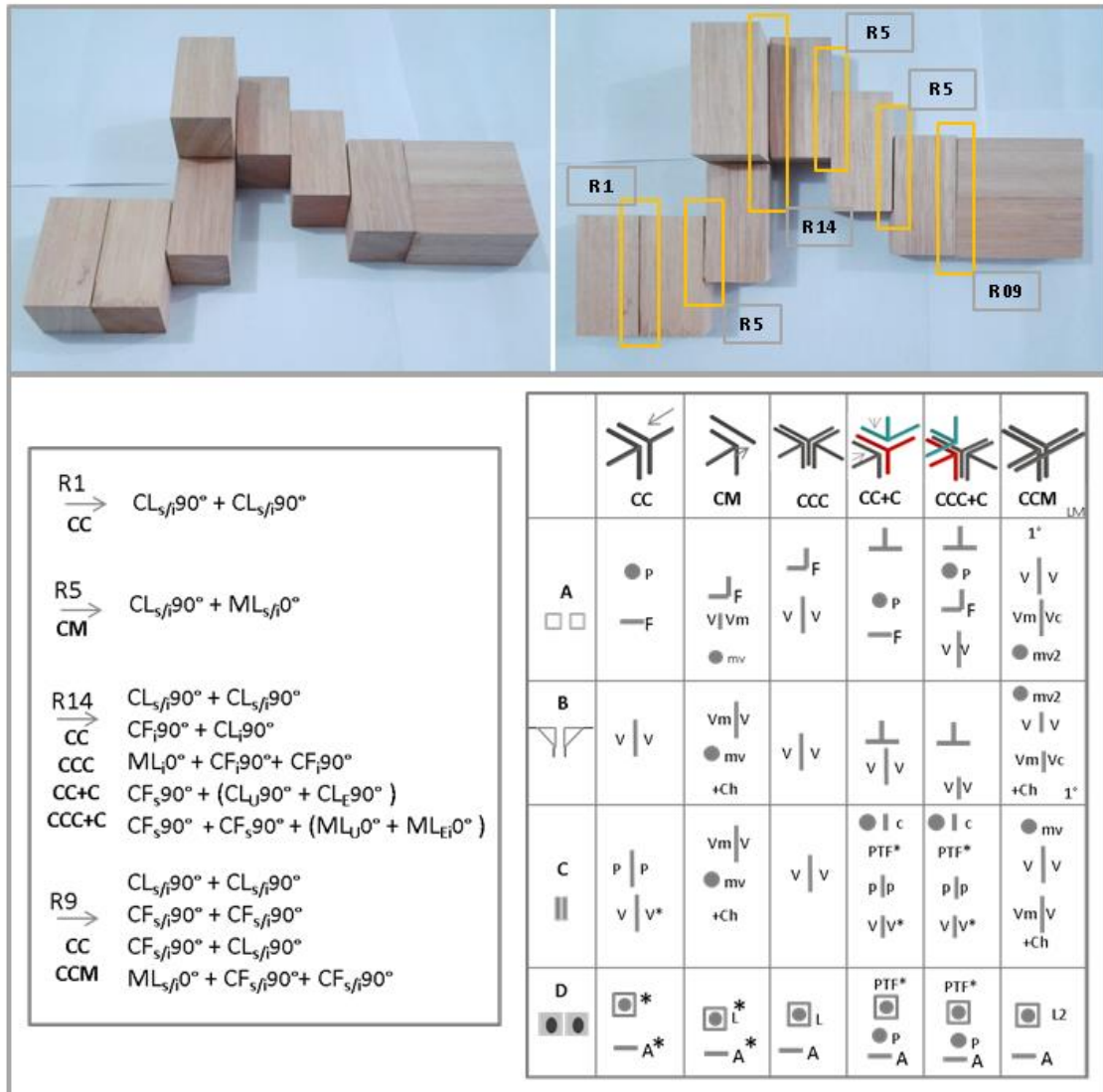
Nas composições feitas com os blocos de madeira, as experimentações ocorreram com o auxílio de listagem das regras, figura 79, evitando combinações não mapeadas e que, portanto, não fornecessem as diretrizes conectivas. Foram feitas 03 composições, cada uma com 10 blocos de um único tipo de prisma. As figuras 80, 81 e 82 ilustram as derivações propostas.

Figura 79: Regras e blocos para experimentações de composições.



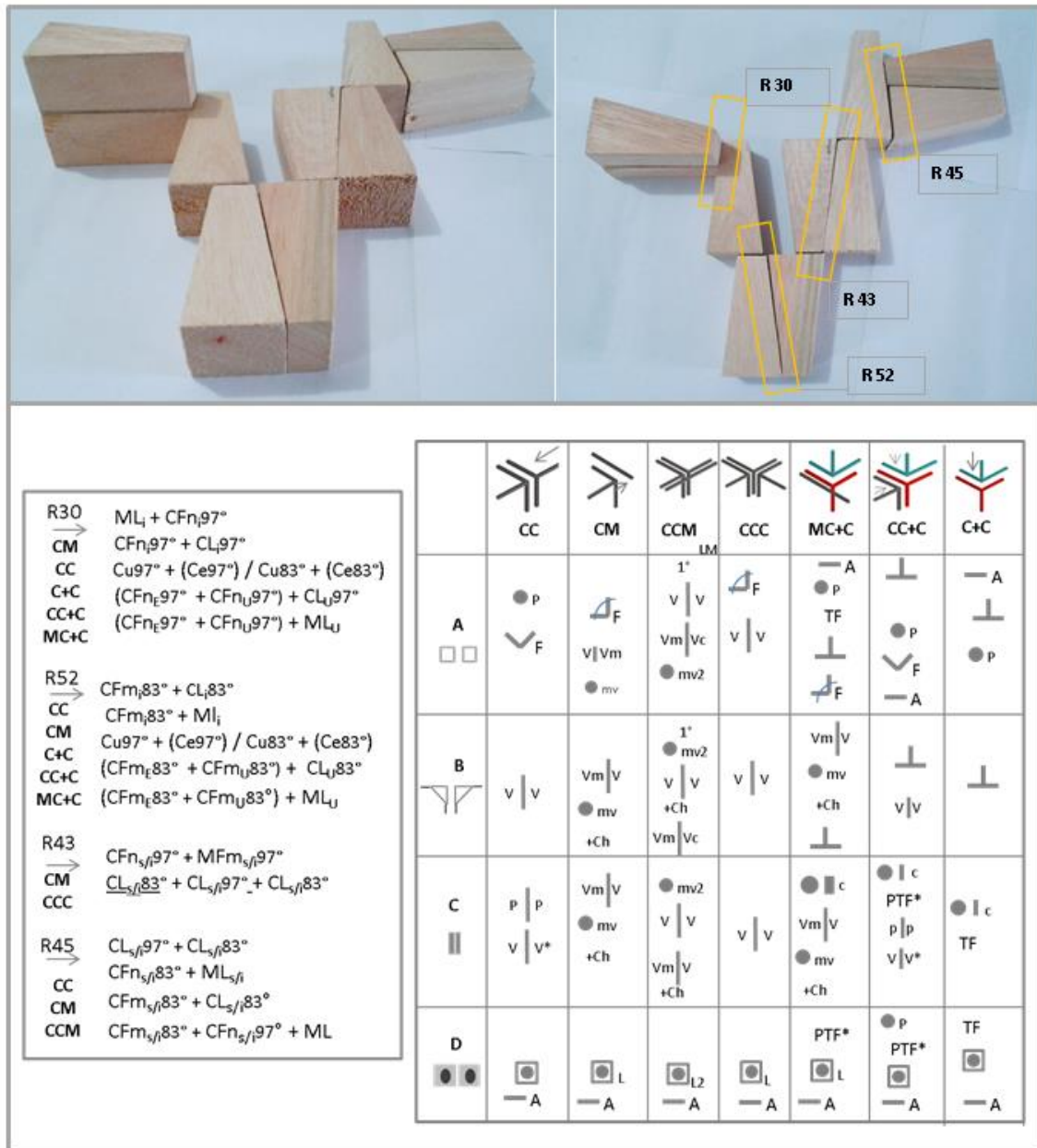
Fonte: Autor

Figura 80: Composição realizada com prisma retangular.






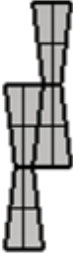
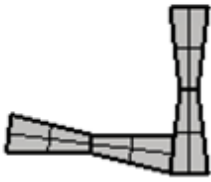


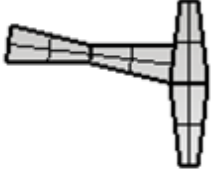

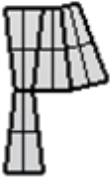


Fonte: Autor

Figura 81: Composição realizada com prisma trapezoidal.



Fonte: Autor

Figura 83: Exemplo de derivações com matriz combinatória, funcionando como catálogo de soluções compositivas-conectivas.

	 F_1	 F_1
 F_1	 R_1	 R_12
 F_2	 R_2	 R_1 + R_9 + R_1
 F_3	 R_3	 R_1 + R_18
	 R_14 + R_3	 R_1 + R_19 + R_3

Fonte: Autor

Este Modelo de Geração Formal não abrange todas as regras possíveis, mas sim, determina um caminho metodológico vinculando as composições com diretrizes de fixação para unir os blocos quando da sua implantação.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta etapa, apresentam-se as análises dos resultados dos seguintes itens:

- a) Princípios da Gramática Compositiva;
- b) Princípios da Gramática Conectiva;
- c) Modelo de Geração Compositiva-Conectiva
- d) Padrões Compositivos, Conjuntos Conectivos e Graus de Ajustes

Essas análises são descritas a seguir.

4.1. PRINCÍPIOS DA GRAMÁTICA COMPOSITIVA

4.1.1. Geração Formal

No **prisma retangular**, 8 formas foram geradas na 1° fase. Dessas, 3 estão com faces totalmente coincidentes e 5 com faces parcialmente coincidentes. Das composições com faces coincidentes, 2 são lado a lado e uma é composição empilhada. Das formas desalinhadas, 03 são composições lado a lado e 2 empilhadas. Uma forma, das 8 geradas, apresenta um bloco rotacionado em relação ao outro. Utilizando o marcador pelo lado maior, as combinações com 4 módulos foram definidas através de matriz combinatória. Nesta 2° fase de geração formal, aparecem composições cujas faces dos módulos se unem de modo totalmente coincidente, como na matriz da forma F_1, podendo ocasionar combinações com mesmas características. Composições com os 4 módulos unindo-se por faces parcialmente coincidentes ocorrem nas matrizes das formas F_6, F_7 e F_8. Essas formas colocadas nas linhas estão rotacionadas a 90° e, ao unir-se com composições de faces parcialmente coincidentes nas colunas, mantêm a condição formal. Nesta 2° fase, foram geradas 144 formas, sendo 32 provenientes da matriz F_4, que teve as 4 posições na linha válidas, e as demais 112 são das 7 matrizes restantes, onde somente a posição 0° e 90° foram colocadas na linha. A posição 180° e 270° geraram resultados iguais por causa da simetria e foram desconsideradas.




No **prisma trapezoidal**, 11 formas foram geradas na 1° fase sendo 5 com faces totalmente coincidentes e 6 com faces parcialmente coincidentes. Dessas 11 formas, 2

são empilhadas e 2 são com um dos módulos rotacionado em relação ao outro. Aplicadas na matriz combinatória, resultaram em 316 formas. Quando linha e coluna são combinadas unindo faces iguais: lado com lado; frente maior com frente maior e frente menor com frente menor; ficam totalmente coincidentes as faces na junção. Quando se combinam faces de forma diferentes, ocorre encontro de faces parcialmente coincidentes.

No **prisma triangular**, foram geradas 4 formas na 1° fase, sendo 1 empilhada com faces coincidentes, 1 empilhada com faces parcialmente coincidentes, 1 lado a lado com faces coincidentes e 1 lado a lado com faces parcialmente coincidentes. A combinação dessas formas na matriz combinatória resultou em 32 formas na 2° fase.

O prisma que mais gerou formas na 1° fase foi o trapezoidal, em função de o trapézio contar com a frente menor e a frente maior, permitindo mais possibilidades combinatórias. O prisma triangular gerou menos formas justamente por não ter diferença de tamanho nas suas faces laterais. A figura 84 quantifica as formas geradas em cada modelo combinatório.

Figura 84: Quantidade de formas geradas em cada modelo combinatório.

MÓDULOS	QTIDADE FORMAS		
	1° fase	2° fase	TOTAL
	8	144	152
	11	316	327
	4	32	36

Fonte: Autor

Como os três modelos foram unidos somente por marcador lateral, o empilhamento máximo obtivo nas composições é de 2 módulos. Ao usar o marcador superior na matriz, esta condição é alterada e maior número de módulos empilhados poderá ser obtido. Esses três modelos de geração formal serviram de base para os princípios da gramática compositiva, cujas análises são descritas a seguir.

4.1.2. Tipos de Faces e Padrão Combinatório

Para cada modelo de geração formal, variável pelo tipo de prisma utilizado, foi realizada a identificação das características das faces quando da união dos módulos. Além do tipo das faces: totalmente coincidentes, parcialmente coincidentes, empilhadas e/ou empilhadas com deslocamento, observaram-se a quantidade de módulos que se unem. A observação dessas características levou aos padrões combinatórios, extraíndo um exemplar de cada situação, base para as composições do modelo generativo proposto. As combinações que geraram encontros de faces iguais foram eliminadas.

Entre os prismas analisados, observou-se que o prisma trapezoidal apresentou maior número de variação compositiva, devido a sua menor simetria. Com dois lados iguais e duas frentes diferentes, permitiu maior número de combinações, 56 padrões combinatórios, seguido pelo prisma retangular com um lado de cada tamanho, gerando 35 padrões combinatórios e finalizando com o prisma triangular, três lados iguais e 17 padrões gerados.

Com o prisma retangular, foram gerados 23 padrões com situações de empilhamento, 12 com situações de união e 17 com 4 módulos formando a mesma composição. No prisma trapezoidal, 26 das composições geradas representam situações de união, 30 composições com empilhamento e 27 com 4 módulos. Com o prisma triangular, 9 composições são com empilhamento, 8 com prismas lado a lado e 10 apresentam 4 módulos. A Figura 85 demonstra quantas composições com 2, 3 e 4 módulos foram geradas para cada tipo de prisma, sendo 108 o total de padrões definidos.

Figura 85: Quantidade de composições com quantidade de módulos utilizados.

MÓDULOS TIPO \ QTID.	UNIÃO			EMPILHAMENTO			TOTAL PADRÕES
	02	03	04	02	03	04	
	05	04	03	03	06	14	35
	09	11	06	02	07	21	56
	02	02	04	02	01	06	17

Fonte: Autor

Ressalta-se que o método proposto trabalhou com composições de no máximo 4 módulos, mas o prisma triangular permite unir em rotação 6 módulos, pois o ângulo interno da figura é 60° , necessitando de 6 exemplares para completar 360° . Novos padrões com 04 módulos podem ser obtidos com o uso de diferentes marcadores.

4.2. PRINCÍPIOS DA GRAMÁTICA CONECTIVA





































4.2.1. Descrição e Tipos de junção

Os tipos de encontro gerados na 1ª fase para os três tipos de prismas são: canto com canto e canto com meio de viga, ambos presentes em composições lado a lado e empilhamento. No prisma retangular, o ângulo entre as peças é de 90° , enquanto no prisma triangular, é de 60° . No prisma trapezoidal, há dois ângulos: um deles formado nos vértices da frente maior e; o outro formado entre os vértices da frente menor. Neste trabalho, os valores desses ângulos são: 83° e 97° , podendo variar de acordo dimensões propostas no trapézio.

Esses ângulos são mantidos na 2ª fase de geração, mas surgem novos tipos de junção promovidos pelo aumento do número de módulos que se encontram num mesmo ponto. Cada padrão compositivo é acompanhado da descrição dos tipos de junções presentes na composição em questão e indica a face do módulo que está presente na junção em questão: lado; frente (maior e/ou menor) superior, inferior e a angulação da

mesma. Como para situações com empilhamento foram consideradas 04 pontos para apoio do bloco superior, há situações de encontro com necessidade de fixação sempre que houver canto (C), no bloco inferior e/ou superior. Quando houver meio de viga para fixação de empilhamento é necessário observar se esta peça faz parte dos 04 pontos de apoio. Se fizer, a letra M está acompanhada da letra a (M_a). Caso não seja apoio do módulo superior, não necessita ser fixada e está indicada pela letra i após o M, (M_i), nas descrições das regras conectivas. Essas descrições foram agrupadas pelas características dos componentes que se unem na junção: meio de viga e/ou canto (vértice do prisma) resultando em tipos de junções. Desses, 13 aparecem nos três tipos de prismas, variando entre eles a angulação entre as peças. Seis tipos padrões de junções aparecem nos prismas retangular e trapezoidal, e 3 tipos ocorrem no retangular e triangular. Há 2 tipos de junções que ocorrem somente no prisma retangular, enquanto somente no prisma triangular há 3 tipos. A Figura 86 ilustra essas ocorrências, totalizando 62 junções.

Figura 86: Tipos de encontros presentes nos 03 modelos de geração formal.

MÓDULOS										
TIPOS DE JUNÇÕES										
										
										

Fonte: Autor

Relacionando os tipos de junções com as composições pode-se observar quantos tipos ocorrem em cada regra compositiva e quais padrões apresentam determinado tipo de junção. A junção CC é a que mais ocorre, pois mesmo quando há mais módulos unidos, nas extremidades das composições essa junção reaparece pela união de dois módulos. Em menor número, o mesmo ocorre com as junções CM e C+C. Conhecer tipos de junções em cada padrão compositivo permite escolher os padrões a serem

usados no modelo generativo de acordo as exigência conectivas que se pretende atender. A Figura 87 ilustra a ocorrência dos tipos de junções nos padrões compositivos para o prisma triangular. As imagens com os demais prismas encontram-se no apêndice M.

Figura 87: Imagem ilustrando a ocorrência dos tipos de junções nas regras.

TRIANGULO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17
CC	POKOKP				POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP	POKOKP
CCC					AOKOKP	AOKOKP	AOKOKP		AOKOKP		AOKOKP						
CCCC								AOKOKP									
CM		APPP															
CCM											APPP	APPP	APPP		APPP	APPP	
C+C			POKOKP				POKOKP			POKOKP			POKOKP		POKOKP		POKOKP
C+M				AA P+P+													
M+C				RRPP													
CC+CC																	POKOKP
MM+MC																RRP+A	
MM+C								RRP+A						RRP+A			
CC+C							POKOKP			POKOKP			POKOKP		POKOKP		
CCC+C							AOKOKP										
CC+M														A P+P+A			
CCC+M									AA P+A								
M+M				RRAA				RRAA						RRAA	RRAA		
MCC+C													PP P+P+				
CC+MC															AA P+A		
CCCM																AP+ P+ P+	

Fonte: Autor

4.2.2. Simulação e Diretrizes Conectivas

Os tipos de junção foram simulados usando 4 conjuntos conectivos genéricos, verificando quais são os atributos construtivos e geométricos necessários para unir os módulos, nas diferentes composições encontradas.

Além da indicação das diretrizes de fixação, essas análises levaram à classificação de graus de ajustes, modificações que os conjuntos conectivos precisarão sofrer para atender aos tipos de junções geradas. Dividiu-se esta análise em situações cujo conjunto conectivo atende à junção sem alteração - representada pelo símbolo OK; quais precisam de pequenos ajustes e mantem o método de fixação proposto pelo sistema atendendo parcialmente às conexões – representada pela letra P; quais precisam ser adaptadas modificando e/ou ampliando o sistema - representada pela letra A e; quais precisam ser remodeladas necessitando rever o sistema para atenderem determinados tipos de junção - representada pela letra R. A figura 88 ilustra essas modificações a seguir descritas:

- Atende - “OK”:
 - chapas planas adequam-se as variações angulares dos tipos de prismas quando une-se os módulos através de pilares e/ou vigas;
 - pilar cujo furo permite acesso ao parafuso e/ou furos adequados ao formato e posicionamento pino.
- Parcial - “P”:
 - chapas planas para fixar módulos com acesso frontal e/ou superior precisam ser alteradas adequando-se a angulação e forma gerada entre os módulos;
 - fixar viga com viga ao invés de pilar com pilar, mantendo a proposta de fixação entre componentes por acesso interno aos módulos;
 - travamento do empilhamento realizado pela lateral ao invés de frontal;
 - furo/pino no meio viga ao invés do canto;
 - necessidade de inserir mais furos nos componentes estruturais e/ou no elemento conector e/ou adequar formato do furo.
- Adaptado - “A”:
 - inserir chapa e/ou elemento conector em local não previsto pelo sistema, ampliando o conjunto conectivo;
 - chapa em “L” (cantoneira) para fixar os componentes de modo diferente do previsto visto que acessos às peças fica prejudicado;
 - conectar viga com viga com chapa interna por acesso interno ao módulo, alterando o sistema que prevê acesso externo para fixação;
 - adaptar a situação de travamento dos módulos empilhados, como cantoneira fixando módulo superior e inferior, pois o acesso previsto pelo sistema fica impedido pela composição gerada.
- Remodelado - “R”:
 - necessidade de estudar solução para vencer o vão formado entre vigas de diferentes módulos, quando empilhados.

Figura 88: Ilustração das principais alterações propostas aos conjuntos conectivos indicando as diretrizes de fixação de acordo o grau de modificação necessário.

















	ATENDE (OK)	PARCIAL (P)	ADAPTADO (A)	REMODELADO (R)
A □ □				
B ▽ ▽				
C				
D ● ●				

Fonte: Autor

Na simulação, os tipos de junção que unem cantos em composições de união apresentaram características semelhantes. Na junção CC, os 4 sistemas atendem quase que totalmente, pois é possível ter acesso frontal aos pilares permitindo a fixação ou o travamento, quando for o caso. No conjunto conectivo A, que fixa os módulos com chapa plana acesso frontal, é necessário ajustar a angulação para as composições em triângulo e na maioria das composições com trapézio. O conjunto conectivo B, atende integralmente. O conjunto conectivo C, atende parcialmente, pois conforme a composição não é possível fixar pilar com pilar, que não se encontram adequadamente, pois geram pouca área de contato. No conjunto conectivo D, conforme a composição, com rotação e/ou frente com frente, as chapas e pinos não adequam-se aos furos propostos, sendo necessários ajustes. Nas junções CCC e CCCC, somente o conjunto conectivo B atende integralmente. O conjunto conectivo A, que depende de acesso frontal para realizar a fixação, fica prejudicado pela posição dos componentes. Os conjuntos C e D apresentam o mesmo problema anteriormente citado: no C não há encontro de pilares em todas as situações geradas e no D os formatos dos furos unidos não ficam iguais às chapas e pinos inicialmente propostos.

Os tipos de junções que unem canto com meio de viga na união: **CM**; **CCM** e **CCCM** não são atendidas pelos conjuntos conectivos A, B e C, pois não preveem união com meio de viga. A exceção ocorre no CCM quando é possível fixar a parte CC antes de colocar o módulo com o M. Como determinadas composições permitem fixar 02 blocos (CC) que, por sua vez, se unem a um terceiro por dois pontos de fixação, a fixação com meio de viga (M) pode ser dispensada. Isso ocorre na maioria das composições do retângulo, sendo atendido parcialmente pelos conjuntos A, C e D e atendida pelo conjunto B. No triângulo não é possível fixar os cantos do módulo que propiciam a parte M da junção CCM, por isso é necessário fixar todos os componentes nesta junção. O conjunto conectivo D atende à situação para **CM** desde que a posição do elemento conector no meio da viga seja igual ao deslocamento proposto na composição. As junções **CCM** e **CCCM** precisam adaptar a quantidade e localização de elementos conectores bem como o formato das chapas e pinos que completam a fixação do conjunto D. As Figuras 89, 90, 91, 92, 93 e 94 ilustram parte dessas análises, indicando se o sistema atende os tipos de junções geradas nas composições de modo parcial, se precisa ser adaptado ou se precisa ser remodelado.

Figura 89: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: CC; CCC; CCCC; CM; CCM e CCCM.

	CC 	CCM 	CCC 	CCCC 	CCCM 	CM 
						
A 	Ok* P P	P+ P+ A	A A A	A A A	A	A A A
B 	OK Ok OK	P+ P+ P	OK Ok OK	OK Ok OK	P+	P P P
C 	Ok* Ok* OK	P+ P+ P	P P OK	P P OK	P+	P P P
D 	Ok* P P	P+ P+ P	P P P	Ok* P P	P+	Ok* P P

Fonte: Autor

Os tipos de junção que apresentam cantos empilhados: **C+C**; **CC+CC**; **CC+C**; **CCC+C** são atendidos integralmente pelo conjunto conectivo B, pois união é feita por chapa entre vigas e empilhamento por chapa na extremidade do pilar. Na junção **C+C**, todos os conjuntos conectivos atendem integralmente, com exceção com conjunto conectivo A e D que precisam ajustar a forma da chapa horizontal para prismas triangular e trapezoidal. As junções **CC+CC** e **CC+C** correspondem a empilhamento e

união, sendo necessário, para conjunto conectivo A, prever furos nas faces externas do pilar e chapas com angulação adequada para prisma trapezoidal e triangular. Para o conjunto conectivo C, também atende parcialmente usando chapa entre vigas ao invés de chapa entre pilares e revendo local de travamento frontal. Para o conjunto conectivo D, atende desde que o furo seja adequado para todas as uniões possíveis e a chapa horizontal, acesso superior, seja adaptada ao formato do prisma. A junção **CCC+C** atende empilhamento quando a face do travamento permanece frontal, mas atende parcialmente quando a face livre para travamento for lateral e/ou para atender a união CCC.

Figura 90: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: C+C; CC+CC; CC+C; CCC+C.









	C+C	CCC+C	CC+CC	CC+C
A	OK* P P	A A A	OK* P P	OK* P P
B	OK Ok OK	OK Ok OK	OK Ok OK	OK Ok OK
C	OK Ok OK	P P OK	OK* Ok* OK	OK* Ok* OK
D	OK P P	P P P	OK* P P	OK* P P

Fonte: Autor

As junções **MC+C**; **CM+CM**; **MCC+C**; **CC+MC** apresentam canto empilhado mais meio de viga. As junções **MC+C**; **CM+CM** são atendidas pelos conjuntos conectivos A, B e C somente no empilhamento, pois não preveem união de canto com meio de viga. O conjunto conectivo D atende parcialmente, sendo necessário adaptar chapa superior para prisma trapezoidal e sem possibilidade de travamento frontal em ambos os casos. A junção **MCC+C** ocorre somente no prisma triangular e atende parcialmente, pois precisa ajustar formas das chapas para empilhamento no A e D e fixação de canto com meio de viga no A, B e C e ajuste do elemento conector e chapa no D. Na junção **CC+MC**, a união é atendida em todos os casos, pois tem acesso frontal e interior permitido. O empilhamento no conjunto conectivo C é parcial, pois não prevê fixação de empilhamento com meio de viga e o travamento depende da ordem de montagem para permitir acesso. No conjunto D é preciso ajustar forma da chapa e

adaptar o travamento, pois o acesso previsto fica bloqueado pela viga deslocada. No A e B é preciso adaptar fixação de empilhamento de meio sobre canto.

Figura 91: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: MC+C; CM+CM; MCC+C; CC+MC.



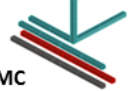









	MC+C	CM+CM	MCC+C	CC+MC
				
A 	A A	A A	P	A A
B 	P P	P P	P	A A
C 	p p	P+ P+	P+	P+ P+
D 	OK p ^x	p ^x p ^x	p+	A A

Fonte: Autor

As junções **M+C**; **MM+C**; **MM+MC**; **MM+CC** apresentam canto no módulo superior, apoiado sobre meio de viga. O conjunto conectivo A não atende situação de empilhamento nem de união nesses casos. Não prevê junção de canto com meio de viga e o empilhamento é prejudicado pela diferença entre altura pilar e viga, e secção da viga em formato “C”. O conjunto B também apresenta diferença entre altura pilar e viga, gerando um espaço nestes tipos de união. O conjunto C precisa prever furo/pino no meio da viga e ajustar travamento para a lateral, prevenindo furos neste local. A ordem de montagem pode influenciar nesses casos, pois outros módulos da composição podem impedir o acesso para o travamento. Portanto, é necessário verificar se é possível fazer primeiramente o empilhamento, para travar pela lateral, para depois colocar os demais módulos. Na junção MM+CC é necessário adaptar o travamento, pois o acesso para um par empilhado ficará com acesso lateral bloqueado pelo outro par empilhado. Esta adaptação pode ocorrer por chapa plana vertical, acesso interno, fixando os dois blocos empilhados através de parafusos. A fixação de união com meio de viga também não é prevista nestes conjuntos. No conjunto conectivo D, as junções podem ser atendidas porque há elemento conector no meio da viga, mas o travamento frontal precisa ser ajustado às situações bem como a forma das chapas horizontais para prismas triangular e trapezoidal. Como no conjunto D, é necessário fixar primeiro os módulos na união,

com chapa horizontal, acesso externo superior, a ordem de montagem não pode ser alterada. O travamento do empilhamento deve ser adaptado para situações com mais de 03 blocos, podendo ser chapa em “L”, cantoneira entre viga do módulo inferior com canto do módulo superior, via acesso externo. Pode-se aproveitar parte dos furos do elemento conector, sendo que sobre a viga sugere-se porca soldada para receber parafuso. Outra opção é chapa vertical via acesso interno.

Figura 92: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: M+C; MM+C; MM+MC; MM+CC.

	M+C	MM+C	MM+MC	MM+CC
				
				
A 	R R R	R R R	R R R	R
B 	R R R	R R R	R R R	R
C 	P P P	P+ P+ P+	P+ P+ P+	A
D 	P P P	A A A	A A A	A

Fonte: Autor

As junções **C+M**; **MC+M**; **CM+M**; **CM+MM**; **CC+MM** possuem canto no módulo inferior recebendo no módulo empilhado meio de viga. Nas junções C+M, MC+M, CM+M e CC+MM, os conjuntos A e B precisam adaptar a fixação de meio de viga sobre ponta de pilar prolongado. O conjunto C atende parcialmente essas junções, pois é necessário prever furo/pino no meio de viga e no conjunto D verificar a posição do elemento conector. No conjunto C, o travamento precisa ser lateral e deve ter a ordem de montagem verificada para viabilizar a fixação, fato que não ocorre para a junção CC+MM, que precisa ter travamento adaptado. No conjunto D, o travamento deve ser adaptado para as junções MC+M; MM+MC e MM+MC. Na junção CM+M, o módulo superior neste ponto não precisa ser fixado, pois o empilhamento é suprido por outros vértices, mas os conjuntos A,B e C não preveem fixação de união com canto com meio de viga, sendo necessária a adequação para este caso de união.

Figura 93: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: C+M; MC+M; CM+M; CM+MM; CC+MM.

	C+M	MC+M	CM+M	CM+MM	CC+MM
A □ □	A A A	A A	A A	A A	A
B ▽ ▽	A A A	A A	P P	A A	A
C	P+ P+ P+	P+ P+	P P	P+ P+	A
D ● ●	P+ P+ P+	A A	OK* P	A A	A

Fonte: Autor

A junção **CCM+M**, por ter dois cantos unidos com duas vigas empilhadas na sua frente, impede o acesso frontal. A ordem de montagem pode permitir a fixação por esse acesso e, caso a composição permita, a junção com M neste caso possa ser dispensada, quando está peça for fixada pelos cantos aos outros dois módulos. O módulo superior nesta junção não precisa ser fixado, pois é apoio intermediário. As junções **CC+M** e **CCC+M** apresentam cantos unidos com viga de meio empilhada sobre eles, situação não prevista pelos conjuntos conectivos. A junção **M+M** ocorre somente para prisma triangular e não é atendida por nenhum sistema, sendo necessário ajuste ou adaptação. Os conjuntos conectivos A e B geram espaçamento entre essas vigas empilhadas e não paralelas entre si.

Figura 94: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu os tipos de junção: CCM+M; CC+M; CCC+M; M+M.

	CCM+M	CC+M	CCC+M	M+M
A □ □	P+ P+	A A	A A	R
B ▽ ▽	P+ P+	P+ P+	A A	R
C	P+ P+	P+ P+	P+ P+	A
D ● ●	P+ P+	A A	A A	A

OK – Atende
 P– Atende parcial com pequenas alterações
 A – Precisa adaptar para atender
 R – Precisa remodelar o sistema

OK* - adequar fixação quando rotacionado, frente com frente; e com pouca área de contato entre pilares
 P* - adaptar travamento dos pinos quando rotacionado; frente com frente
 + - travar antes inserir outro módulo; fixado pelos cantos liberando meio

Fonte: Autor

De acordo seus atributos geométricos e construtivos, os conjuntos foram capazes de atender diferentes tipos de junções, mas não atendem integralmente todas as junções

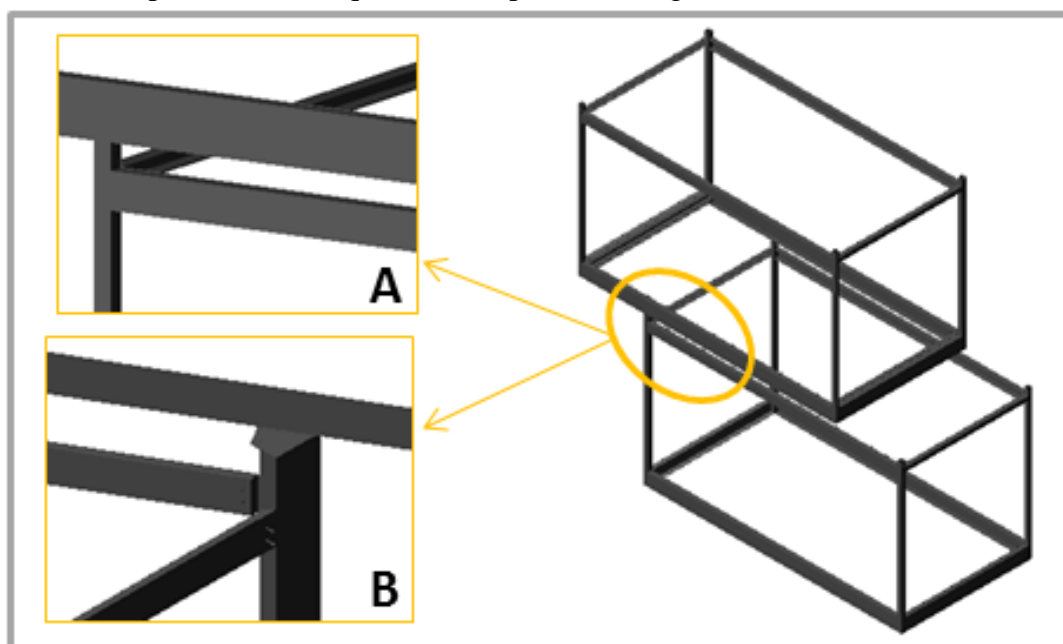
geradas. Outros atributos são necessários para que o sistema atenda determinadas junções.

O conjunto conectivo D prevê junção com meio de viga, mas muitos tipos de junção foram atendidos parcialmente por este sistema, devido à necessidade de ajuste da chapa horizontal quando da união. A chapa horizontal superior e os pinos que se encaixam neste elemento precisam ser desenhados de acordo o resultado formado quando das composições, seja pela composição em si e/ou pelo tipo de prisma utilizado. O travamento frontal por outro acesso é outro ajuste parcial. Algumas composições são possíveis de fazer o travamento do empilhamento adequando a ordem de montagem, mas quando houver 04 blocos e cada par apresentar balanço, o travamento deve ser adaptado, pois haverá um par que ficará sem acesso para este tipo de fixação, prevista sobre elementos conectores via acesso externo. Outra dificuldade do sistema é a impossibilidade de montar primeiramente o bloco sobreposto, pois o sistema prevê chapa horizontal superior para fixação de união. Caso o bloco empilhado seja fixado antes, impede a colocação da chapa horizontal para fixar união.

O conjunto conectivo C prevê junção de união através da fixação de pilares com chapa metálica interna a eles. No prisma retangular e trapezoidal, a secção retangular do pilar proporciona área de contato reduzida, para composições com um módulo rotacionado em relação ao outro, e/ou frente com frente. Une-se face menor com face menor e/ou face maior com menor dos pilares, diferenciando-se da proposta inicial de face maior com face maior de pilar unido por chapa metálica interna. Nestes casos, as diretrizes para o conjunto conectivo foram ajustar a união por chapa metálica interna às vigas atendendo também união com meio de viga através deste sistema. No caso de empilhamento, a fixação realizada por pino e furo entre módulos empilhados, foi ajustada para pino e furo no meio da viga. Para meio de viga com meio de viga, devido necessidade de inserir os 02 elementos, furo e pino, e adaptar o travamento neste ponto, foi considerada adaptada. Quando o acesso externo para executar o travamento de pino não for permitido, é necessário estudar novo sistema para tal e/ou estudar chapa interna sobre as duas vigas empilhadas. Muitas composições são possíveis de ter a fixação de travamento executada via acesso externo (frontal e/ou lateral do módulo), adequando a ordem de montagem. Mas assim como no conjunto D, quando houver 02 balanços na mesma composição, o acesso para travar um deles fica impedido, acarretando adaptação do sistema.

O conjunto conectivo B prevê união pelos vértices dos módulos, unindo as vigas com chapa interna soldada no pilar e adequada ao ângulo interno dos prismas. O empilhamento fixa os módulos através de parafuso unindo chapas soldadas nas extremidades dos pilares. O acesso para essas fixações ocorre interno ao módulo, visto que a secção do pilar é formato “L”. Como o conjunto conectivo não prevê união de canto com meio de viga, o mesmo foi ajustado usando o mesmo princípio, chapa metálica fixando vigas. Para isso, é interessante prever furos no meio da viga, no ponto de junção. Para o empilhamento, previsto somente canto com canto, o conjunto foi adaptado, para situações de meio de viga sobre pilar, com chapa metálica vertical soldada na extremidade do pilar. Esta chapa fixa a viga, apoiada no pilar, lateralmente com parafuso, sendo uma solução possível. Como o canto é maior que a viga, pois a ponta do pilar é mais alta que a face superior da viga, de secção retangular, o problema ocorre no canto apoiado sobre o meio de viga. Gera-se um espaço entre essas peças que não se encostam, pois ao empilhar um módulo sobre outro, forma-se este espaço entre os componentes. É necessário remodelar o sistema pensando em elemento neste espaço e como unir esses componentes, como demonstra a Figura 95, para conjunto conectivo A e B.

Figura 95: Ilustração do espaço gerado entre as vigas, nos conjuntos conectivos A e B, devido altura pilar ser maior que a face superior das vigas.

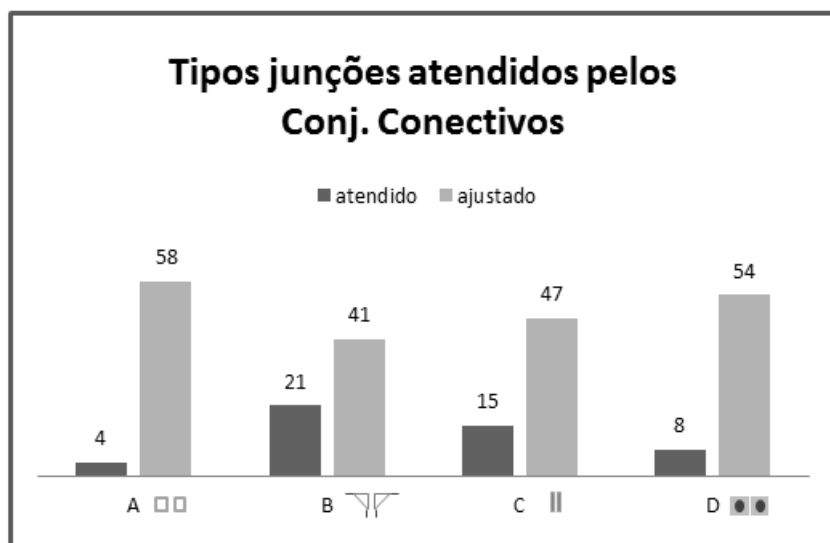


Fonte: Autor

No conjunto conectivo A, a união de canto com canto é feita por chapa vertical sobre os pilares, que deve ser ajustado para furo em ambas às faces externas do pilar, para acessar fixação de parafuso, mesmo quando houver rotação de módulos. Quando o prisma utilizado for o trapezoidal ou triangular, o formato da chapa precisa ser adequado à angulação do prisma. O acesso frontal utilizado para fazer esta fixação é prejudicado quando há mais de 2 módulos na junção, sendo necessário adequar a ordem de montagem para manter essa fixação e estudar como fixar o 3º e/ou 4º módulo na junção. Nestes casos, pode-se adaptar essa fixação, alterando o sistema para fixação com chapa interna as vigas, que devem ter as faces planas externas aos módulos, visto que a secção das mesmas é em “C”. Esta mesma solução pode ser usada para situação onde se fixa canto com meio de viga, pois o acesso frontal nesses casos é prejudicado. Outra alternativa, é utilizar chapa externa, em “L”, adequada aos ângulos formados entre componentes. No empilhamento, é necessário que ambas as faces externas dos pilares estejam furadas para que o acesso ao parafuso de fixação entre pontas dos pilares seja acessado, independente da composição proposta. Quando é canto com meio de viga, é possível fixar a viga sobre chapa da ponta do pilar com parafuso, fixado por acesso interno, adaptando a junção. Quando o canto é apoiado sobre meio da viga e/ou quando é viga com viga, é necessário remodelar o sistema. O espaço gerado entre essas peças, devido à relação de altura entre pilar e viga, prevê a necessidade de elemento que supra esse vazio bem como solução de fixação para essas peças.

De acordo o conjunto conectivo utilizado, determinadas alternativas compositivas serão atendidas e outras não. Ou seja, as mesmas exigências de fixação ocorrem na composição escolhida, mas não são todos os conjuntos conectivos aptos a atenderem essas exigências, confirmando a hipótese de que alternativas compositivas, com módulos volumétricos tridimensionais, dependem dos atributos geométricos e construtivos do conjunto conectivo usado para fixar as unidades entre si. A imagem 96 ilustra a quantidade de junções atendidas por cada conjunto conectivo em relação ao total de 62 junções investigadas, considerando o menor grau de ajuste.

Figura 96: Imagem ilustrando como cada conjunto conectivo atendeu o tipo de junção.



Fonte: Autor

O método estabelecido permite identificar quais diretrizes serão necessárias para cada conjunto conectivo atender determinado tipo de junção. O grau de modificação sugerido possibilita verificar quais junções são mais fáceis de atender através do ajuste do conjunto conectivo escolhido e quais exigem maiores modificações do sistema. Algumas alterações parciais referem-se a adequação de angulação das chapas, pois os conjuntos conectivos foram parcialmente adaptados para os 03 tipos de prisma. Ou seja, os componentes presentes no módulo foram adequados a angulação do prisma utilizado enquanto os componentes para fixação dos blocos no terreno mantiveram a forma do conjunto conectivo que serviu de base às análises. Isso demonstra que é possível promover ajustes nos sistemas para atender diferentes tipos de prismas permitindo que um mesmo conjunto conectivo atenda conexões entre módulos de diferentes formas.

É importante destacar que muitos “OK” para o conjunto conectivo B devem-se ao fato da angulação do mesmo ocorrer na formação do pilar e, neste trabalho, este item foi contabilizado como integrante ao sistema. As chapas de fixação são sempre planas, pois o ângulo que forma o prisma está contemplado no pilar do mesmo. Já para o conjunto conectivo A, que tem fixação com chapa plana frontal sobre pilares, foi considerado “P” parcial, pois é necessário adequar a chapa aos ângulos formados quando da junção de blocos não retangulares. No conjunto conectivo D, cuja fixação ocorre por chapa plana horizontal com furos para receber pinos, a combinação dos

módulos trapezoidal e triangular muda o formato da chapa que deve unir 02 ou mais blocos. Quando um bloco é rotacionado em relação ao outro, o formato dos furos necessários para adequar os pinos também alteram-se pela posição assumida, fato presente também no prisma retangular. Como essa chapa precisa ter os furos adequados aos diversos formatos gerados, foi considerado “P”. Soma-se a isso o fato de muitos tipos de junções serem atendidos parcialmente por não permitirem o travamento do empilhamento feito pela parte frontal dos módulos. A posição dos pilares no caso C, secção retangular, ocasionou tipos de junções atendidas parcialmente, porque a fixação com chapa interna entre pilares não é possível devido a pouca área de contato gerada entre pilares. Sugere-se chapa interna às vigas quando os pilares de módulos diferentes não se encostarem lado a lado e/ou para junção com meio de viga.

Algumas mudanças nos conjuntos conectivos ocasionarão maior quantidade de peças, como as diversas chapas que necessitam adequar-se as diferentes angulações e formatos, gerada pela combinação dos prismas em diferentes relações espaciais. No conjunto conectivo B esse fato não ocorre, pois a angulação é atendida pela secção do pilar que possui chapa plana para fixação nos três tipos de prismas. O vértice dos módulos, formado pelos pilares e vigas, também influencia o conjunto conectivo seja secção das peças estruturais, pela sua posição no conjunto, pela angulação entre ela, e/ou pela relação de altura entre pilar e viga.

Como diferentes junções estão presentes nos padrões compositivos, foi necessário estabelecer regras para a combinação desses padrões de modo a garantir o conhecimento das diretrizes de fixação para quaisquer composições formadas através do modelo generativo proposto.

4.3. MODELO DE GERAÇÃO COMPOSITIVA E CONECTIVA

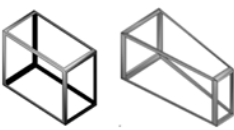

Os princípios da Gramática Compositiva e Conectiva estão relacionados pelos tipos de junções. Na Gramática Compositiva se estabelece os padrões compositivos a partir dos quais são extraídos as descrições e os tipos de junções. A simulação com 04 conjuntos conectivos genéricos nos tipos de junção permite que as diretrizes conectivas sejam definidas.

Para fazer as derivações desses padrões e garantir a relação entre composição e diretrizes de fixação, estabeleceram-se modos de combiná-los identificando que tipos de encontro entre componentes são formados. Os três modos de combinar os padrões são:

- a) Por adição de padrões;
- b) Por adição com substituição parcial de padrões e;
- c) Por adição pelas faces que se encostam.

Por adição de padrões não é necessário acrescentar ou substituir nenhuma junção, e sim considerar como os padrões serão combinados, incluindo a regra que define esta união. No caso de adição com substituição parcial de padrões para prisma retangular e trapezoidal não é necessário acrescentar/substituir junções quando são combinadas faces livres dos módulos. Mas quando ocorre combinação com faces empilhadas é necessário substituir junções por haver alteração no tipo de encontro entre os módulos. No modelo generativo para prisma triangular as combinações são limitadas pelo tipo de face e regra de adição específica. O modo de combinar os blocos por adição pelas faces que se encostam foi aplicado somente a este prisma, para aumentar as possibilidades de derivações. Por sua própria característica geométrica, se a composição já tiver dois módulos unidos por faces coincidentes, um terceiro acarretará mudanças no tipo de junção. Nos prismas trapezoidal e retangular, é possível unir outros módulos com uma composição que já possua 2 blocos, sem necessariamente interferir nos tipos de junções pré-identificados, pois uma face pode ficar “livre” para receber outros prismas. A figura 97 ilustra como os padrões podem ser combinados, sendo influenciado pelo tipo de prisma e faces que se encostam quando os padrões são combinados.

Figura 97: Regras para combinar padrões de acordo modelo generativo proposto.

MÓDULOS									
	Adição de padrões		Subst. Parcial de padrões			Adição pelas faces que se encostam			
			FL+ FL	FL+ FLE	FLE+ FLE				
Substitui Junção	Não		Não	Sim	Sim	Substitui/ Acrescenta Junção			
	FL+ FL com R1	FL+FL FL+FPL com R2	FL+ FL com R_2; R_4; R_11; R_12; R_13			FTL+ FTL + 2 CC	FTL+ FPL + CC +CCC Por CC	FPL+ FPL +CCC Por CC	FTL+ FPLE +CCC; CC+C; CCC+C Por CC; CC+C; C+C
Substitui Junção	Não	Não	Não						

Fonte: Autor

Conforme as modificações necessárias em cada conjunto conectivo, características formais específicas são obtidas. Essa relação é demonstrada a seguir e ilustrada pelas imagens 98, 99, 100 e 101, separadas por conjunto conectivo e grau de ajuste.

4.3.1. Conjunto Conectivo A

Atende (OK) - Somente junções com vértices unidos no empilhamento e na união por faces laterais. Alinhados frente com frente não é possível devido posição do furo previsto para acessar parafusos nas fixações de união (chapa frontal sobre pilares) e empilhamento (chapa entre extremidade de pilares). Não prevê deslocamento para empilhamento nem deslocamento e rotação entre módulos fixados na união.

Parciais (P) – Composições com vértices coincidentes, mas permitindo rotação entre blocos permitindo unir vértices com faces lateral e frontal desde que não gere junção com meio de viga. Prever furo nas faces dos pilares para acessar parafuso. Os padrões triangulares têm vértices alinhados e furos previstos em ambas faces do pilar, mas precisam adequar formato de chapa, inicialmente plana, para fixar módulos sobre pilares, através de acesso externo. A chapa entre ponta de pilares para fixação de empilhamento, inicialmente quadrada, precisa adequar-se ao formato do pilar deste prisma específico. Os padrões trapezoidais têm vértices alinhados e faces frontais, menor e/ou maior, alinhadas. Assim como nos padrões triangulares, precisam adequar forma de chapa para fixação frontal e para empilhamento.














Adaptado (A) – Padrões retangulares e trapezoidais, com 03 ou 4 blocos unidos pelos vértices, quando fixados na união não permitem fixação com chapa frontal, pois não fixam os 03 blocos. As sugestões indicadas são: chapa plana entre vigas fixadas por acesso interno aos módulos e/ou chapa em “L”, acesso externo, considerando, neste caso, mais uma chapa interna para unir os 03 módulos, pois a chapa em “L” fixar somente 02. A chapa em “L” para trapézio deve ter ângulo específico ao ângulo formado entre os módulos que devem ser unidos.

Padrões com módulos desencontrados e fixação na união precisam de chapa em “L” acesso externo e/ou fixação com chapa metálica entre vigas por acesso interno.

Remodelado (R) – Padrões com junções de canto sobre meio de viga no empilhamento, promovidas por situações de balanço, geram espaço entre as peças estruturais, que precisam ser fixadas. É necessário remodelar o sistema prevendo

elemento que supra este espaço e uma os componentes estruturais envolvidos. Além disso, nos padrões triangulares com balanço, surge a junção de meio de viga com meio de viga.

Figura 98: Características formais dos padrões de acordo requisitos conectivos para conjunto conectivo A

CONJUNTO CONECTIVO A				
	(OK)	(P)	(A)	(R)
				
	—			
	—			
Composição	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices alinhados para união e empilhamento (retângulo) • União por faces laterais (retângulo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices alinhados para união e empilhamento • União por faces frontais (retângulo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices desalinhados na união 	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices desalinhados no empilhamento
Conexão	—	<ul style="list-style-type: none"> • Adequar formato chapa • Furo nas laterais pilares 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantoneira e/ou chapa entre vigas 	<ul style="list-style-type: none"> • Elemento para vencer espaço entre vigas

Fonte: Autor

4.3.2. Conjunto Conectivo B

Atende (OK) – permite composições com vários blocos num mesmo ponto, pois a fixação é feita com chapa entre vigas por acesso interno. Prismas triangulares e trapezoidais também são atendidos por este sistema, pois ângulo é definido pelo pilar. A chapa de fixação soldada ao pilar mantém-se plana nos 03 tipos de prismas.



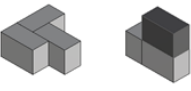




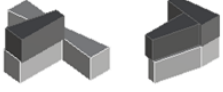




Parciais (P) – Composições com situações de deslocamento na fixação de união. Necessita unir chapa metálica do vértice com meio de viga.

Adaptado (A) – Não há padrões com este grau de ajuste, pois as junções que precisam ser remodeladas também estão presentes nestes padrões.

Remodelado (R) – Padrões que apresentam módulo sobreposto em balanço, pois geram espaço entre os blocos que precisam ser fixados no empilhamento, na junção

entre canto sobre meio de viga. No triângulo soma-se a junção de meio de viga sobre meio de viga.

Figura 99: Características formais dos padrões de acordo requisitos conectivos para conjunto conectivo B

CONJUNTO CONECTIVO B				
	(OK)	(P)	(A)	(R)
			_____	
			_____	
			_____	
Composição	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices alinhados para união e empilhamento • União por qualquer face 	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices desalinhados para união 	_____	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices desalinhados no empilhamento
Conexão	_____	<ul style="list-style-type: none"> • Chapa metálica prevista no pilar fixada com meio de viga 	_____	<ul style="list-style-type: none"> • Elemento para vencer espaço entre vigas

Fonte: Autor

4.3.3. Conjunto Conectivo C

Atende (OK) – Padrões com módulos unidos pelas faces laterais sem desencontro de vértices. As faces do módulo que estão unidas influenciam a posição do pilar, para permitir a fixação com chapa entre pilares. O empilhamento prevê alinhamento dos vértices, para encaixe de pino e furo previstos nesta posição, e travamento do pino via parafusos nas faces frontais via acesso externo. Nos padrões triangulares o pilar foi previsto em todos os lados do prisma, permitindo a fixação entre pilares quando blocos alinhados pelos vértices.

Parciais (P) – Composições com blocos unidos pelas faces frontais, para trapézio e retângulo, e composições com deslocamento de blocos lado a lado, para os três tipos de prismas, que necessitam fixar as vigas que se encontram neste ponto

através de chapa interna as mesmas. No 1º caso une vigas do canto devido ao posicionamento do pilar e no 2º caso une viga de canto com viga de meio.

Composições com blocos empilhados alinhados mais blocos lado a lado, para trapézio e retângulo, podem necessitar fazer o travamento do pino pela face lateral ao invés da frontal.


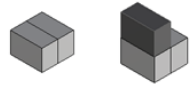
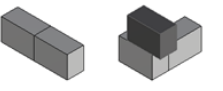



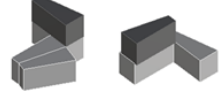



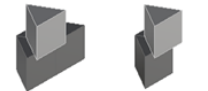
Composições com blocos sobrepostos em balanço, pois pino/furo precisa ser previsto para o meio da viga. Dependem da ordem de montagem, priorizando o empilhamento, para permitir o travamento do pino.

Composições com 04 módulos sendo 02 deles empilhados, para trapézio e retângulo, também dependem da ordem de montagem antecipando os blocos empilhados para permitir acesso a face lateral. Caso isso não ocorra, o travamento deve ser adaptado, mudando o grau de ajuste dos padrões.

Adaptado (A) – Padrões de prisma retangular que apresentam 02 blocos em balanço, pois não é possível fazer o travamento pelas faces alinhadas no empilhamento. O acesso a um dos pares empilhados pode ser feito priorizando-os na ordem de montagem, mas o 2º par fica com esse acesso bloqueado pelos demais módulos. Nos padrões trapezoidais não há esta situação compositiva. É necessário adaptar o travamento previsto pelo sistema. Nos padrões com prisma triangular, gera-se faces empilhadas não coincidentes, impedindo o travamento previsto pelo sistema.

Remodelado (R) – Não apresenta padrões neste grau de ajuste para nenhum dos prismas trabalhados.

Figura 100: Características formais dos padrões de acordo requisitos conectivos para conjunto conectivo C

CONJUNTO CONECTIVO C				
	(OK)	(P)	(A)	(R)
				_____
			_____	_____
				_____
Composição	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices alinhados para união e empilhamento • União por faces laterais 	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices alinhados para união por faces frontais e desalinhados na união • Vértices desalinhados no empilhamento (retângulo e trapézio) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices desalinhados no empilhamento (triângulo) • Dois blocos em balanço (retângulo) 	_____
Conexão	_____	<ul style="list-style-type: none"> • Chapa interna entre vigas • Pino e furo no meio da viga • Antecipar montagem no empilhamento • Travar pela lateral se necessário 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar travamento 	_____

Fonte: Autor

4.3.4. Conjunto Conectivo D

Atende (OK) – Padrões retangulares com módulos unidos pelas faces laterais, com vértices alinhados e/ou desencontrados permitido pela forma da chapa que adequa-se ao elemento conector. Padrões retangulares sobrepostos mantendo o alinhamento dos vértices, devido forma da chapa e furo no elemento conector para travamento frontal.

Parciais (P) – Composições de união com prismas cujos blocos unem-se pelas faces frontais – com ou sem deslocamento -, precisam adequar o formato da chapa horizontal que é sobreposta ao elemento conector com pino. Está adequação também é necessária para composições de prisma retangular face lateral mais face frontal. O sistema prevê elemento conector no meio da viga.

Para o prisma trapezoidal somam-se situações cujos blocos são unidos pela frente maior e pela frente menor.

Composições com 03 e/ou 4 blocos, unidos pelo mesmo ponto, também precisam adequar formato da chapa horizontal que fixa-os através da união dos

elementos conectores neste ponto, para os diferentes prismas. No prisma retangular, a chapa para atender 04 blocos num mesmo ponto é prevista pelo sistema.

Composições com prisma trapezoidal e retangular que apresentam 01 ou 02 pares empilhados precisam prever furo na lateral do elemento conector para possibilitar travamento.

Composições com prisma trapezoidal e retangular que apresentam 01 ou 02 pares empilhados em balanço precisam adaptar travamento. Neste sistema a ordem de montagem exige a colocação dos módulos lado a lado para colocação da chapa horizontal sobreposta aos elementos conectores dos módulos que deverão ser fixados. Depois deste processo é que os blocos são sobrepostos aos demais.


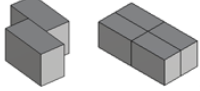
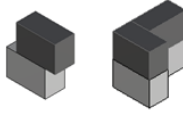


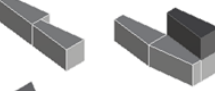




Composições unidas pelas faces laterais, com ou sem deslocamento, para prisma trapezoidal e triangular, precisam adequar o formato da chapa, cujo sistema prevê formato retangular com furos específicos.

No prisma triangular foi considerado furo em ambas as faces do elemento conector para travamento.

Adaptado (A) – Padrões com mais de 03 blocos, sendo um deles empilhado com balanço, precisam adaptar o travamento, pois o conjunto conectivo precisa unir primeiramente os blocos lado a lado para depois colocar os blocos sobrepostos. Nos padrões com prisma triangular, gera-se faces empilhadas não coincidentes, impedindo o travamento previsto pelo sistema sendo, portanto, necessário adaptar o sistema.

Remodelado (R) – Não apresenta padrões neste grau de ajuste para nenhum dos prismas trabalhados.

Figura 101: Características formais dos padrões de acordo requisitos conectivos para conjunto conectivo D

CONJUNTO CONECTIVO D				
	(OK)	(P)	(A)	(R)
				_____
	_____			_____
	_____			_____
Composição	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices alinhados no empilhamento (retângulo) • Vértices alinhados e desalinhado na união por faces laterais (retângulo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices alinhados na união e no empilhamento (trapézio e triângulo) • Vértice desalinhados na união por face frontal (retângulo) e qualquer (outros) e no empilhamento com 02 blocos na composição 	<ul style="list-style-type: none"> • Vértices desalinhados no empilhamento para composições com mais de 02 blocos 	_____
Conexão	_____	<ul style="list-style-type: none"> • Adequar formato chapa • Furo na lateral elemento conector para travamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar travamento 	_____

Fonte: Autor

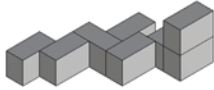


As modificações promovidas nos conjuntos conectivos acarretam características formais específicas, influenciando o resultado formal do edifício. Através do modelo proposto, é possível gerar várias alternativas compositivas conhecendo, antecipadamente, aspectos formais e conectivos de cada padrão utilizado.

4.4. PADRÕES COMPOSITIVOS, CONJUNTOS CONECTIVOS E GRAUS DE AJUSTES

Observando as composições propostas no teste das derivações com o modelo generativo sugerido, confirma-se que os atributos geométricos e construtivos dos conjuntos conectivos influenciam a capacidade combinatória da Arquitetura Modular Volumétrica, pois cada arranjo é atendido de um modo diferente pelos 04 conjuntos conectivos investigados. Essas composições foram analisadas pelo grau de modificação, considerando o maior grau necessário em cada regra aplicada como ilustra a figura 102. Os arranjos apresentados dependem de ajustes nos conjuntos conectivos para que os mesmos possam atender os encontros gerados entre os módulos tridimensionais. É

possível saber o grau de ajuste necessário para que o conjunto conectivo escolhido efetive a composição proposta bem como qual o nível de exigência conectiva de cada padrão compositivo escolhido.

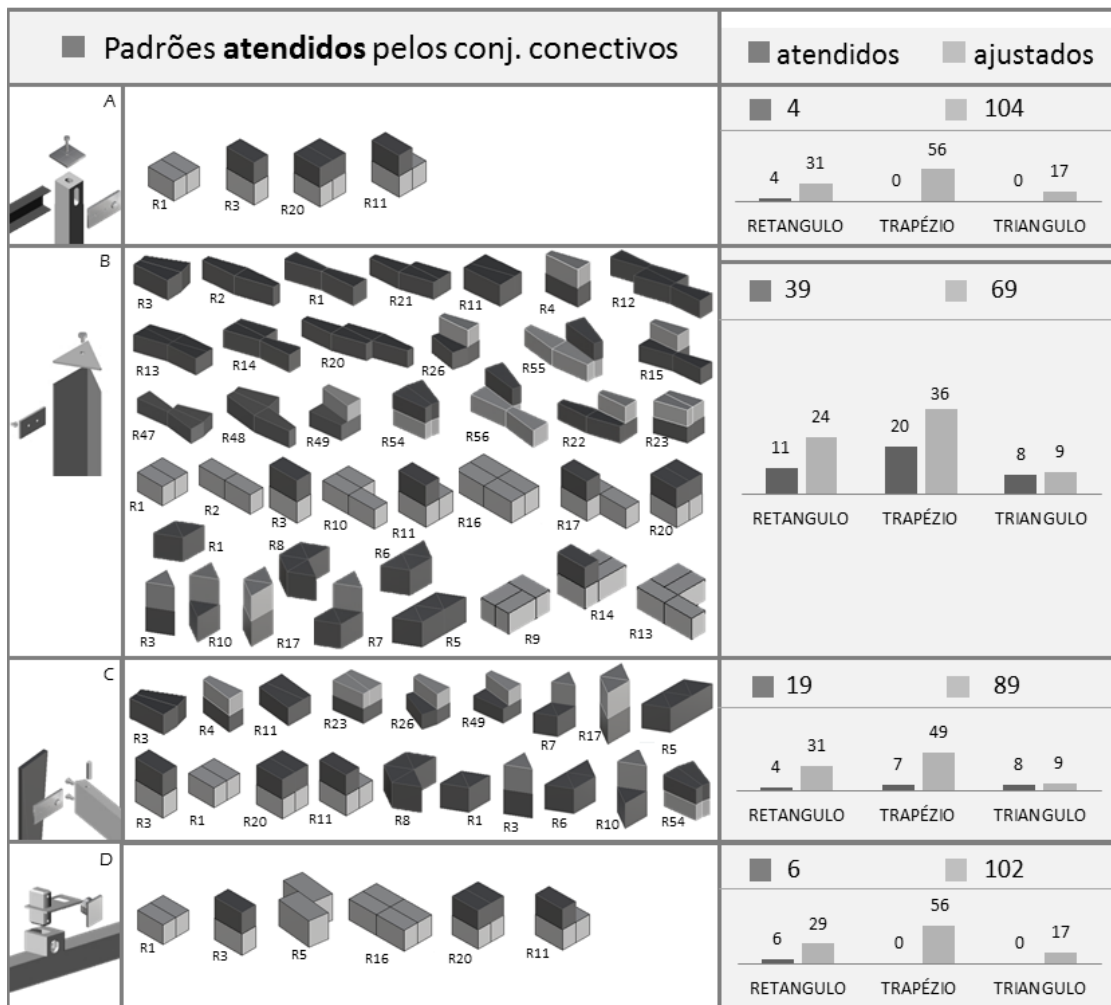
Figura 102: Regras usadas nas derivações propostas e o grau de adaptação necessário ao conjunto conectivo gerado.

																	
REGRAS/ JUNÇÕES	R4	R5	R6	R11	R26	REGRAS/ JUNÇÕES	R26	R6	R11	R17	C+M	REGRAS/ JUNÇÕES	R4	R5	R6	R11	ACRESCENTADA
CONJ. CONECTIVO	CC CM	CM	CM	CC C+(CC)	CC CM MCC	CONJ. CONECTIVO	CC C+C CC+C	CM	CC	CC CM C+C	CC+C MM+C MC+M	CONJ. CONECTIVO	C+M M+M	CC CCC	CC CCC	CC CCC CCM CM	CC CCC CCM CM
A	A	A	A	OK	A	A	P	A	P		R	A	R	A	A	A	A
B	P	P	P	OK	P	B	OK	P	OK		R	B	R	OK	OK	P	P
C	P	P	P	OK	P	C	OK	P	OK		P	C	A	OK	OK	P	P
D	P	OK	P	OK	P	D	P	P	P		A	D	A	P	P	P	P

Fonte: Autor

Para combinar os módulos garantindo a fixação entre eles deve-se: a) escolher regras cujo conjunto conectivo atenda plenamente as junções formadas; b) promover as modificações sugeridas pelas diretrizes de fixação para o conjunto conectivo escolhido e/ou; c) ajustar o conjunto conectivo utilizado alterando o sistema e ampliando a capacidade combinatória do mesmo. Através da imagem 103 observa-se que poucos padrões são plenamente atendidos pelos conjuntos conectivos, sendo, na sua maioria, composições com vértices dos módulos alinhados. Dos 108 padrões contabilizados, 04 são atendidos pelo conjunto conectivo A; 39 pelo B; 19 pelo C e 06 pelo conjunto conectivo D. Foram consideradas as junções mais difíceis de atenderem cada padrão.

Figura 103: Padrões atendidos sem alterações no conjunto conectivo utilizado.






















Fonte: Autor

Fazendo derivações compositivas somente com os padrões plenamente atendidos, observa-se que não há opções com deslocamento e/ou rotação, com exceção de um padrão (R 5) para conjunto conectivo D. Ajustes nos conjuntos conectivos permitirão que mais padrões possam fazer parte do modelo generativo e ampliem as possibilidades combinatórias entre módulos tridimensionais.

Algumas conexões geradas pelos encontros dos componentes são mais difíceis de atender por determinados conjuntos conectivos, observando as letras que representam o grau de ajuste necessário para que o conjunto conectivo efetive a composição. No conjunto A e B, por exemplo, composições com balanço causam situações cujos componentes a serem fixados não se encostam, devido espaço vazio gerado entre eles. Alterações mais simples, por exemplo, são ajuste na forma da chapa

metálica e furos nas laterais das peças, como nos conjuntos A e D. A Figura 104 demonstra qual a situação dos padrões, em relação às modificações necessárias em cada conjunto conectivo, do modelo generativo para prisma triangular. Os tipos de junções indicam se há, ou não, deslocamento entre módulos, caracterizado pelo encontro com meio de viga (M). A figura 105 ilustra os padrões gerados com prisma triangular agrupando-os de modo crescente pelo grau de modificação juntamente com os aspectos formais obtidos em cada grau de ajuste. No apêndice N encontram-se as demais imagens para prisma retangular e trapezoidal.

Figura 104: Padrões e grau de modificação necessário nos conjuntos conectivos em função dos tipos de junção que o padrão possui.

PADRÕES	   				JUNÇÕES	
	A	B	C	D		
	R1	P	OK	OK	P	CC
	R2	A	P	P	P	CM
	R3	P	OK	OK	P	C+C
	R4	R	R	A	A	C+M; M+C; M+M
	R5	A	OK	OK	P	CC; CCC
	R6	A	OK	OK	P	CC; CCC
	R7	A	OK	OK	P	CC; CCC; C+C; CC+C; CCC+C
	R8	A	OK	OK	P	CC; CCCC
	R9	R	R	A	A	CC; CCC; MM+C; CCC+M; M+M
	R10	P	OK	OK	P	CC; C+C; CC+C
	R11	A	P	P	P	CC; CCC; CM; CCM
	R12	A	P	P	P	CC; CM; CCM
	R13	A	P	P	P	CC; CM; CCM; C+C; CC+C; MCC+C
	R14	R	R	A	A	CC; MM+C; CC+M; M+M
	R15	R	R	A	A	CC; CM; C+C; MM+MC; CC+C; M+M; CC+MC
	R16	A	P	P	P	CC; CM; CCM
	R17	P	OK	OK	P	CC; C+C; CC+CC

Fonte: Autor

Figura 105: Grau de modificação necessário em cada padrão compositivo e aspectos formais, prisma triangular, de acordo conjunto conectivo analisado.

PADRÕES	□□ A	ASPECTOS FORMAIS	PADRÕES	∇ B	ASPECTOS FORMAIS	PADRÕES	 C	ASPECTOS FORMAIS	PADRÕES	■ ■ D	ASPECTOS FORMAIS		
R1	P	Vértices alinhados na união e no empilhamento	R1	OK	Vértices alinhados na união e no empilhamento	R1	OK	Vértices alinhados na união e no empilhamento	R1	P	Vértices alinhados na união e no empilhamento		
R3	P		R3	OK		R3	OK		R2	P			
R10	P		R5	OK		R5	OK		R3	P			
R17	P		R6	OK		R6	OK		R5	P			
R2	A		R7	OK		R7	OK		R6	P			
R5	A	Vértices desalinhados na união	R8	OK	R8	OK	R8	P	Vértice desalinhados na união por qualquer face e no empilhamento com 02 blocos na composição				
R6	A		R10	OK	R10	OK	R7	P					
R7	A		R17	OK	R17	OK	R8	P					
R8	A		R2	P	R2	P	R10	P					
R11	A		R11	P	R11	P	R11	P					
R12	A		R12	P	R12	P	R12	P					
R13	A		R13	P	R13	P	R16	P					
R16	A		R16	P	R16	P	R17	P					
R4	R		Vértices desalinhados no empilhamento	R4	R	Vértices desalinhados no empilhamento	R4	A		Vértices desalinhados no empilhamento	R4	A	Vértices desalinhados no empilhamento composições com mais de 02 blocos
R9	R			R9	R		R9	A			R9	A	
R14	R	R14		R	R14		A	R14	A				
R15	R	R15		R	R15		A	R15	A				

Fonte: Autor

A análise dos atributos de fixação e das mudanças necessárias no conjunto conectivo permite selecionar os padrões pelas alterações conectivas que se pretende fazer. Assim como padrões com composições desejáveis devem ter seus requisitos de fixação atendidos.

Os tipos de junção bem como suas descrições indicam a quantidade, quais peças, seu posicionamento e quais componentes devem ser fixados no ponto de encontro. O acesso e o modo de fixação podem não ser aptos a fixar vários módulo e/ou diferente posicionamento gerado por alternativas compositivas. No conjunto A, por exemplo, a fixação com chapa sobre pilares acesso externo, não é apta a conectar 03 módulos unidos pelo vértice, sendo necessária adaptação. Essa mesma situação compositiva, no conjunto B é atendido por acesso interno, chapa entre vigas, fixando os módulos de 02 a 02. E no conjunto D, o acesso é externo e superior com chapa horizontal sobre elemento conector/pino, fixando todos os módulos no mesmo ponto.

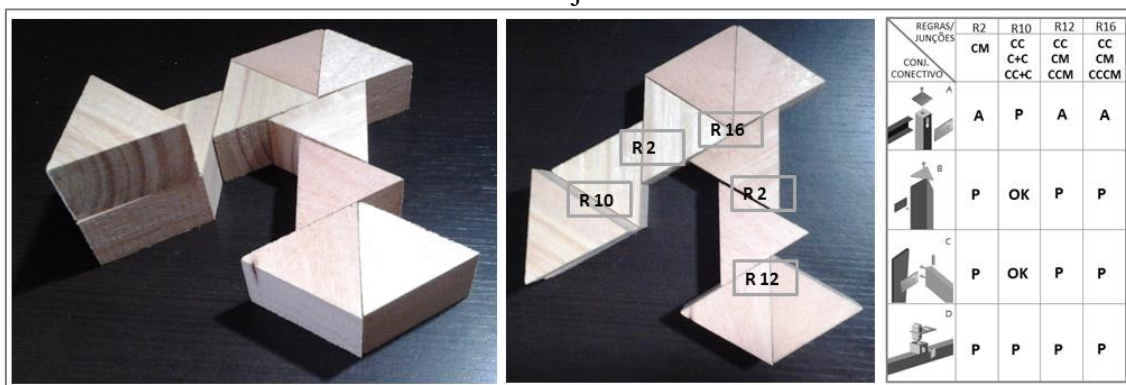
A ordem de montagem pode permitir acesso para a fixação, em sistemas que preveem acesso externo. No conjunto C, por exemplo, a ordem de montagem, priorizando blocos sobrepostos, permite acessar as faces alinhadas, no empilhamento, para fazer o travamento das peças. O conjunto conectivo D possui ordem de montagem

específica devido ao sistema de colocação das peças que o compõem, impedindo o travamento previsto quando há mais de 03 módulos na composição.

Os conjuntos conectivos, que precisam ter chapas adequadas a diferentes angulações e formatos, exigem várias peças conectivas para atender distintos arranjos. No conjunto D, por exemplo, vários blocos que se encontram num mesmo vértice, são unidos por mesma chapa metálica horizontal, que precisa ser adequada ao formato gerado pelos prismas. No conjunto A essa variação de peças é necessária para atender a angulação de diferentes prismas. Quando se unem lado a lado, a chapa metálica é fixada frontalmente aos dois módulos. No conjunto B, como é o pilar que adequa-se a angulação dos diferentes prismas, a variação do formato da chapa não ocorre, pois a mesma chapa plana soldada ao pilar fixa os módulos em diferentes arranjos, para os 03 tipos de prismas.

Os padrões escolhidos, seja pela questão formal e/ou pela questão conectiva, podem ser combinados seguindo as regras propostas pelo modelo generativo compositivo-conectivo. A figura 106 ilustra exemplo de composição, para modelo triangular, feita com padrões cujo grau de modificação é ok e parcial para conjunto conectivo B, citado na figura 105.

Figura 106: Composição feita com padrões selecionados pelo grau de modificação necessário aos conjuntos conectivos.

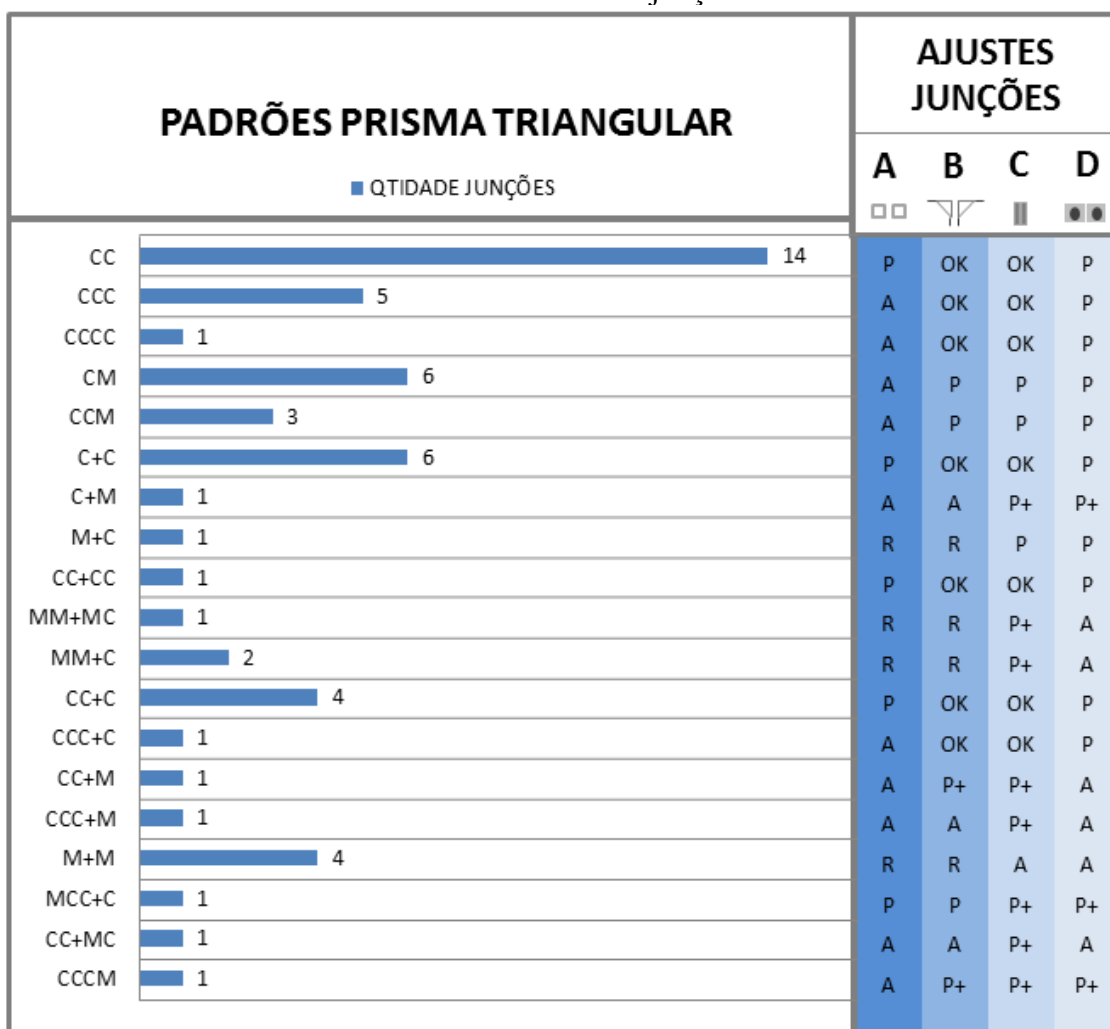


Fonte: Autor

Cada um dos três modelos generativos propostos pode ser analisado pela quantidade de ocorrência das junções nos padrões bem como pelo grau de modificação necessário no conjunto conectivo. Essa relação ajuda a definir os padrões que não são viáveis de serem atendidos em relação aos demais, seja pela baixa ocorrência e/ou pela

necessidade de modificações mais complexas de serem atendidas. Caso queira-se manter a composição, será necessário remodelar o conjunto conectivo para que o mesmo seja apto a fixar os módulos na relação espacial estabelecida. Ou se os requisitos de fixação forem simples de atender, mesmo com baixa frequência, permitirá que mais padrões façam parte das possibilidades combinatórias. A figura 107 ilustra essa relação de quantidade de ocorrência das junções nos padrões com o grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo, exemplo para modelo generativo prisma triangular. As demais se encontram no apêndice N.

Figura 107: Quantidade de padrões que possuem a junção e o grau de modificação necessário em cada junção.



Fonte: Autor

Isso demonstra que, além de permitir um catálogo de escolhas, o método abre caminho para que a indústria do setor altere os conjuntos conectivos vislumbrando ampliar as possibilidades combinatórias através do ajuste no sistema. Gramáticas específicas para cada sistema poderão ser implementadas, excluindo padrões que não adequam-se ao conjunto conectivo proposto bem como inserindo novos padrões não mapeados neste trabalho e que poderão ser atendidos pelos conjuntos conectivos readequados.

CONCLUSÕES

Esta pesquisa partiu da premissa que alternativas compositivas realizadas com unidades tridimensionais dependem da variação formal dos módulos bem como das relações espaciais estabelecidas entre si. Estas transformações podem implicar na modificação dos atributos geométricos do conjunto conectivo usado para fixar os módulos entre si bem como a relação composição-conexão pode permitir antecipar os requisitos conectivos e indicar as diretrizes de fixação para unir os módulos entre si.

Para comprovar estas hipóteses, o trabalho propôs um modelo combinatório que permitiu a identificação de padrões compositivos, a partir dos quais as características de junções foram descritas. Padrões compositivos e tipos de junções comportaram a simulação de 04 conjuntos conectivos genéricos, verificando os atributos de fixação indispensáveis para efetivar cada composição, sobre o enfoque da geometria dos componentes envolvidos na conexão.

Os resultados obtidos demonstraram que menos da metade dos padrões gerados são atendidos pelos conjuntos conectivos investigados, confirmando a hipótese de que esses conjuntos precisam ser modificados para atender outras soluções formais com módulos tridimensionais.

A variabilidade compositiva para além da epiderme do edifício passa pela alteração da forma do bloco e das relações espaciais estabelecidas entre eles. Essa ampliação formal acarreta mudanças nos requisitos de fixação influenciando os atributos que os conjuntos conectivos devem possuir para promover a fixações entre módulos. O estudo realizado contribui com a personalização da AMV ao disponibilizar um sistema de geração de múltiplas composições com módulos tridimensionais, simultaneamente com as diretrizes de fixação para uni-los quando da montagem no sítio. A relação conexão-composição proposta sugere as diretrizes de fixação para cada padrão compositivo identificado bem como para as derivações formais permitidas pelo modelo, beneficiando o processo compositivo por antecipar as necessidades conectivas para cada arranjo projetado. O modelo generativo em questão permite que os padrões selecionados sejam combinados entre si, garantindo o conhecimento dos tipos de junções formados e os atributos conectivos necessários. Permite combinar o módulo-chassi, baseado em diferentes tipos de prismas e em diferentes relações espaciais,

ampliando o espectro compositivo para além da camada superficial das edificações realizadas com este tipo de arquitetura.

A partir do conhecimento dos atributos de fixação foi possível estabelecer o grau de ajuste que cada conjunto conectivo necessitará para atender as junções geradas. O trabalho antecipa as informações necessárias para efetivar a fixação das junções geradas, permitindo escolher composições de acordo os ajustes que se pretende fazer no conjunto conectivo estabelecido. Indica os aspectos formais que serão obtidos com essas modificações.

Algumas alterações são mais simples de serem atendidas e podem complementar o sistema conectivo existente como: aumentar a quantidade de furos e chapas, definir a localização das peças e, adequar seu formato, entre outros, permitindo que novas relações espaciais entre os módulos sejam estabelecidas e atendidas pelo sistema. Outras alterações, por sua vez, exigem estudos mais profundos, pois as conexões precisam ser remodeladas para atender o encontro formado. Situações onde o vértice de um módulo encontra-se com o meio da viga de outro módulo, para o conjunto conectivo A e B, é o caso encontrado, pois proporciona um espaço entre as vigas. A quantidade de peças necessárias, para atender diferentes formas e angulações, é diferente para cada conjunto conectivo. Alguns são capazes de atender a variação compositiva com poucas peças, como ocorre com o conjunto conectivo B. Através do pilar, este conjunto conectivo adapta-se as diversas angulações dos blocos prismáticos. Outros, como o conjunto conectivo D, acarretam em maior número de peças diferentes entre si, para atender a variação formal. O uso da tecnologia CAD/CAM pode beneficiar este tipo de sistema ao permitir a produção de diferentes componentes com a mesma eficácia da produção em massa, que visa a repetição. A tecnologia CAD/CAM poderá ser usada para promover diversidade nos componentes conectivos, garantindo maior amplitude compositiva ao mesmo tempo em que mantem a produção padronizada do módulo chassi.

Nesse sentido, o trabalho contribui com a personalização da AMV ao induzir alterações e aprimoramento de uma das partes que compõem o módulo: o conjunto conectivo, ao mesmo tempo em que mantem a produção do chassi para incorporar as demais partes como: vedação, cobertura, entre outras. Um conjunto conectivo mais elaborado, visando atender diversas relações espaciais entre blocos, amplia as possibilidades combinatórias com os módulos enquanto preserva as demais estratégias de customização em massa aplicadas na produção deste tipo de arquitetura. A personalização da epiderme dos módulos é somada à variação compositiva sugerida.

A partir do conhecimento dos encontros gerados entre as unidades tridimensionais, define-se um processo generativo no qual um conjunto de soluções pode ser avaliado, ao invés de produzir somente uma única solução. Permite a geração de múltiplas alternativas a partir da combinação de padrões compositivos selecionados, seja pelo aspecto formal e/ou pelas exigências conectivas envolvidas. O método permite projetar escolhendo as junções que serão geradas quando da combinação dos padrões fornecidos. A relação composição-conexão proposta demonstra como unir os padrões e garantir o conhecimento das junções simultaneamente com os atributos de fixação. Uma sistematização dos arranjos admissíveis, que inclui os atributos conectivos indispensáveis, fornece informações para profissionais escolherem a solução compositiva que almejam, dentro de uma gama de alternativas predefinidas, visto que os projetistas preferem ter uma ampla variedade de escolha. (Willis e Woodward, 2010).

A ampliação da variedade formal com este tipo de arquitetura facilitará alcançar formas únicas, adequadas ao ambiente de implantação bem como às singularidades exigidas pelos projetos arquitetônicos; às pretensões projetuais do arquiteto e desejos do cliente. Módulos com diferentes tipos de prismas geram variedade compositiva como o prisma trapezoidal que permite edifícios com curvatura. A possibilidade de desalinhar os vértices dos módulos, gerando encontro de canto com meio de viga, admite gerar saliências e reentrâncias no arranjo compositivo proposto bem como girar um bloco em relação ao outro. Mudar a relação espacial que normalmente alinham os vértices dos blocos, transforma as composições geralmente centralizadas ou lineares. Comumente aplicada para usos que admitem a repetição de unidades similares como: escolas, alojamentos e hotéis, a variação compositiva, auxiliada pela ampliação dos atributos dos conjuntos conectivos, permitirá a utilização da Arquitetura Modular Volumétrica para outros programas arquitetônicos. Contribui para romper com o preconceito em relação à Arquitetura Industrializada, tradicionalmente lembrada como sinônimo de repetição, monotonia e limitação criativa.

A sistematização conectiva poderá facilitar aspectos construtivos antecipando os atributos construtivos e geométricos necessários, que poderão ser adequadamente inseridos nos componentes dos módulos ainda na fábrica bem como produzindo peças adequadas para fixação no sítio. Os furos necessários para acessar parafusos, furos para receber pinos e/ou chapas e parafusos poderão integrar os componentes dos módulos. Chapas com formato e angulação adequadas fixam os blocos no sítio em diferentes arranjos compositivos. O modelo proposto poderá ser adaptado para permitir a

automatização, contribuindo para que a indústria do setor tenha controle das peças conectivas necessárias para cada composição gerada, pois a relação composição-conexão antecipa os atributos de fixação. Para isso será necessário desenvolver um programa de computador que implemente as regras das gramáticas, como o proposto por Duarte (2007) para a gramática discursiva da Malagueira.

O modelo poderá colaborar para que a indústria do setor altere, em diferentes graus de adaptação, os conjuntos conectivos existentes, vislumbrando efetivar mais alternativas compositivas com determinado conjunto conectivo. A indústria poderá ampliar a capacidade combinatória de seus sistemas modulares volumétricos, pois permitirá mais variação compositiva com mesmo conjunto conectivo. Conjuntos conectivos mais elaborados permitirão maior amplitude formal. A descrição dos graus de modificação necessários juntamente com a frequência da ocorrência de junções permitiu que os padrões fossem avaliados, indicando a viabilidade econômica do ajuste conectivo necessário ou se, devido à baixa frequência e alto grau de modificação, o padrão devesse ser descartado do modelo generativo proposto. A partir do vocabulário definido: módulo e conjunto conectivo ajustado, as regras poderão ser exploradas considerando as restrições impostas pelos atributos de fixação e inserindo novos padrões compositivos. O modelo generativo proposto permite que os padrões selecionados, bem como os novos padrões gerados que serão incorporados à gramática, sejam combinados entre si, garantindo que os tipos de junções formados sejam atendidos pelo conjunto conectivo remodelado.

Estudos que visem conjuntos conectivos com outras características podem ser incorporados à metodologia proposta, verificando os padrões atendidos pelo sistema e quais atributos necessários para ampliação da capacidade combinatória. Esses padrões poderão ser combinados entre si seguindo o modelo generativo proposto. Admite também que novos conjuntos conectivos sejam explorados a partir da análise dos atributos de fixação levantados nesta pesquisa.

Para trabalhos futuros, vislumbra-se estudar combinações unindo diferentes tipos de prismas. Neste trabalho, verificou-se que a angulação é um item que altera a forma das peças sem alterar os tipos de junções. É possível adaptar os conjuntos conectivos inserindo chapas metálicas com a angulação prevista pelos diferentes tipos de prismas ampliando as possibilidades combinatórias, permitindo que um mesmo conjunto conectivo atenda conexões entre módulos de diferentes formas. Estudos que visem diminuir o número de peças dos conjuntos conectivos e ainda assim permitam unir

módulos em diferentes arranjos é um caminho a seguir. Outra possibilidade é diminuir os pontos de junções nos módulos, investigando a quantidade e posição, de acordo com as composições realizadas e dimensionamento dos blocos.

Analisar os esforços solicitantes das composições com balanço e empilhamentos, bem como as cargas sofridas pelas conexões, é outro estudo que pode ser complementado e fazer parte das restrições compositivas, ampliando a abrangência das gramáticas propostas. Nesses casos, poderiam ser previstos dimensão dos componentes, tipo de material e quantidade de parafusos e peças necessárias.

REFERÊNCIAS

ALCHEMY. Alchemy Architects | Home of the weeHouse. 2015. Disponível em: <
<http://www.weehouse.com/>>.

ALSHAYEB, M. J. **Lean production using modular construction**. 2011. (Master). Engineering Management Program, The University of Kansas

ANDERSON, M.; ANDERSON, P. **Prefab prototypes : site-specific design for offsite construction**. New York: Princeton Architectural Press, 2007. 263 p.

ARCHITECTURE; RESOLUTION. The Modern Modular. 2015. Disponível em: <
<http://re4a.com/the-modern-modular/>>.

AZARI, R. et al. **Modular Prefabricated Residential Construction. Constraints and Opportunities**. University of Washington. 2013

AZHAR, S.; LUKKAD, M. Y.; AHMAD, I. **Modular v. Stick-Built Construction: Identification of Critical Decision-Making Factors**. 48th ASC Annual International Conference Proceedings, 2012, SmartMarket Report, 2011.

BBA, B. B. O. A. **PORTAKABIN BUILDING SYSTEMS_NEW YORKON BUILDING SYSTEM**. Londres: BBA, British Board of Agrément 2013.

BEAWARE. **BeAware Supply Chain Resource Efficiency Sector Report. Modern Methods of Construction (MMC)**. 2009. Disponível em: <
<http://www.yumpu.com/en/document/view/7969558/beaware-mmc-sector-report-02mar09>>.

BERGDOLL, B. Introdução. In: BERGDOLL, B. e CHRISTENSEN, P. (Ed.). **Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling: The Museum of Modern Art, New York**, 2008. p.248. ISBN 0870707337.

BRUCE, T. M.; BRUCE, T. M. **Prefabricated modular building units**. 2013. US2013/0055671 A.

CAIADO, K. D. F. **Estudo e Concepção de Edifícios em Módulos Pré-Fabricados Estruturados em Aço**. 2005. (Mestrado). Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto

CAMERON, P. J.; DI CARLO, N. G. **Piecing together modular : understanding the benefits and limitations of modular construction methods for multifamily development**. 2007. 107 leaves S M in Real Estate Development Massachusetts Institute of Technology

CELANI, G. et al. A gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura. **Conexão - Comunicação e Cultura**, v. 5, n. 10, 2010-07-16 2006. Disponível em: < <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/conexao/article/view/222> >.

CELENTO, D. Innovative or Perish: New Technologies and Architecture's Future. In: CORSER, R. (Ed.). **Fabricating Architecture: Selected Readings in Digital Design and Manufacturing**: Princeton Architectural Press, 2010. p.216. ISBN 1568988893.

CIMC. **Key features of V System**. 2014. Disponível em: < http://www.cimc-mbs.com/vdp/info_77.aspx?itemid=325&id=325&cid=10 >.

CLAYTONHOMES. **Clayton Building Solutions** | Commercial, Modular and Prefabricated Construction. 2015. Disponível em: < <http://www.claytonbuildingsolutions.com/modular.cfm> >.

COMPANIES, R. RW **Global Security - Rotondo Weirich**. 2015. Disponível em: < <http://www.rotondoweirich.com/rw-global-security/> >.

DIEZ, R.; V. M. P., M. ABDERRAHIM, C. BALAGUER. 3D Simulator of Modular Building Assembly by Automated Cranes. **ISARC Proceedings**, 2003, IAARC.

DIEZ, R.; ABDERRAHIM, M.; PADRÓN, V. M.; CELORRIO, L.; PASTOR, J. M.; BALAGUER, C. Autmod3: an automatic 3D modularization system. **ISARC Proceedings**, 2000.

DIEZ, R. et al. AUTMOD3: The Integration of Design and Planning Tools for Automatic Modular Construction. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, v. 4, n. 4, 2007. ISSN 1729-8806.

DUARTE, J. P. **Customizing mass housing : a discursive grammar for Siza's Malagueira houses**. 2001. 536 p. Ph D Massachusetts Institute of Technology

_____. **Personalizar a Habitação em Série. Uma Gramática Discursiva para as Casas da Malagueira do Siza**. Fundação Calouste Gulbenkian. Fundação para a Ciência e Tecnologia. Portugal: 2007. ISBN 978-972-31-1181-1.

DUPONTBRASIL. **Um revestimento residencial projetado para fornecer desempenho superior**. 2015. Disponível em: < <http://www.dupont.com.br/produtos-e-servicos/construction-materials/building-envelope-systems/products/tyvek-homewrap-superior-house-wrap.html> >.

FARR, E. R. P.; PIROOZFAR, P. A. E.; ROBINSON, D. **BIM as a generic configurator for facilitation of customisation in the AEC industry**. v. 45, p. 119–125, September 2014 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.012> >.

FIXSON, S. K. What exactly is Product Modularity? The answer depends on who you ask. **MIT Sloan School of Management Working Paper**, v. MIT Sloan School of Management Working Paper, 2007.

FONYAT, M. D. A. R. **A pré-fabricação e o projeto de arquitetura**. Dissertação de mestrado. UFRGS. Porto Alegre, 2013.

FRAJNDLICH, R. U. **MiniMod. Indústria e Paisagem**. Revista aU. Brasil: Pini. 28 2013.

FURUSE, J.; KATANO, M. **Structuring of Sekisui Heim Automated Parts Pickup System (HAPPS) to Process Individual Floor Plans**. 2006 Proceedings of the 23rd ISARC. Tokyo, Japan: 352-356 p. 2006.

GARDINER, J. **Exploring Prefabrication** - International Study of Prefabrication Within Aerospace, Shipbuilding, Automotive and Construction Industries | Architecture Insights. 2009?. Disponível em: <http://architectureinsights.com.au/resources/exploring-prefabrication-international-study-of-prefabrication-within-aerospace-shipbuilding-automotive-and-construction-industries/>

GARRISON, J.; TWEEDIE, A. **Kullman Design Guide**: Kullman Buildings Corp. 2008.

GASSEL, F. V.; RODERS, M. **A Modular Construction System**. How to design its Production Process. RODERS, M. Netherlands: International Conference On Adaptable Building Structures 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas 2010.

GODOI, G. D. **Sistemas Generativos de Projeto: Um Estudo de Campo em Monte Alegre do Sul**. 2008. Dissertação de Mestrado (Mestrado). Biblioteca Digital da Unicamp, Campinas.

GONÇALVES, G. D. G. **A computational interpretation of "De re aedificatoria" for Brazilian historic churches**. 2015. Tese de Doutorado (DOUTOR). Unicamp

GORGOLEWSKI, M. T.; GRUBB, P. J.; LAWSON, R. M. **Modular Construction using Light Steel Framing**. Design of Residential Buildings: The Steel Construction Institute 2009.

GREVEN, Hélio Adão e BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Introdução à coordenação modular de construção no Brasil**: uma abordagem atualizada. (Coleção HABITARE/FINEP). Porto Alegre: ANTAC, 2007.

HEATHER, D. et al. **Building Modules** 2007. Patente: US 2007?0271857 A1

HUANG, C.-H. J.; KRAWCZYK, R. J. **Web Based Bim For Modular House Development**. 3rd Int'l ASCAAD Conference on Em'body'ing Virtual Architecture. Alexandria, Egypt 2007.

JACOBS, K. **The Prefab Decade**. Dwell, 2010. Disponível em: < <https://www.dwell.com/article/the-prefab-decade-3c53c45c> >.

JULARMADEIRAS. **Jular | Casas Pré-Fabricadas**. 2015. Disponível em: < <http://www.jular.pt/produtos/casas-pre-fabricadas> >.

KAMAR et al. Industrialized Building System (IBS): Revisiting Issues of Definition and Classification. **International journal of emerging sciences**, v. 1, n. 2, p. 120-132, 2011. ISSN 2222-4254.

KIERAN, S.; TIMBERLAKE, J. **Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction**. McGraw-Hill Professional, 2003.

KNIGHT, T. W. Shape Grammars in education and practice: history and prospects. 2000. Acesso em: <http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/>.

_____. Computing with Emergence. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 30, p. 125-155, 2003.

_____. **Transformations in design : a formal approach to stylistic change and innovation in the visual arts**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994a. xvii, 258p., ISBN 0521384605.

_____. Shape Grammars and Color Grammars in Design. **Environment and Planning B. Planning and Design**, 1994b. Disponível em: < <http://epb.sagepub.com/content/21/6/705.abstract?id=b210705> >.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. New York: Taylor & Francis, 2003.

KOLAREVIC, B. Between Conception and Production. In: BERNSTEIN, P. e DEAMER, P. (Ed.). **Building (in) the Future: Recasting Labor in Architecture**, 2010. p.216. ISBN 9781568988061.

KONING, H.; EIZENBERG, J. The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses. **Environment and Planning B**, v. 8, p. 295-323, 1981.

KOVEL, J.; KOVEL, J. **Modular construction systems and methods**. 2011. Patente: US 2011/0185646 A1

LAWRENCE, T. T. **Chassis + infill : a consumer-driven, open source building approach for adaptive, mass customized housing**. 2003. Massachusetts Institute of Technology

LAWSON, M.; OGDEN, R.; GOODIER, C. **Design in Modular Construction**. CRC Press, 2014. ISBN 13:978-0-415-55450-3.

LAWSON, R. M. **Building Design Using Modules**. The Steel Construction Institute, 2007. Disponível em: < <http://www.steelconstruction.info/Special:ImagePage> >.

LAWSON, R. M. et al. **Modular Construction using Light Steel Framing: An Architect's Guide**. The Steel Construction Institute 1999.

_____. **Developments in pre-fabricated systems in light steel and modular construction**. 2005. Disponível em: < http://www.academia.edu/1212005/Developments_in_pre-fabricated_systems_in_light_steel_and_modular_construction >. Acessado em 2013.

LEHTONEN, T. **Designing Modular Product Architecture in the New Product Development**. 2007. Doctoral dissertation (Doctore's degree). Tampere University of Technology

LI, A. I. K. **A shape grammar for teaching the architectural style of the Yingzao fashi**. Ph D thesis. Massachusetts Institute of Technology, 2001.

LINNER, T.; BOCK, T. **Evolution of large scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry**. Construction Innovation, Vol. 12 Iss: 2, pp.156 – 178. 2012

LONERGAN, R. **The robotic façade : a design solution for energy conservation in the CityHome of the future**. Master's Degree Massachusetts Institute of Technology. 2011.

LOWE, R. **Homb: Possibilities**. 2010. (0min 31s). Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=RTKQAUM43yI> >

MARCH, L.; STEADMAN, P. **The geometry of environment : an introduction to spatial organization in design**. 1st U.S. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press, 1974. 360 p. ISBN 0262630559.

MAYER, R. **A linguagem de Oscar Niemeyer**. 2003. Dissertação (Mestrado). Arquitetura, UFRGS, Porto Alegre.

_____. **A gramática da habitação mínima : análise do projeto arquitetônico da habitação de interesse social em Porto Alegre e Região Metropolitana**. 2012. Tese (DOUTOR).

MBI. **Permanent Modular Construction. 2011 Annual Report.**: Modular Building Institute 2011.

MCCORMACK, J.; DORIN, A.; INNOCENT, T. **Generative Design: A Paradigm for Design Research.** Futureground Conference Proceedings, 2004, Melbourne. Monash University Press, 2004.

MELLO, Adriana Marotti de ; MARX, R. . **Conhecimento de arquitetura de produto como elemento chave para a manutenção da capacidade inovadora de uma empresa: o caso da indústria automotiva.** In: XIII Simpep 2006 - Simpósio de Engenharia de Produção, 2006, Bauru. Anais - SIMPEP, 2006.

MENDES, L. T. **Personalização de Habitação de Interesse Social no Brasil: o caso da implantação urbana em conjuntos habitacionais.** 2014. Tese de Doutorado (Doutorado). Unicamp, Campinas.

MITCHELL, W. J. Prefácio. In: (Ed.). **Personalizar a Habitação em Série. Uma Gramática Discursiva para as Casas da Malagueira do Siza.** Fundação Calouste Gulbenkian. Fundação para a Ciência e Tecnologia. Portugal, 2007. ISBN 978-972-31-1181-1.

MITCHELL, W. J. **A Lógica da Arquitetura - Projeto , Computação e Cognição.** Editora Unicamp. Campinas: 2008.

MLYNSK, S. **How to grow the city?**, 2012. (3min0s) Disponível em: <<http://vimeo.com/43742781>>. Acesso em: 04/11/2013.

MOGHADAM, M.; A., A.; AL-HUSSEIN, M. **Integrated BIM/Lean Base Production Line Schedule Model for Modular Construction Manufacturing (ASCE).** Construction Research Congress: American Society of Civil Engineers: 1271-1280 p. 2012.

MOHAMAD, A. et al. **Use of modularization in design as a strategy to reduce component variety in one-off projects.** 21st International Group for Lean Construction. Fortaleza-Brasil: 289 p. 2013.

MTECH, C. L. **Waste Reduction Potential of Offsite Volumetric Construction:** Waste & Resources Action Programme.

MULLENS, M. A. and III Kelen, M. E. **Lean Homebuilding using Modular Technology.** Housing and Society, V.31. Pgs: 41-54, 2004

MULLENS, M. A and KELLEY III, M. E. Lean Homebuilding using Modular Technology. **Journal Housing and Society.** Issue 1, V.31, 2004. Page 41-54. Published

online: 09 Jun 2015. DOI: 10.1080/08882746.2004.11430497. Disponível em: <
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08882746.2004.11430497> >

MULLENS, M. A. **Factory Design for Modular Homebuilding**. Constructability Press, 2011. ISBN 0983321205.

NA, L. **Investigation of the designers' and general contractors' perceptions of offsite construction techniques in the united states construction industry**. 2007. (Doctor). Education Career and Technology Education, Clemson University

NAHMENS, I.; IKUMA, L. H. Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding. **Journal of Architectural Engineering**, v. 18, n. 2, 2012.

NASEREDDIN, M.; MULLENS, M. A.; COPE, D. Automated simulator development: A strategy for modeling modular housing production. **Automation in Construction**, v. 16, 2007.

PADRON, V. M.; CARDENAS, O.; DIEZ, R.; ABDERRAHIM, M.; BALAGUER, C. **AUTMOD3: A Planning Tool For Modular Building System**. I.A.A.R.C. - International Association for Automation and Robotics in Construction, 2002. p.91-97.

PIAZZALUNGA, U.; FITZHORN, P. Note on a three-dimensional shape grammar interpreter. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 25, n. 1, p. 11-31, 1998.

PIROOZFAR, P.; PILLER, F. T. Mass Customisation and Personalisation in Architecture and Construction: an introduction. In: PIROOZFAR, P. A. E. e PILLER, F. T. (Ed.). **Mass Customisation and Personalisation in Architecture and Construction**: Routledge, 2013. p.272. ISBN 0415622840.

POTTMANN, H. et al. **Architectural Geometry**. Bentley Institute Press, 2007. 744 ISBN 193449304X.

PRATS, M. **Shape Exploration in Product Design: Assisting Transformation in Pictorial Representations**. 2007. (Ph.D). Department of Design and Innovation, Faculty of Technology, The Open University

ROCHA, C. G. **A conceptual framework for defining customisation strategies in the house-building sector**. 2011. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROSEN, J. **Symmetry Discovered: Concepts and applications in Nature and Science**. New York: 1998.

RWCOMPANIES. **RW Global Security - Rotondo Weirich**. 2015. Disponível em: <
<http://www.rotondoweirich.com/rw-global-security/> >.

SANTOS, L. F. B. S. D. **Sistemas Generativos de Projecto: Integração de Ferramentas Digitais no Projecto de Arquitectura.** Aplicação ao Caso de Estudo: a Casa Pátio da Medina de Marrakech. 2009. (Master). Universidade Técnica de Lisboa

SCHOENBORN, J. M. **Case Study Approach to Identifying the Constraints and Barriers to Design Innovation for Modular Construction.** 2012. 155 (MASTER). Science In Architecture, Faculty Of The Virginia Polytechnic Institute And State University, Blacksburg.

SCHOENWITZ, M.; NAIM, M.; POTTER, A. The nature of choice in mass customized house building. **Construction Management and Economics**, v. 30, n. 3, p. 203-219, 2012.

SCHOENWITZ, M.; NAIM, M.; POTTER, A. The nature of choice in mass customized house building. **Construction Management and Economics**, v. 30, n. 3, p. 203-219, 2012.

SCHREINER, F. R. **Gramática de formas e o mobiliário modular multifuncional : um estudo de caso.** 2009. Dissertação (MESTRADO). UFRGS

SISCOBRAS. **Visitas realizada à empresa.** 2014-2015.

SIT, M. S. SIT :: **Modular Solutions** - Construções e Soluções Modulares, Casas Modulares, Modular Homes, Bungalows, Módulos Pré-fabricados - Catálogo. 2015. Disponível em: < <http://www.siturbandesign.com/modular/pt/catalogo> >.

SKYLABARCHITECTURE. **HOMB High Density** « Skylab Architecture. 2015. Disponível em: < <http://skylabarchitecture.com/work/homb-high-density/#slide1> >. Acesso em: 01/11/2015.

SMITH, R. E. **Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction.** Wiley, 2010b. 400 ISBN 0470275618.

SOUZA, A. F. D.; COELHO, R. T. **Tecnologia CAD/CAM.** Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril. ENEGEP - XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção. Ouro Preto, MG, Brasil 2003.

STAIB, G.; DÖRRHÖFER, A.; ROSENTHAL, M. J. **Components and systems : modular construction : design, structure, new technologies.** 1st. MünchenBasel Switzerland ; Boston: Edition Detail Birkhäuser, 2008.

STINY, G. Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts. **Environment and Planning B.**, v. 7, p. 409-462, 1980.

_____. A Note on the Description of Designs. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 8, p. 257-267, 1981.

STINY, G.; GIPS, J. **Shape grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture**. Holland, Amsterdam: 1460-1465 p. 1972.

TANNEY, J.; LUNTZ, R. **Modern Modular: The Prefab Houses of Resolution: 4 Architecture**. Princeton Architectural Press, 2014. 192 ISBN 978-1-61689-051-3.

TECNOBAGNO - Banheiro Pronto. 2016. Disponível em: <
<http://www.banheiropronto.com.br/tecnologia.html>>.

TERIBELE, A. **Arquitetura com madeira roliça: processo generativo de superfícies e articulações**. 2011. (MESTRADO). Arquitetura, UFRGS, Porto Alegre.

TERRAPIN. **Modular Building System by Terrapin** 2009. (5min03s). Disponível em:
Modular Building System by Terrapin

The RES4 Dwell Home is Born. 2007. (3min40s) Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=Zkb1Grl8Z24>

TODAY, M. Consumer Guide for Modular Home Buyers. 2015. Disponível em: <
<http://www.modulartoday.com/>>.

TREMBLAY, J.-R.; INC., C. P. **Modular construction system** 2010. Patente: WO
2010/142032 A1

ULRICH, K. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research Policy - ELSEVIER**, v. 24, 1993.

VELAMATI, S. **Feasibility, benefits and challenges of modular construction in high rise development in the United States : a developer's perspective**. 2012. 102 p. (chiefly col.) S M in Real Estate Development Massachusetts Institute of Technology, Program in Real Estate Development in Conjunction with the Center for Real Estate

VERBUSSYSTEMS. **Verbus Systems Design Manual**. Londres 2009.

VIBÆK, K. S. **System structures in architecture: constituent elements of a contemporary industrialised architecture**. 2012. Schools of Architecture, The Royal Danish Academy of Fine Arts

VOORDIJK, H.; MEIJBOOM, B.; HAAN, J. D. Modularity in supply chains: a multiple case study in the Construction industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 6, 2006.

WANG, Y. **3D architecture form synthesizer**. 1998. 72 leaves M s Massachusetts Institute of Technology

WANG, Y.; DUARTE, J. P. Automatic generation and fabrication of designs. **Automation in Construction**, v. 11, n. 3, p. 291–302, April 2002 2002. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805\(00\)00112-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805(00)00112-6) >.

WEIRICH, R. Homepage - **Rotondo Weirich**. 2015. Disponível em: < <http://www.rotondoweirich.com/> >.

WILLIS, D.; WOODWARD, T. Diminish Difficulty: Mass Customization and the Digital Production of Architecture. In: CORSER, R. (Ed.). **Fabricating Architecture: Selected Readings in Digital Design and Manufacturing**: Princeton Architectural Press, 2010. p.216. ISBN 1568988893.

WOUDHUYSEN, J.; KIERAN, S.; TIMBERLAKE, J. Mass Customization and Manufacture Module. In: CORSER, R. (Ed.). **Fabricating Architecture: Selected Readings in Digital Design and Manufacturing**: Princeton Architectural Press, 2010. p.216. ISBN 1568988893.

YORKON. **A Guide To Off-Site Construction and Procuring a Steel Framed Building** 2007.

YORKON. **Yorkon Design Guide 2012**. Londres, 2012

_____. **Exploding The Myths Of Modular Construction. Find out the facts in this myth-busting report**. Yorkon. 2013

APÊNDICES

APÊNDICE A – DISCUSSÃO DO TAMANHO DO MÓDULO E OS LOCAIS DOS PONTOS DE JUNÇÃO

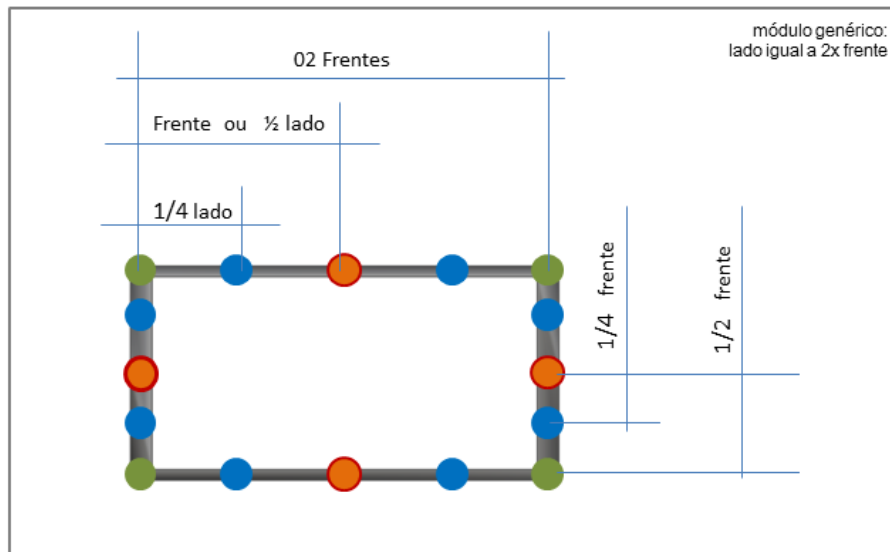
Nesta etapa, os módulos são desenhados com todas as posições dos tipos de junções identificados. Isso é feito para módulos com duas dimensões cada, no caso do retângulo e do trapézio: um com medidas do lado múltiplos da frente e o outro sem essa relação. No triângulo, foi feito somente com uma dimensão padrão, pois a base utilizada para o mesmo é triângulo equilátero. O objetivo é verificar se há posições coincidentes para diferentes tipos de junções. Analisou-se a localização de cada junção nos arranjos compositivos da 1° face de geração, para os 3 tipos de prismas.

No prisma retangular, os pontos de junção foram analisados considerando duas situações de dimensões dos módulos: a) com lado maior que 2 vezes a largura da face frontal e, b) lado igual ao dobro da frente do bloco. A aplicação da rotação definiu junção dos módulos alinhando face lateral de um deles com face frontal de outro. A aplicação da translação considerou deslocamento de $\frac{1}{2}$ vão para composições lado a lado e $\frac{1}{4}$ do vão para composições de empilhamento. As Figuras 108 e 109 ilustram esta etapa. Na segunda fase de geração formal, as composições que podem resultar em pontos diferentes aos gerados na 1° fase são obtidos na matriz F_4, onde há face lateral combinado com face formal mais parte de face lateral.

No prisma trapezoidal, observaram-se, além da junções nos vértices do prisma, os locais dos pontos de junção nas composições com rotação e translação de um módulo em relação a outro. Na rotação, há duas situações: frente maior junto ao canto da frente maior do outro módulo e, face menor rotacionada e unida ao canto próximo à frente menor do prisma. A translação foi aplicada no valor de $\frac{1}{2}$ vão quando os prismas trapezoidais são combinados lado a lado e/ou frente maior com frente menor. Na combinação de frente menor com frente menor, não foi aplicada translação devido à menor dimensão. Composição unindo frente maior com frente menor é outra alternativa que propicia novos pontos de junção. Na segunda fase de geração, pode-se gerar novo ponto de junção ao unir lado de um prisma com frente menor e frente maior de outro. Esses pontos de junção foram analisados considerando duas situações de dimensões dos módulos: a) com lado maior que a soma da frente menor e frente maior do prisma e, b) lado igual à soma da frente maior com a frente menor do prisma e ambas com medidas múltiplas entre si. As Figuras 110 e 111 ilustram esta etapa.

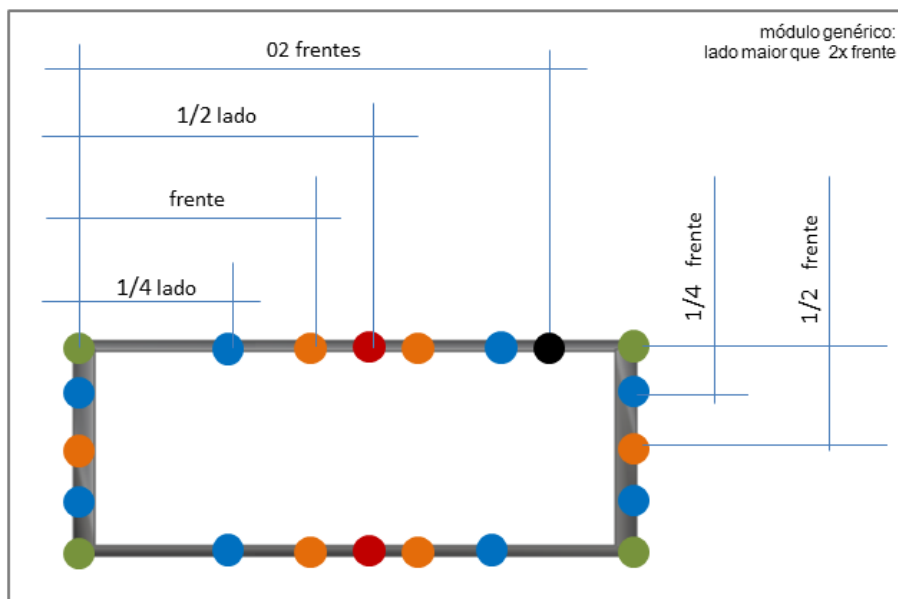
Para o prisma triangular (Figura 112), os pontos foram identificados pelas composições da 1º fase de geração. Mas, como todas as faces laterais possuem iguais dimensões, os pontos ficaram no meio do lado e a $\frac{1}{4}$ do lado, nas duas extremidades de cada face.

Figura 108: Indicação das posições de pontos de junção no módulo (lado dobro frente) para composições - fase 01.



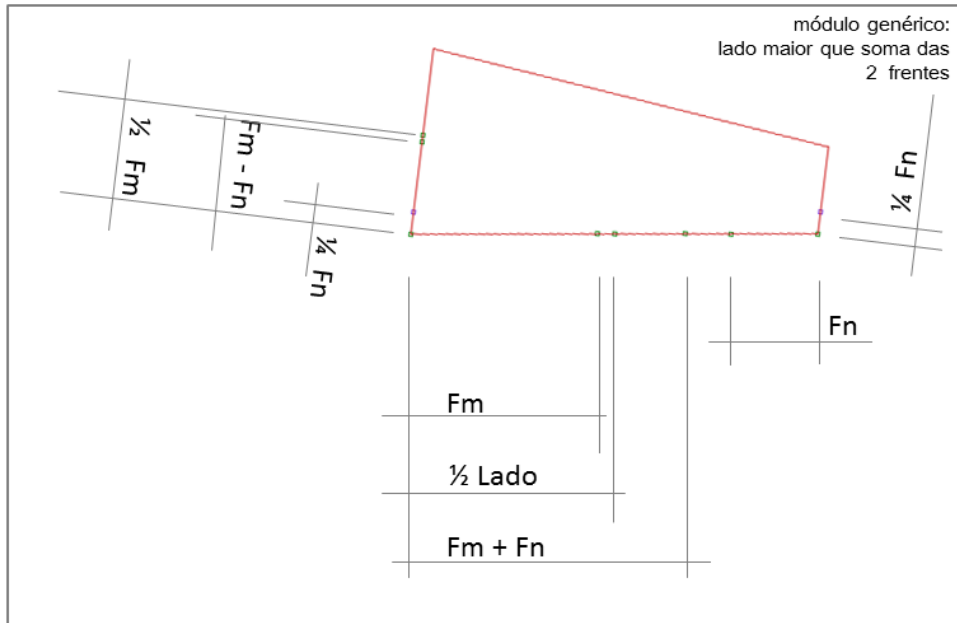
Fonte: Autor

Figura 109: Indicação das posições de pontos de junção no módulo (lado maior dobro frente) para composições - fase 01.



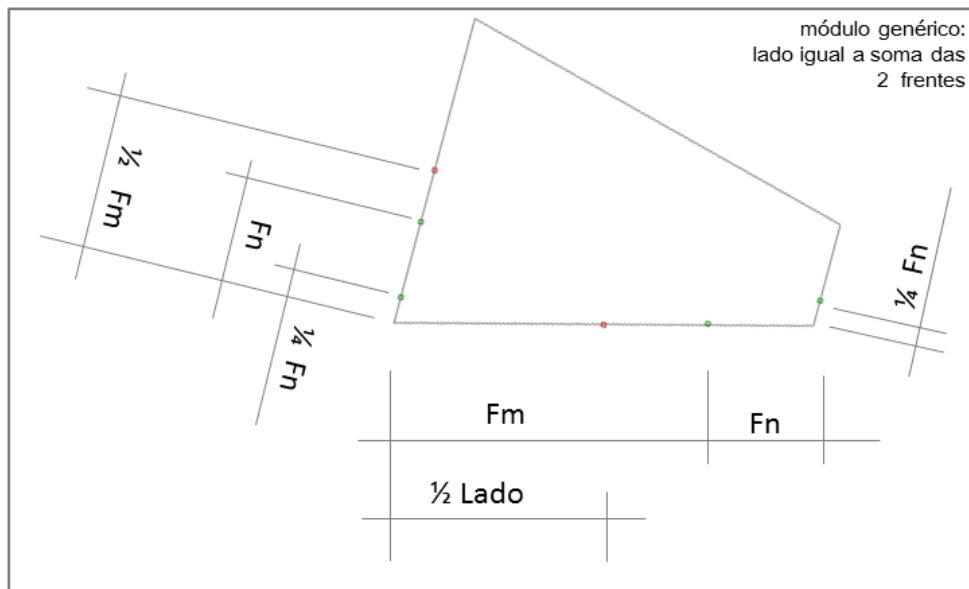
Fonte: Autor

Figura 110: Indicação das posições de pontos de junção no módulo (lado maior que soma das frentes)



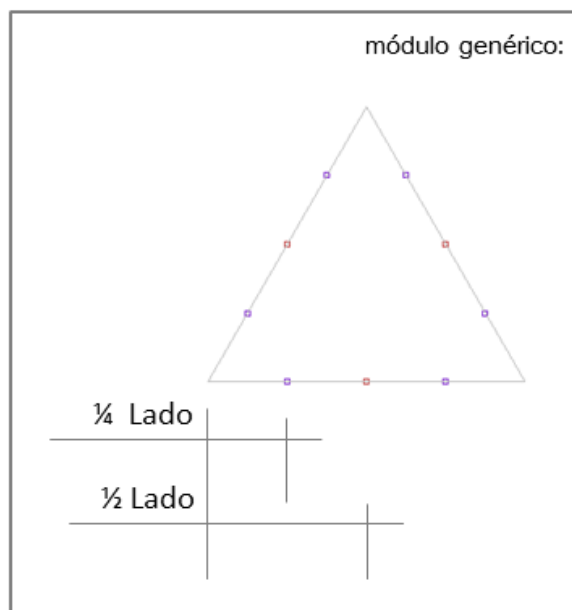
Fonte: Autor

Figura 111: Indicação das posições de pontos de junção no módulo (lado igual a soma das frentes)



Fonte: Autor

Figura 112: Indicação das posições de pontos de junção no módulo.



Fonte: Autor

A posição dos pontos de junção no módulo é influenciada pelo deslocamento aplicado nas regras de translação e pela relação das dimensões da frente e da lateral do módulo. Os deslocamentos utilizados, para composições lado a lado, são de $\frac{1}{2}$ largura da dimensão do módulo, frente e/ou lado. Para empilhamento, o deslocamento é de $\frac{1}{4}$ das dimensões do módulo, conforme o sentido da aplicação da regra. Essas medidas podem ser alteradas pelo projetista, modificando os locais necessários de pinos e/ou furos. Quanto à relação das dimensões da frente com a lateral do módulo, se elas não forem modulares entre si, o número de pontos no módulo precisa ser maior para atender às combinações propostas, diferenciando-se da situação onde lateral é igual ao dobro da frente, isso para prisma retangular. No trapezoidal, quando a soma das frentes é igual à medida do lado, o número de pontos é menor quando não há essa relação de medidas. Pode-se diminuir o número de locais de pontos de junção ainda mais adequando o deslocamento lateral para coincidir com as medidas de uma das frentes, proporcionando coincidência de pontos de junção. No prisma triangular, como todos os lados são iguais, não ocorre diferença da regra de rotação. Para diminuir os locais dos pontos de junção, é necessário prever o deslocamento dos módulos na união e/ou no empilhamento, para que os mesmos coincidam.

Locais de junção no módulo podem ser usados para mais de um tipo de composição quando tiverem os requisitos geométricos necessários e, também, se

permitirem a modulação para que um mesmo ponto atenda a mais de uma possibilidade compositiva. Caso isso não ocorra, vários pontos serão necessários em um mesmo bloco. Isso pode ser facilitado pela relação frente com lateral e também com mesmo deslocamento aplicado nas regras de translação, mas isso pode acarretar em maior balanço ou menor desencontro de blocos posicionados lado a lado. Outra questão a ser observada é se o tamanho do módulo gerado será viável para o transporte do mesmo, visto que há limite dimensional para cada tipo de transporte utilizado bem como as regras são diferentes em cada país e/ou região.

APÊNDICE B – GERAÇÃO FORMAL _ PRISMA RETANGULAR _ 2º FASE

Figura 113: Matriz Combinatória Forma F_1 – Marcador Lado Maior

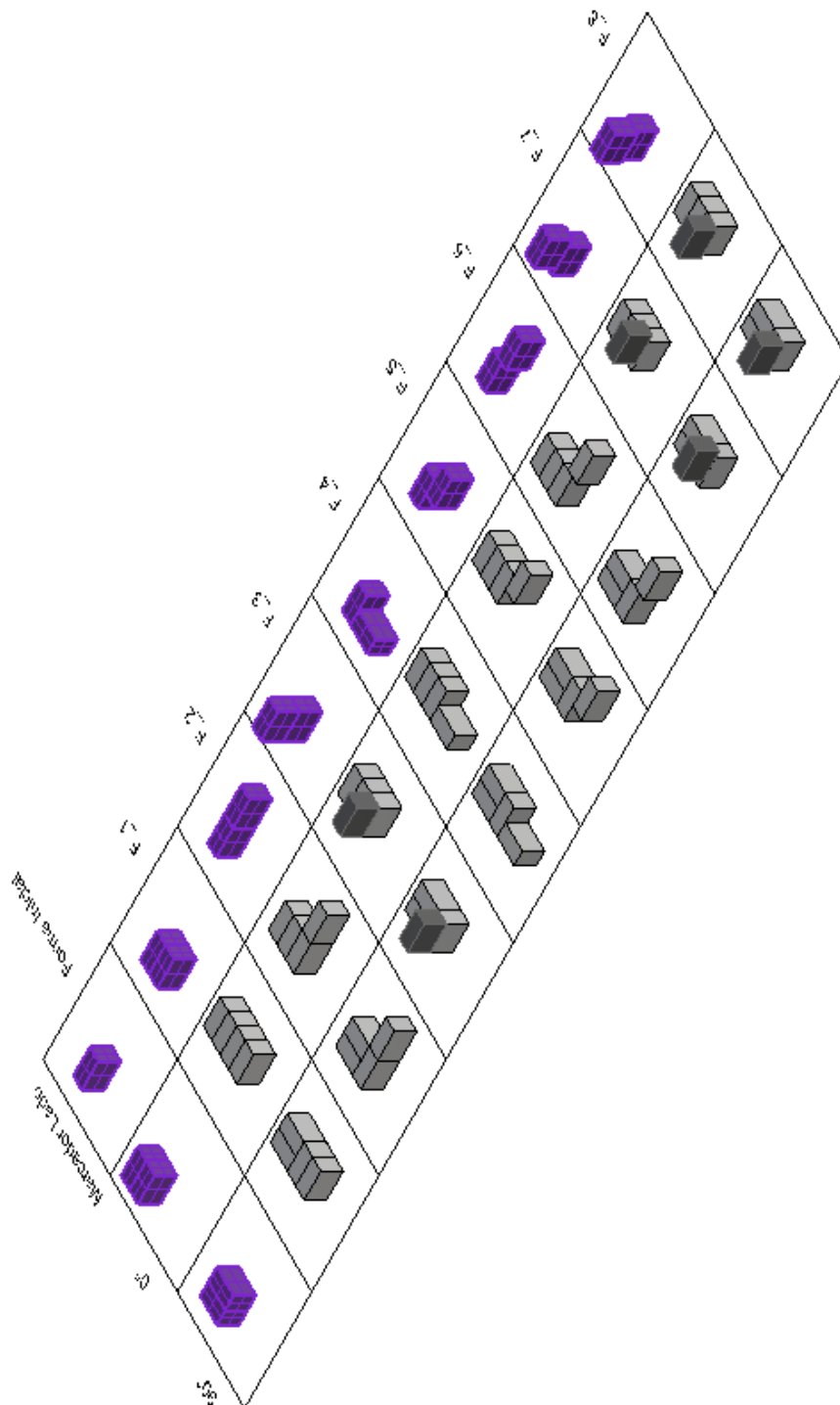


Figura 114: Matriz Combinatória Forma F₂ – Marcador Lado Maior

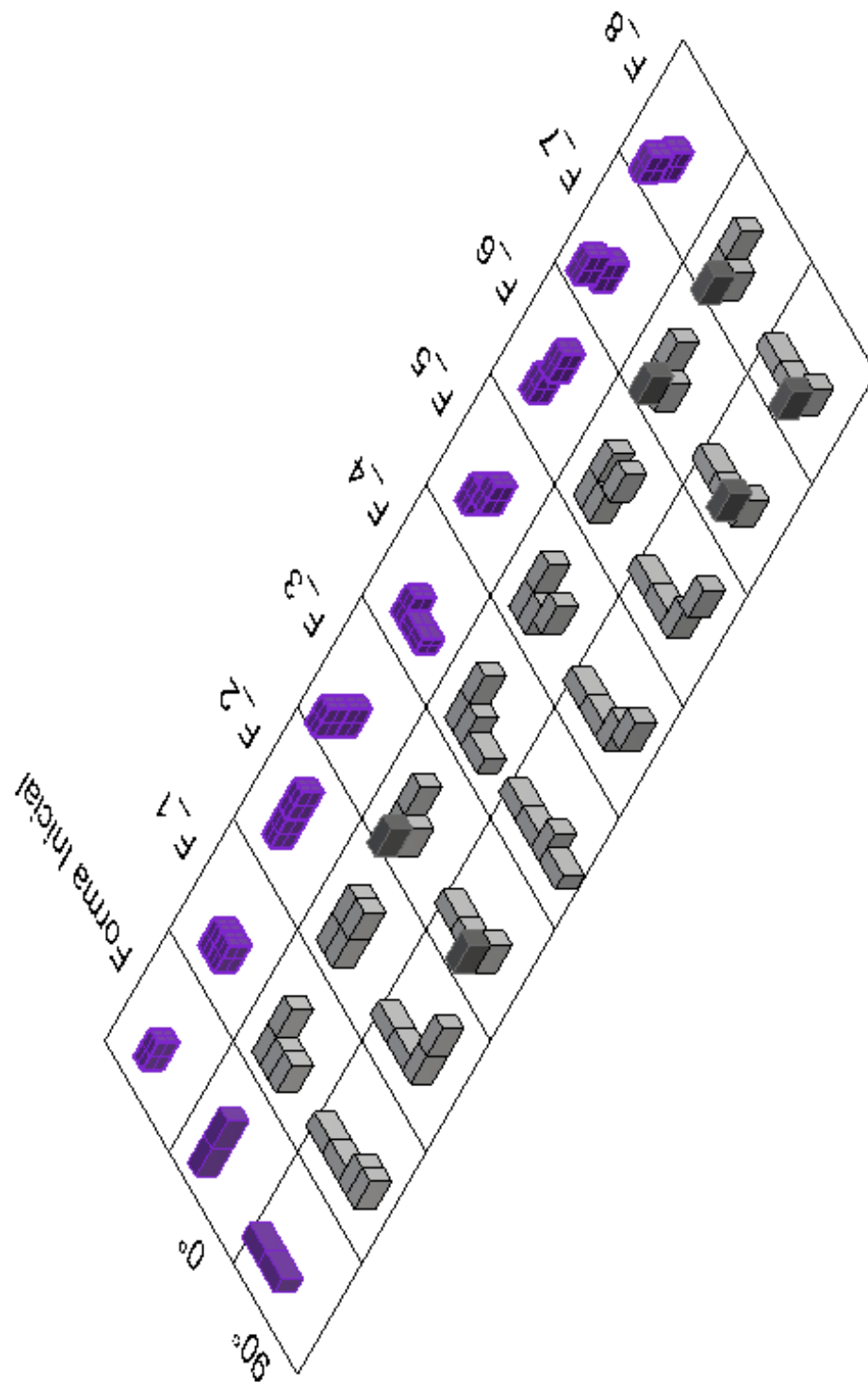


Figura 115: Matriz Combinatória Forma F₃ – Marcador Lado Maior

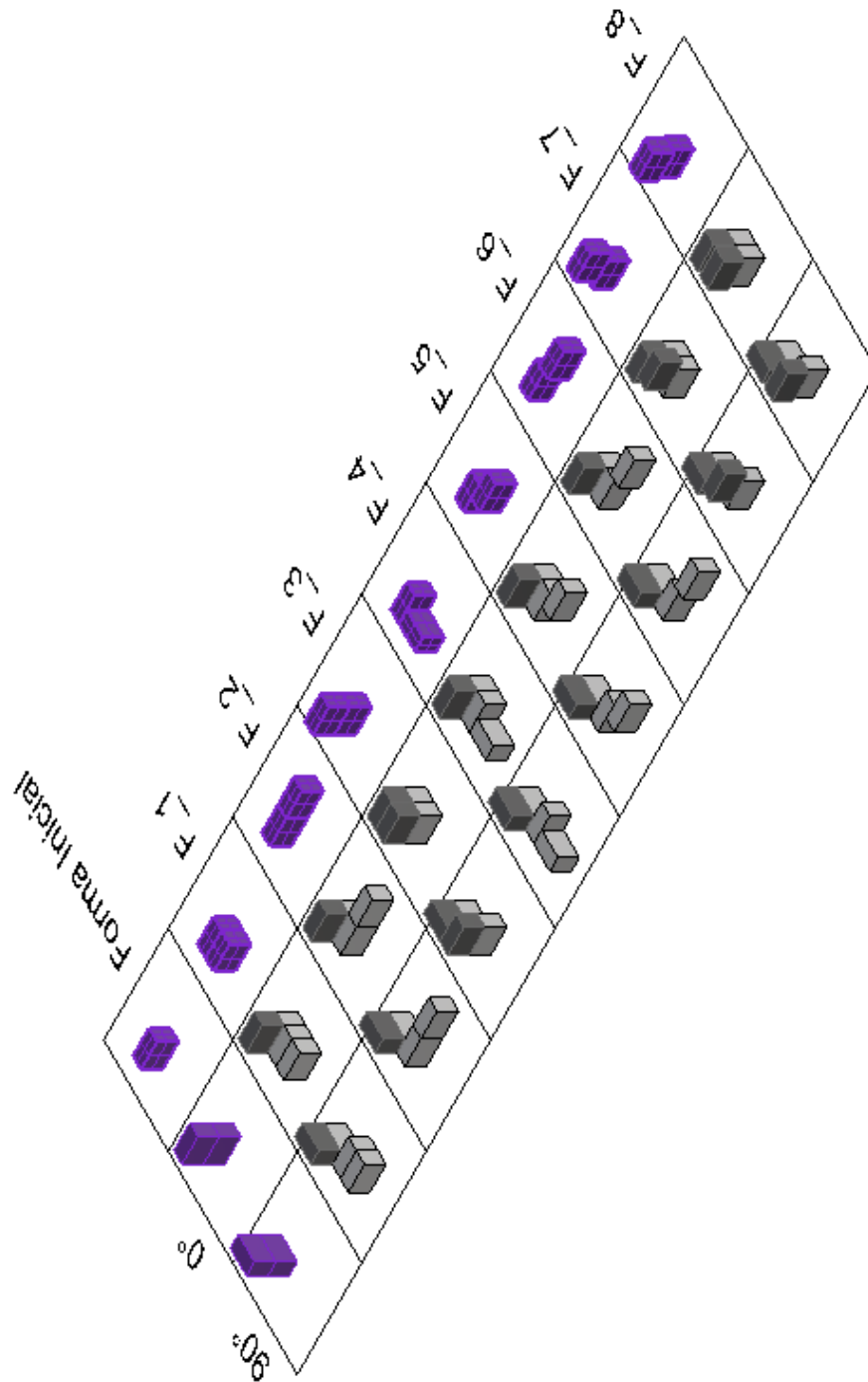


Figura 116: Matriz Combinatória Forma F_4 – Marcador Lado Maior

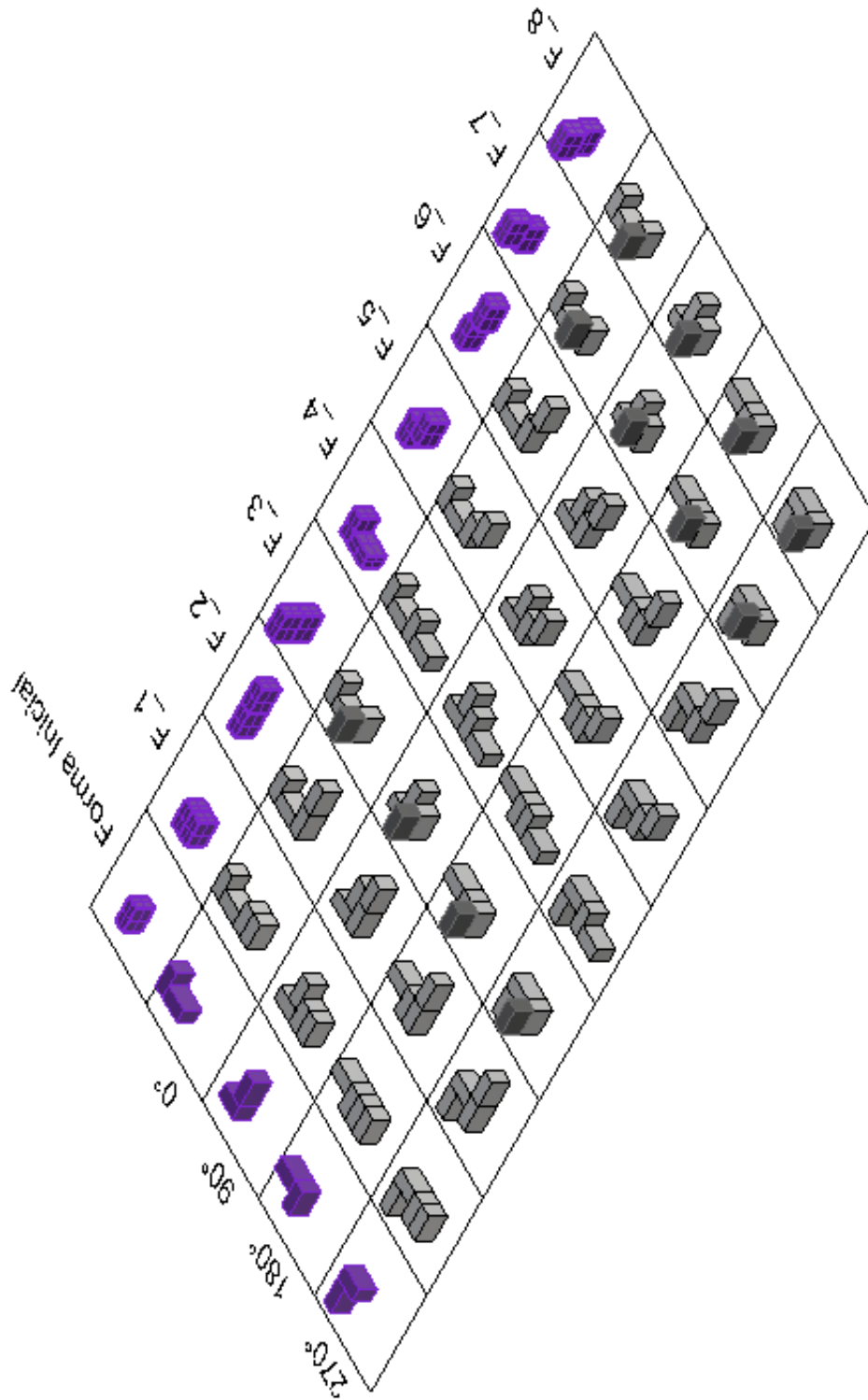


Figura 118: Matriz Combinatória Forma F₆ – Marcador Lado Maior

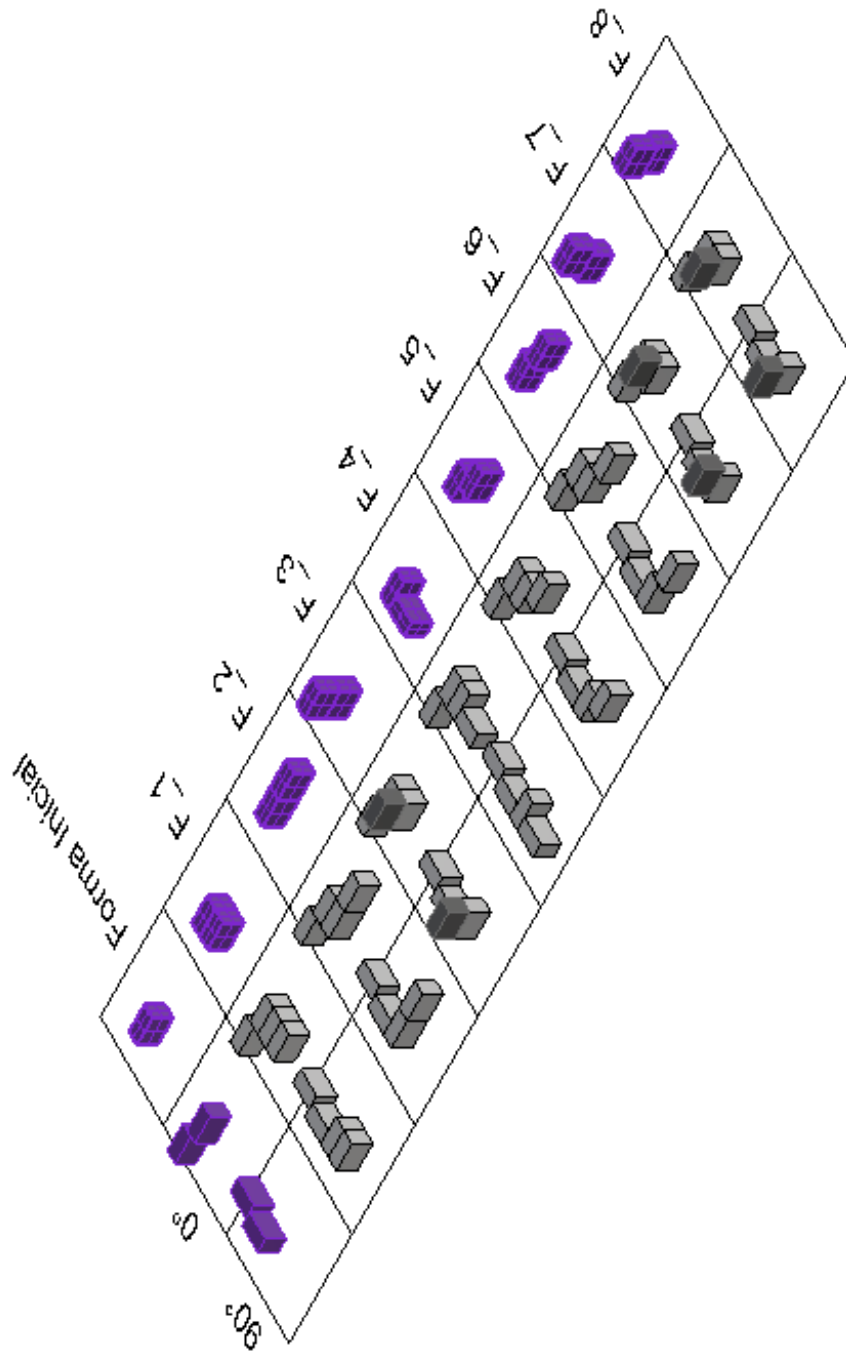


Figura 119: Matriz Combinatória Forma F_7 – Marcador Lado Maior

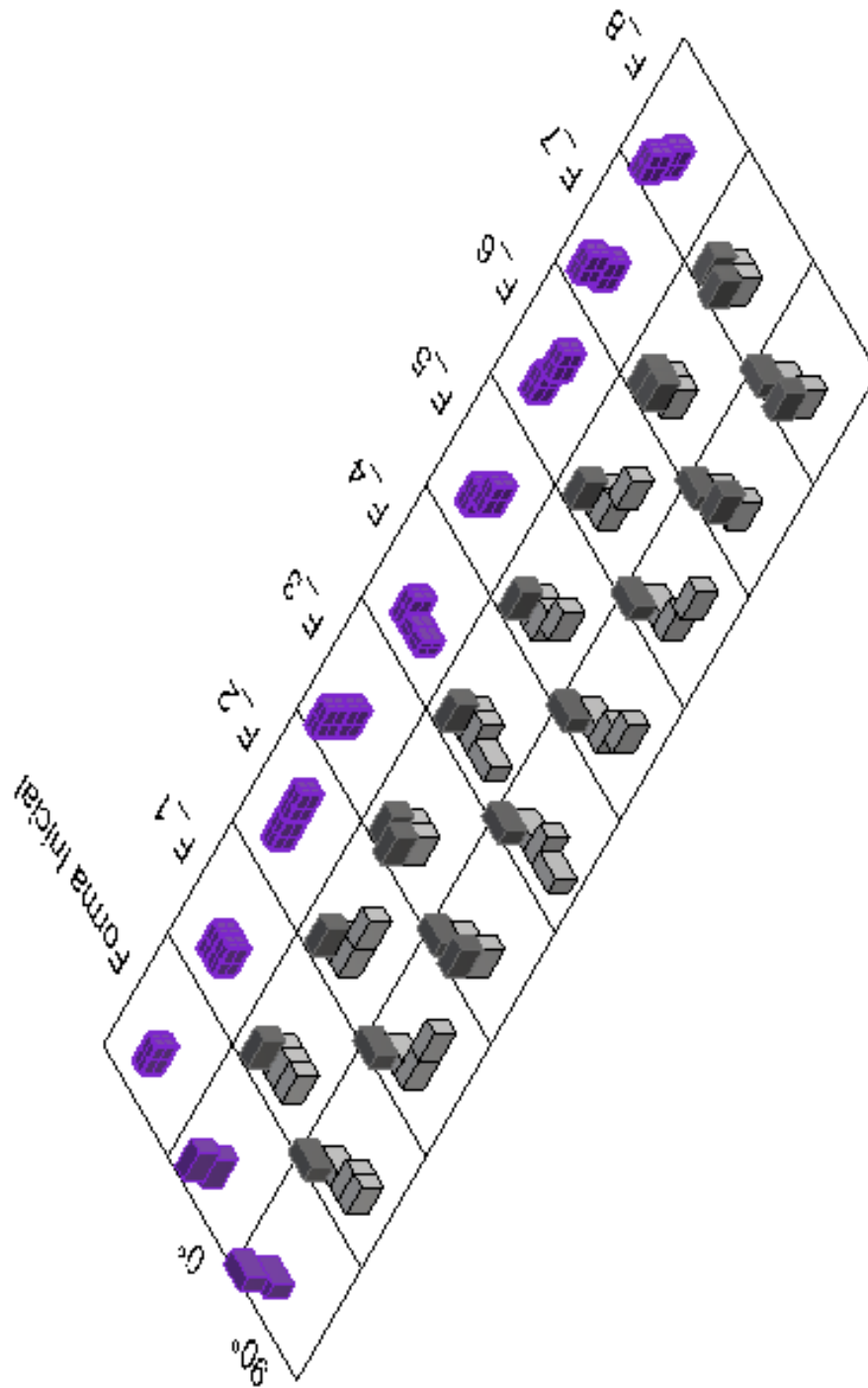
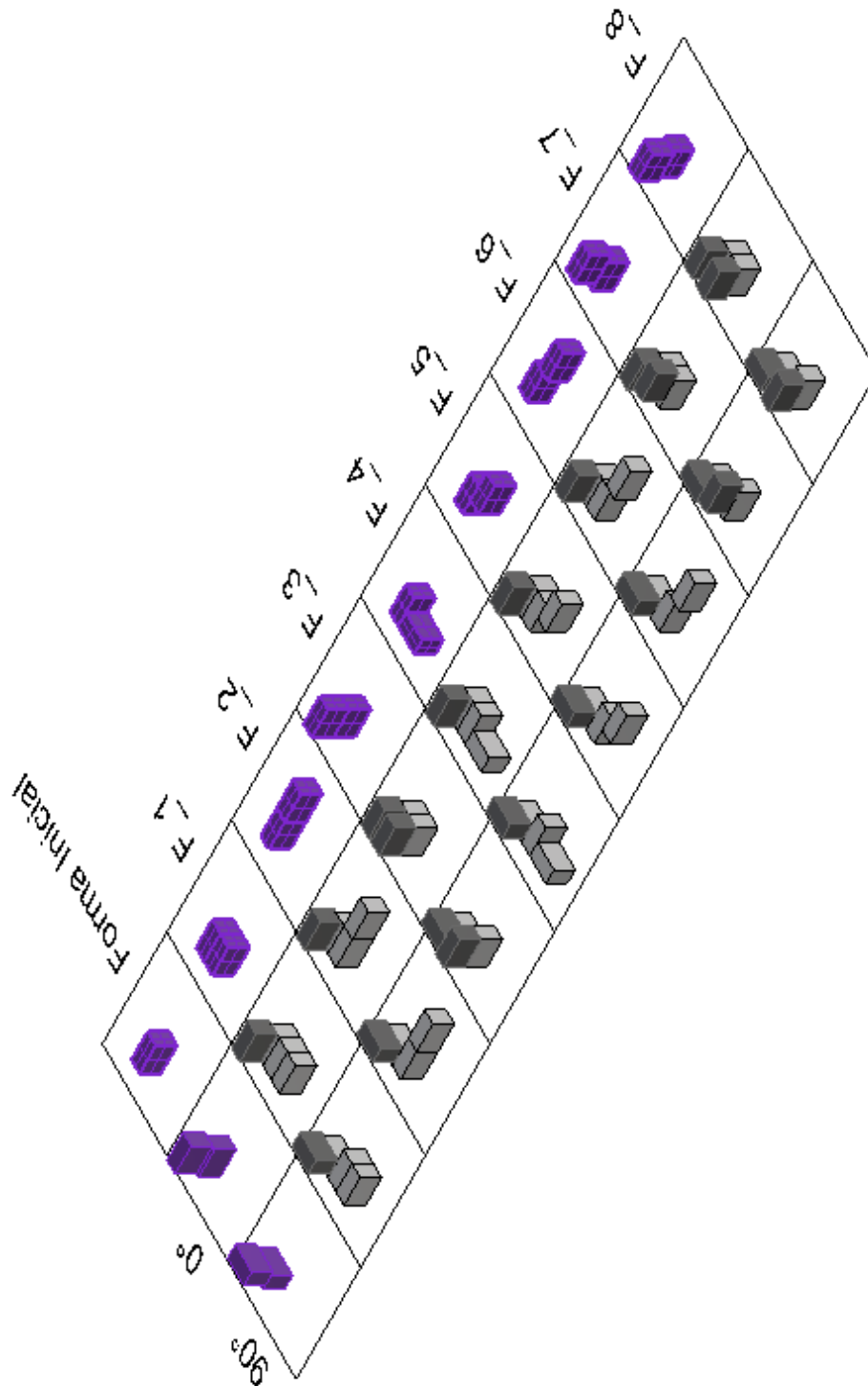


Figura 120: Matriz Combinatória Forma F_8 – Marcador Lado Maior



APÊNDICE C – GERAÇÃO FORMAL _ PRISMA TRIANGULAR _ 2º FASE

Figura 121: Matriz Combinatória Forma F_1 – Marcador Lado

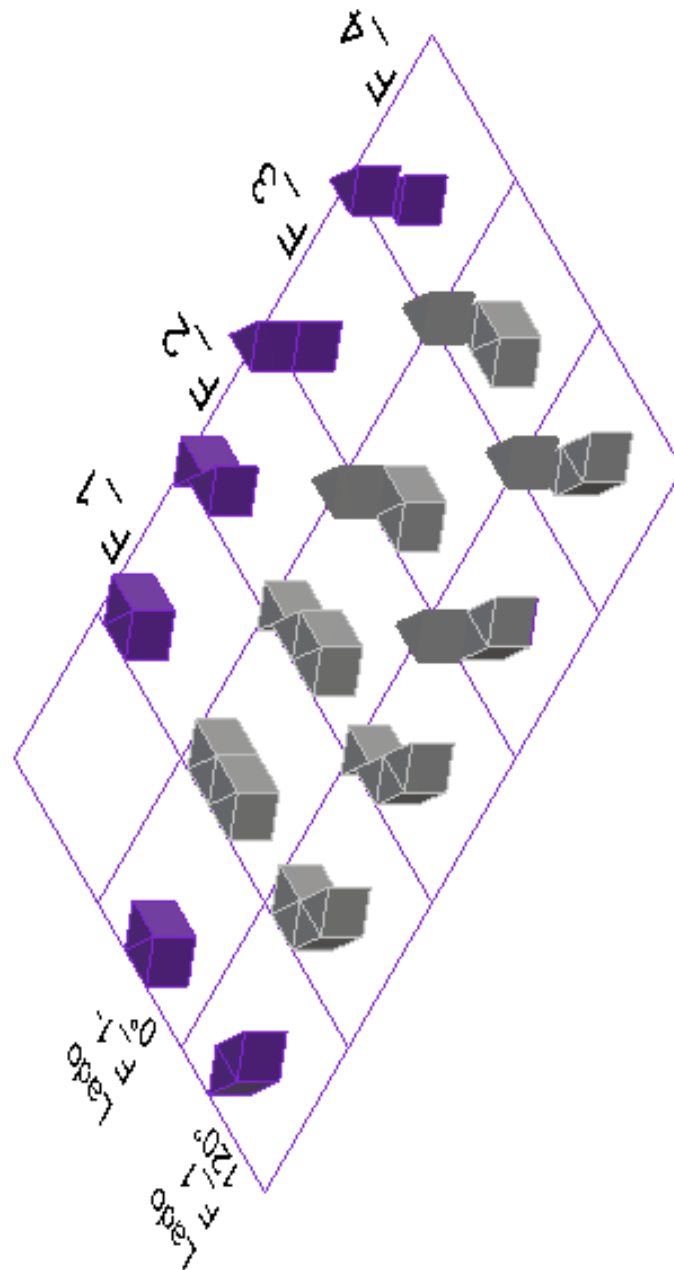


Figura 122: Matriz Combinatória Forma F_2 – Marcador Lado

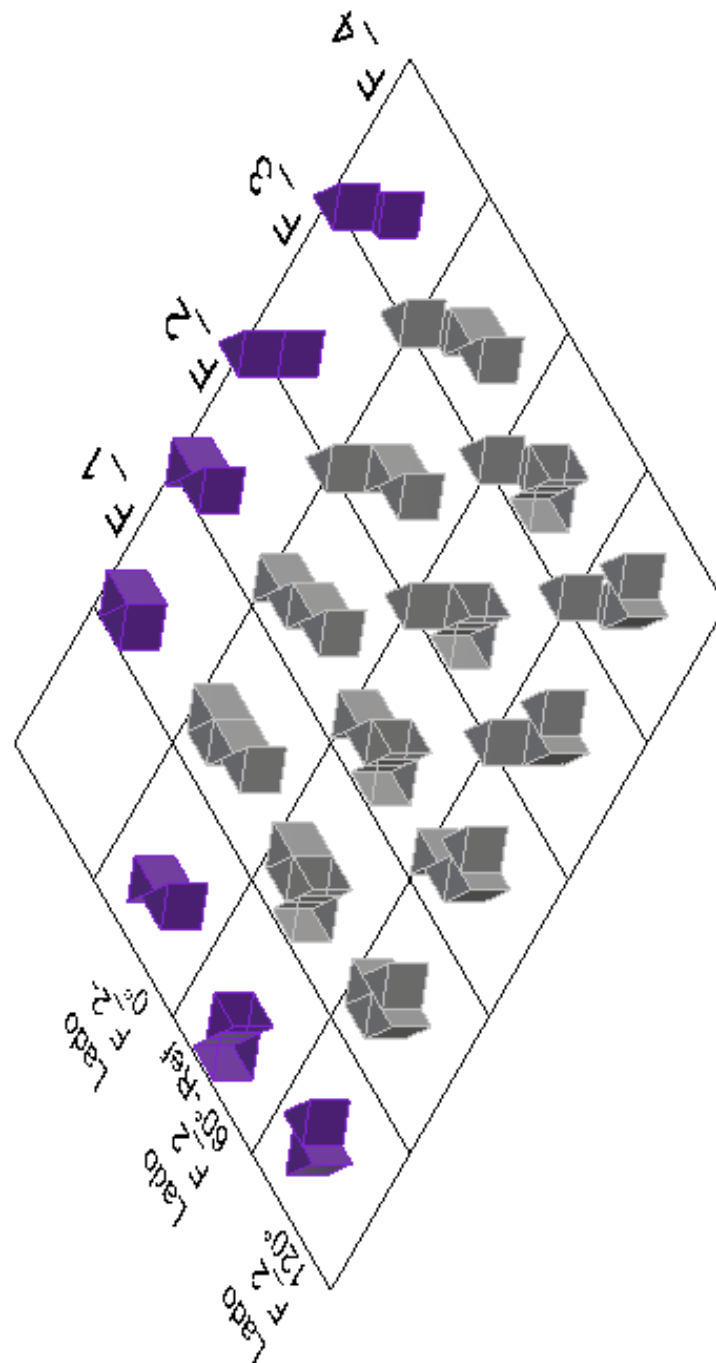


Figura 123: Matriz Combinatória Forma F₃ – Marcador Lado

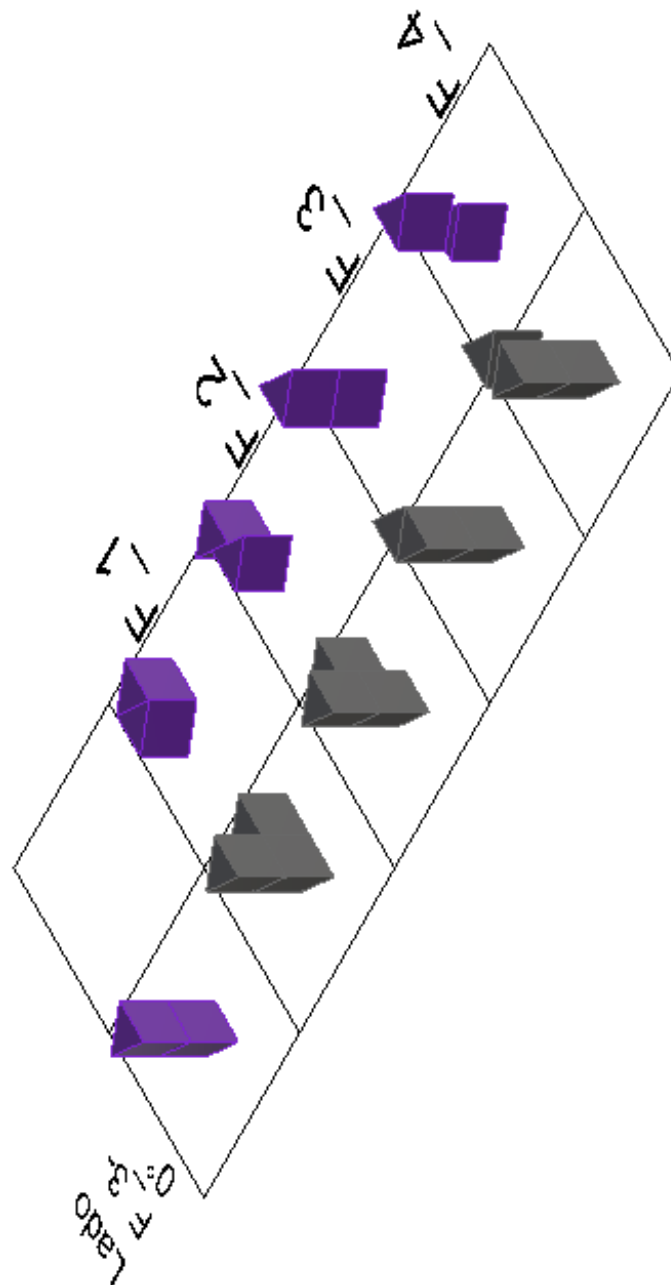
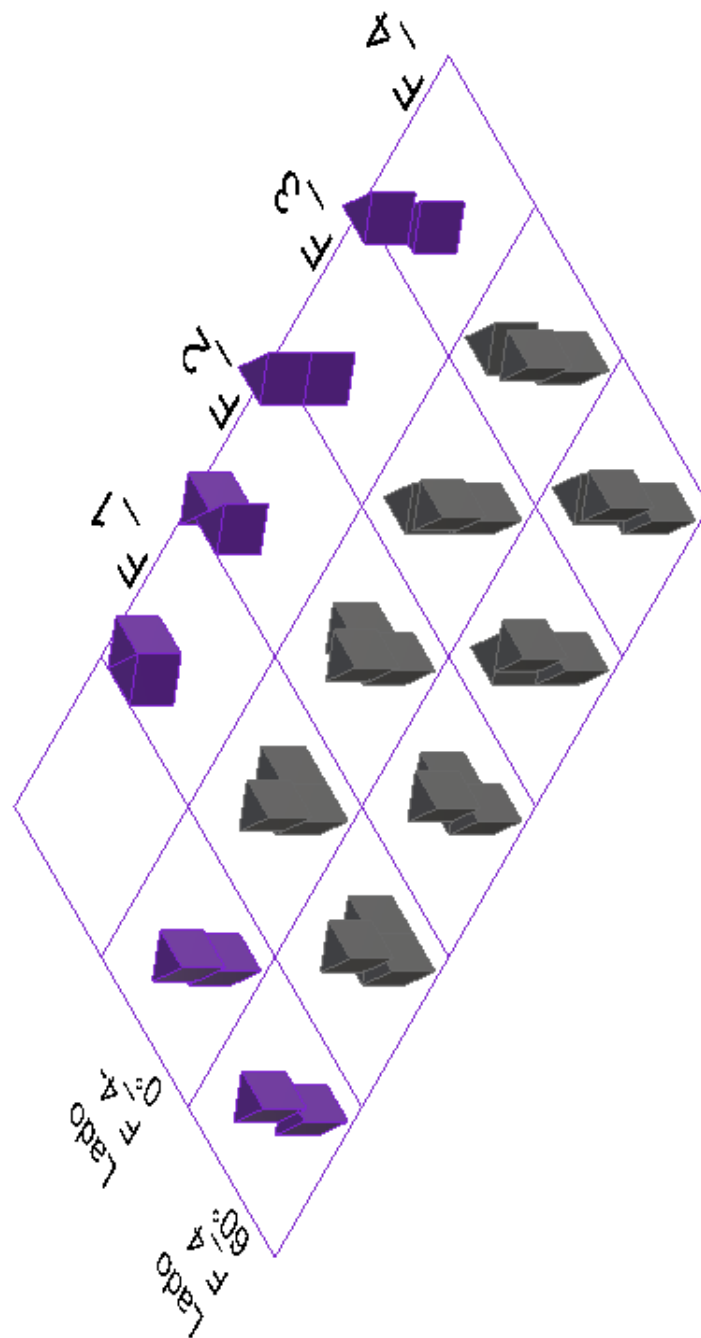


Figura 124: Matriz Combinatória Forma F₄ – Marcador Lado



APÊNDICE D – GERAÇÃO FORMAL _ PRISMA TRAPEZOIDAL _ 2º FASE

Figura 125: Matriz Combinatória Forma F_1 – Marcador Lado

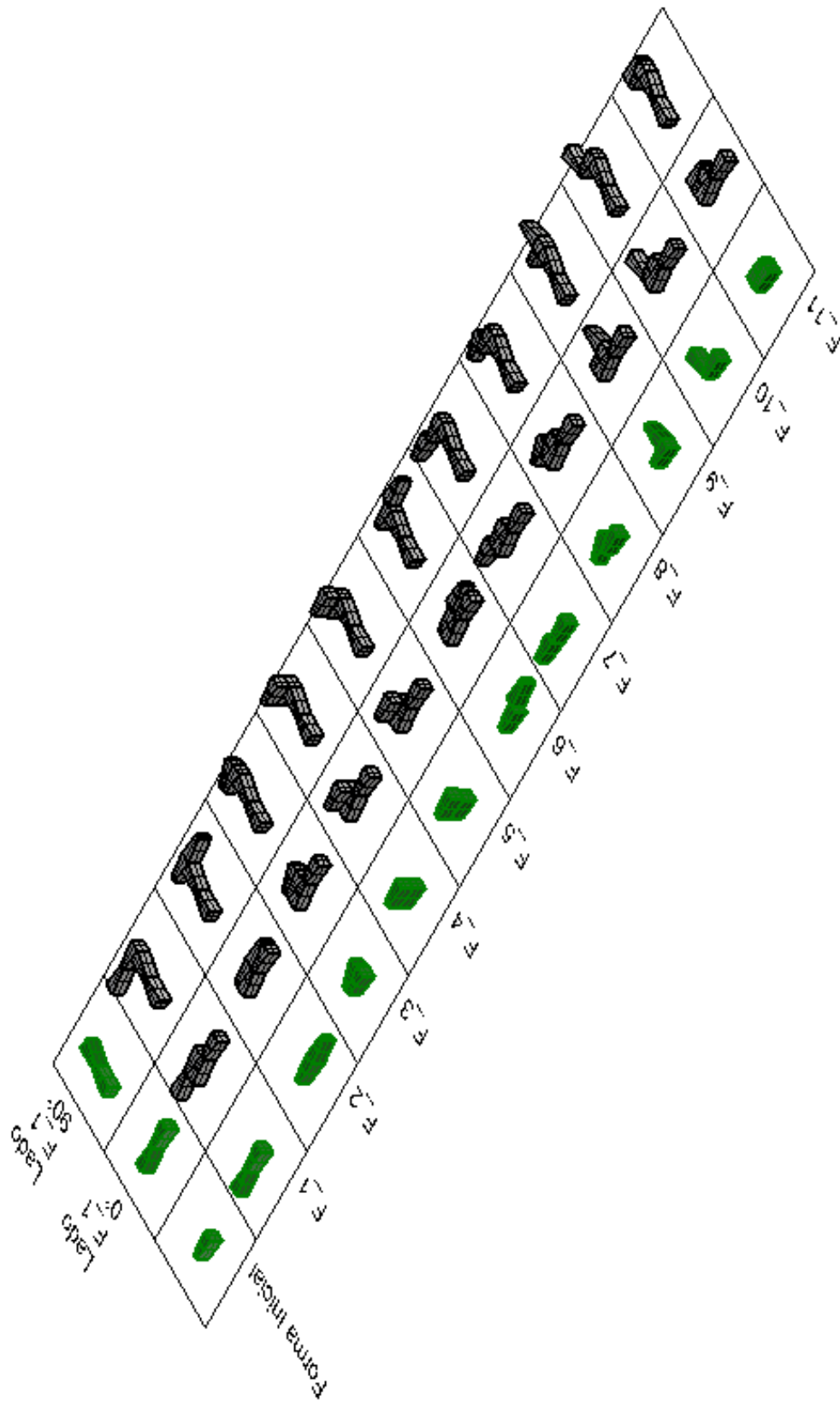


Figura 126: Matriz Combinatória Forma F_2 – Marcador Lado

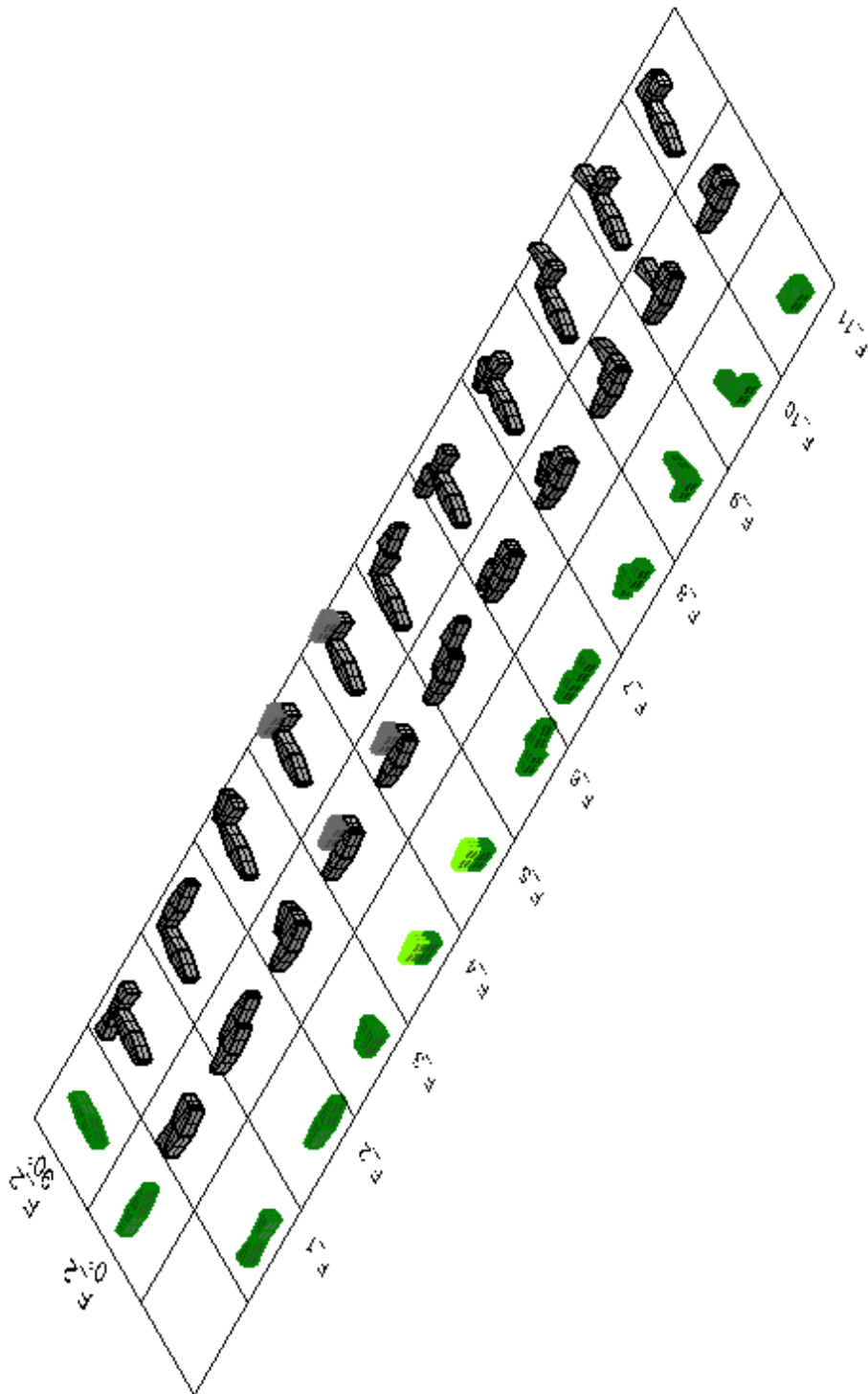


Figura 127: Matriz Combinatória Forma F₃ – Marcador Lado

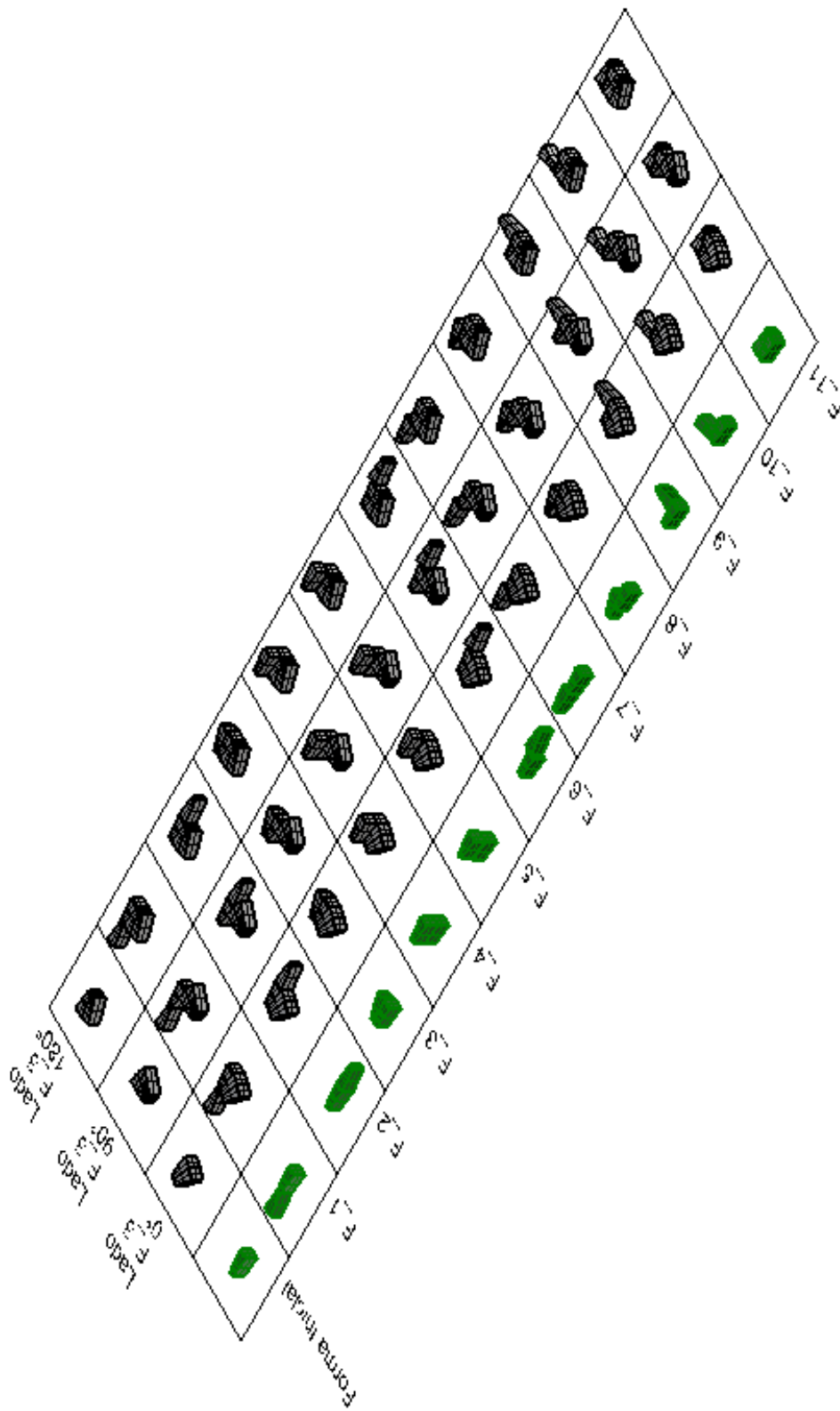


Figura 128: Matriz Combinatória Forma F_4 – Marcador Lado

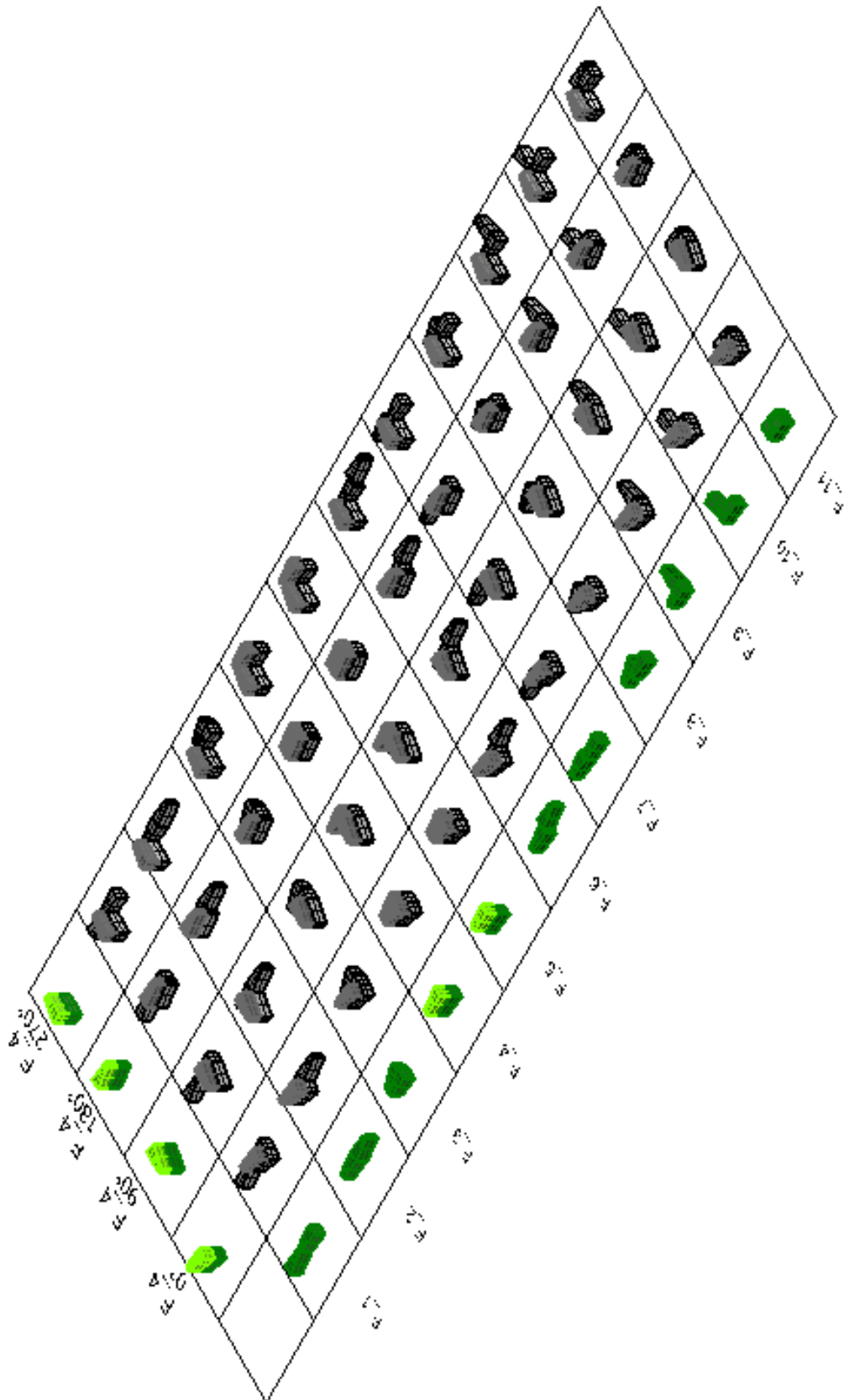


Figura 129: Matriz Combinatória Forma F_5 – Marcador Lado

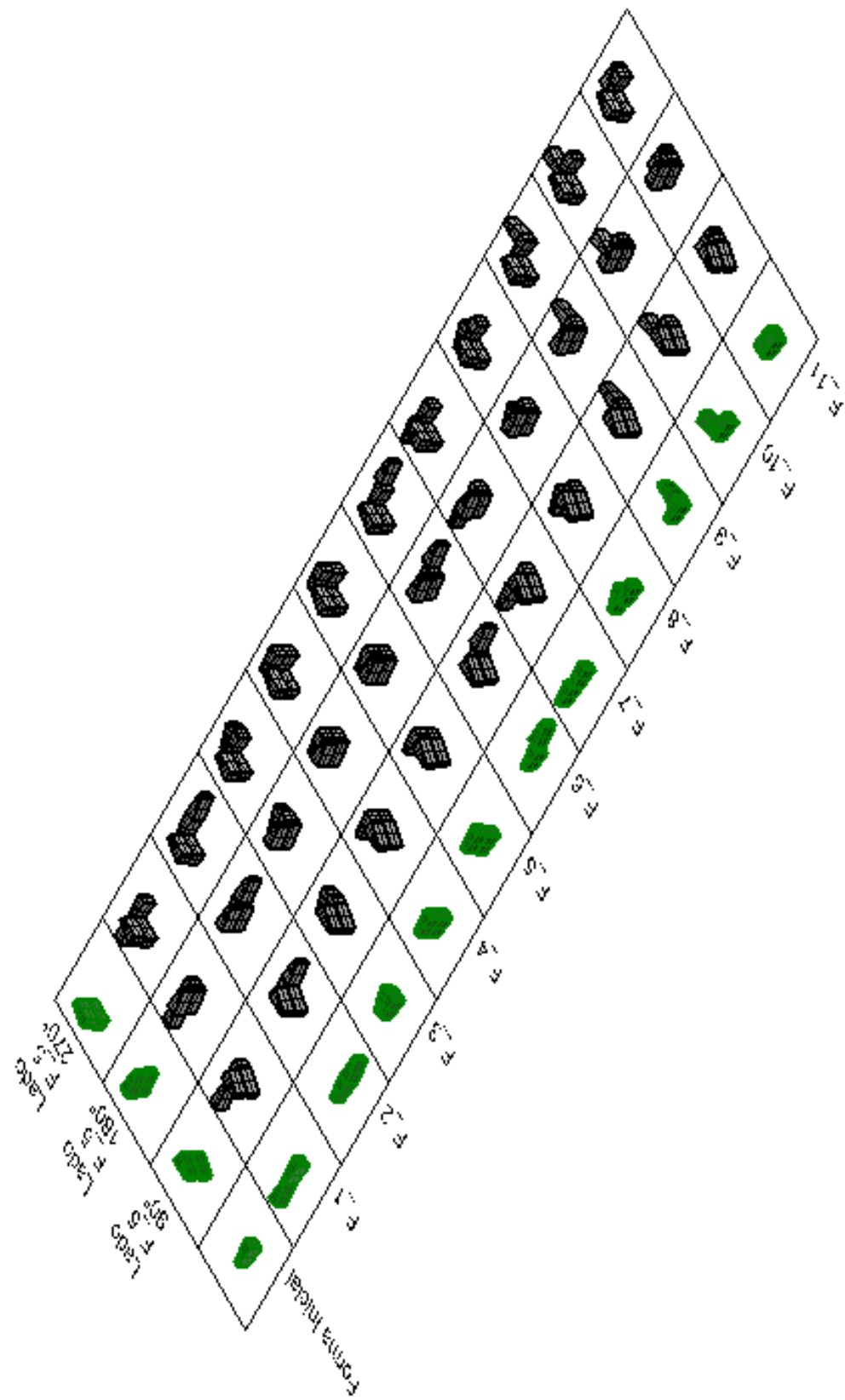


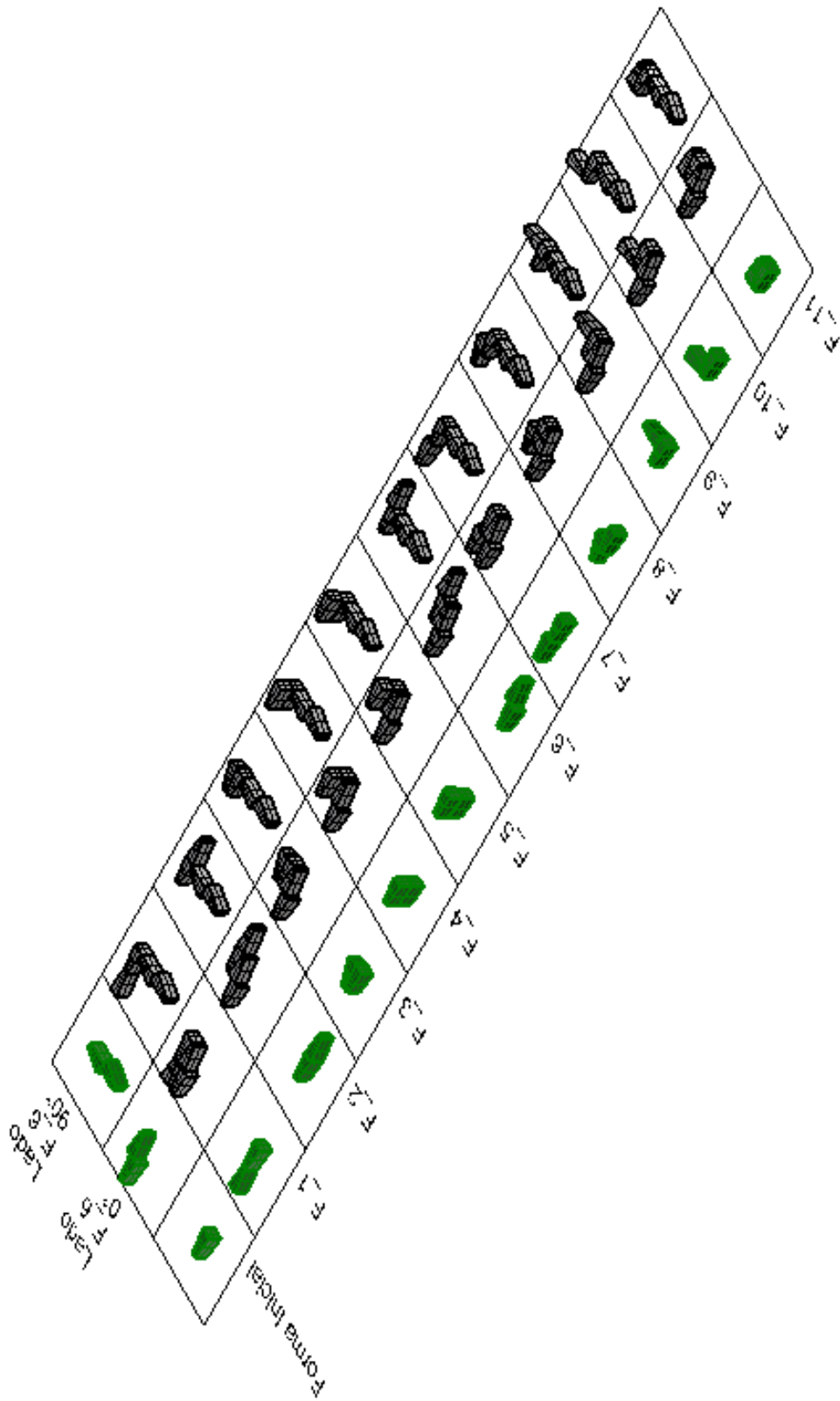
Figura 130: Matriz Combinatória Forma F_6 – Marcador Lado

Figura 131: Matriz Combinatória Forma F_7 – Marcador Lado

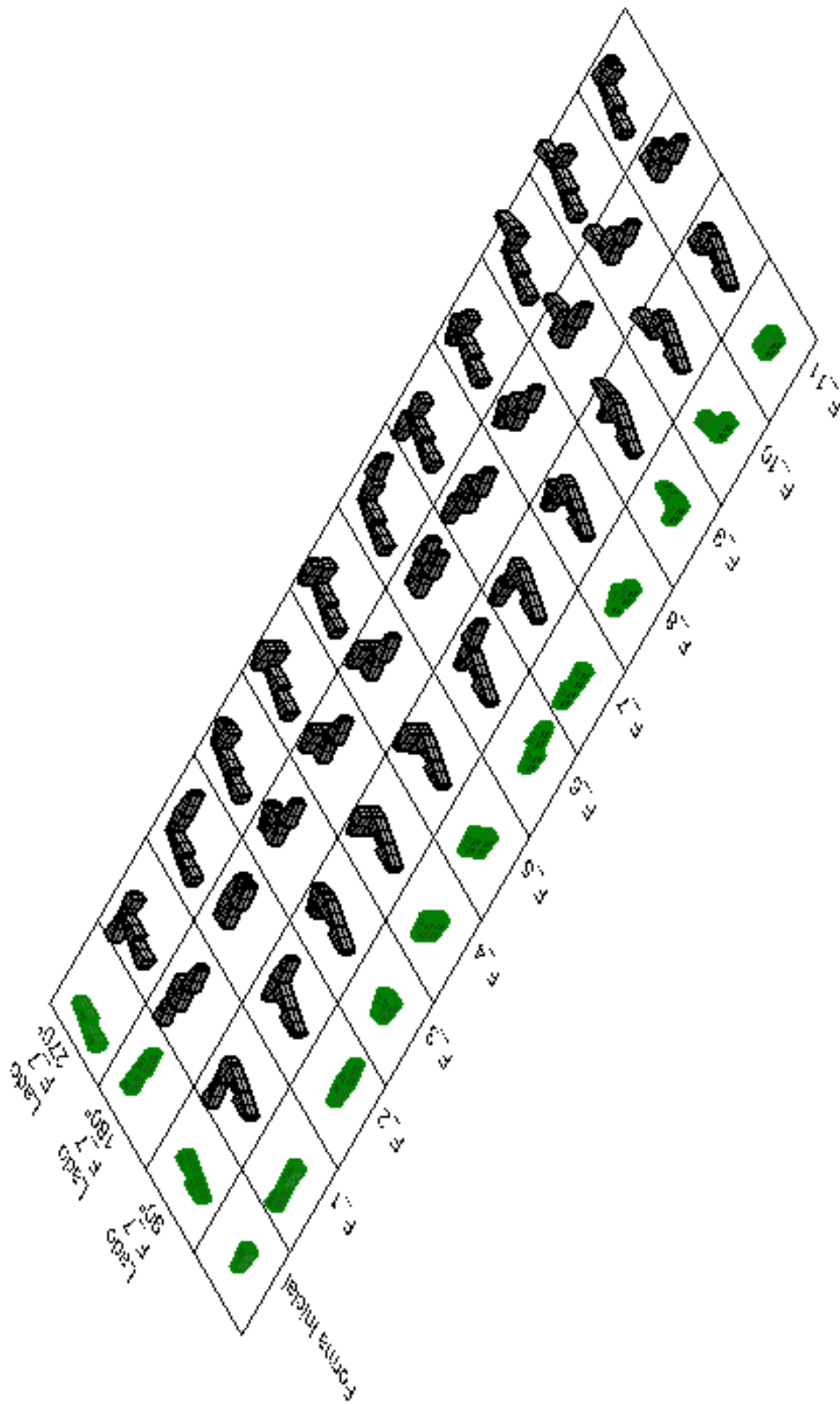


Figura 133: Matriz Combinatória Forma F_9 – Marcador Lado

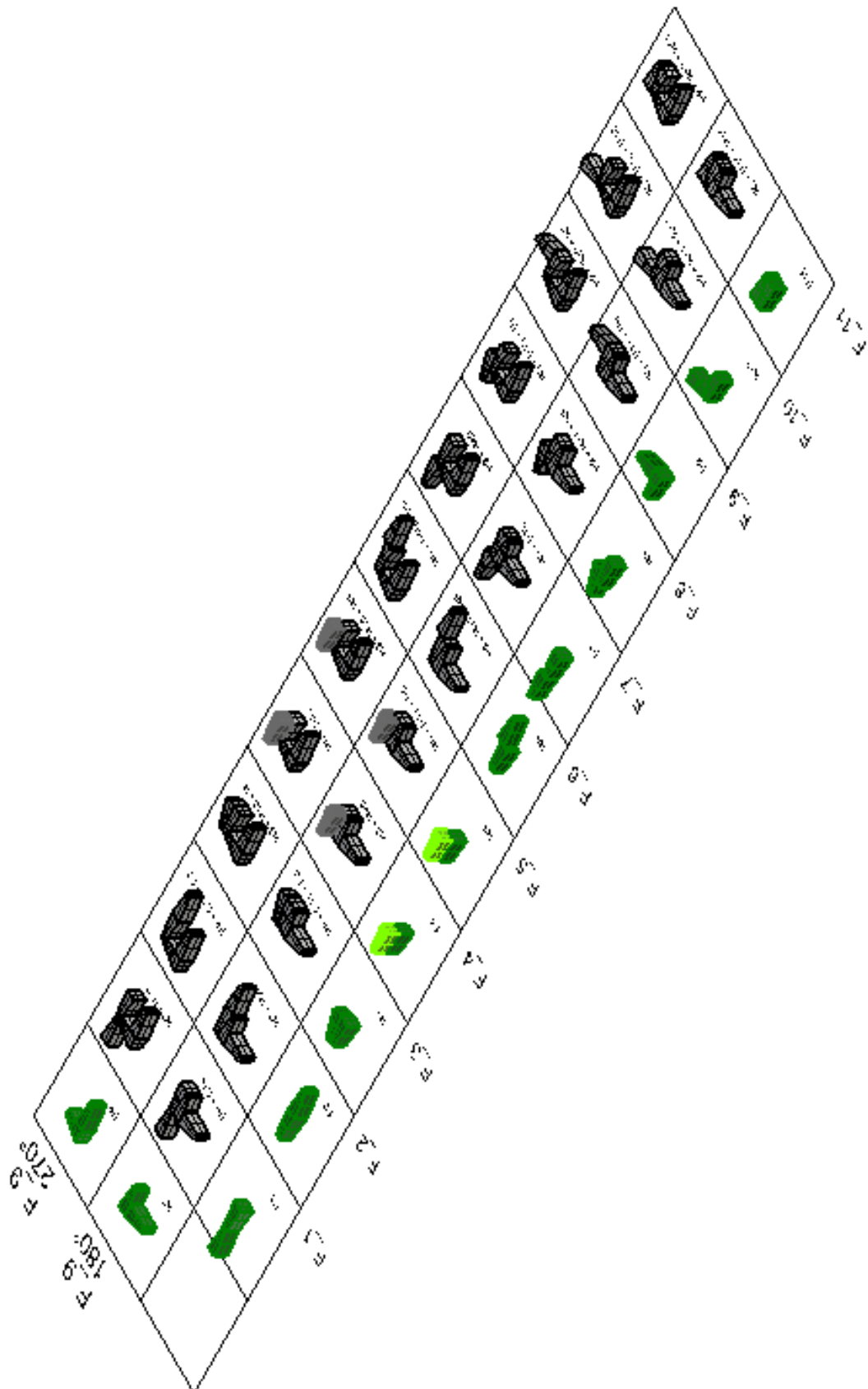


Figura 134: Matriz Combinatória Forma F₁₀ – Marcador Lado

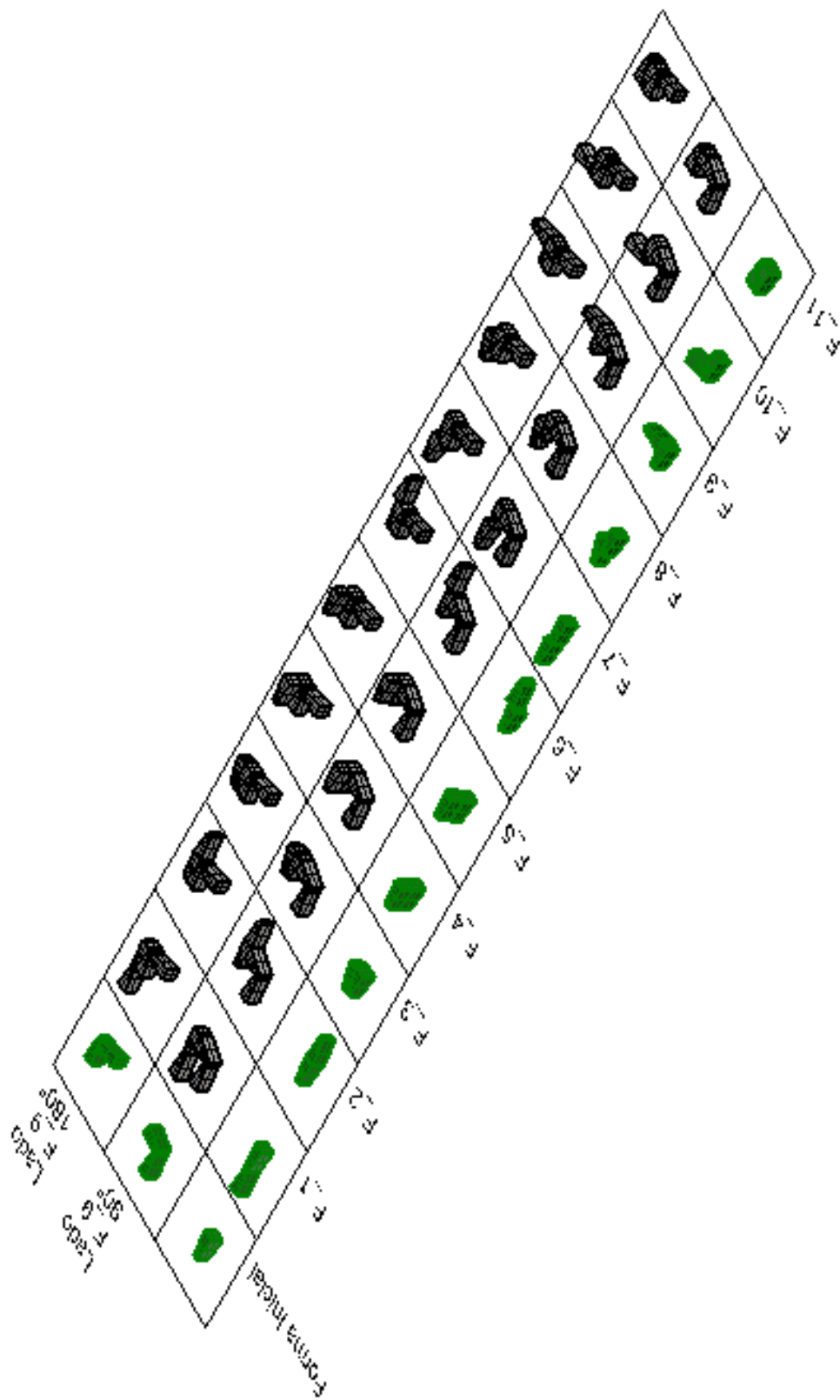
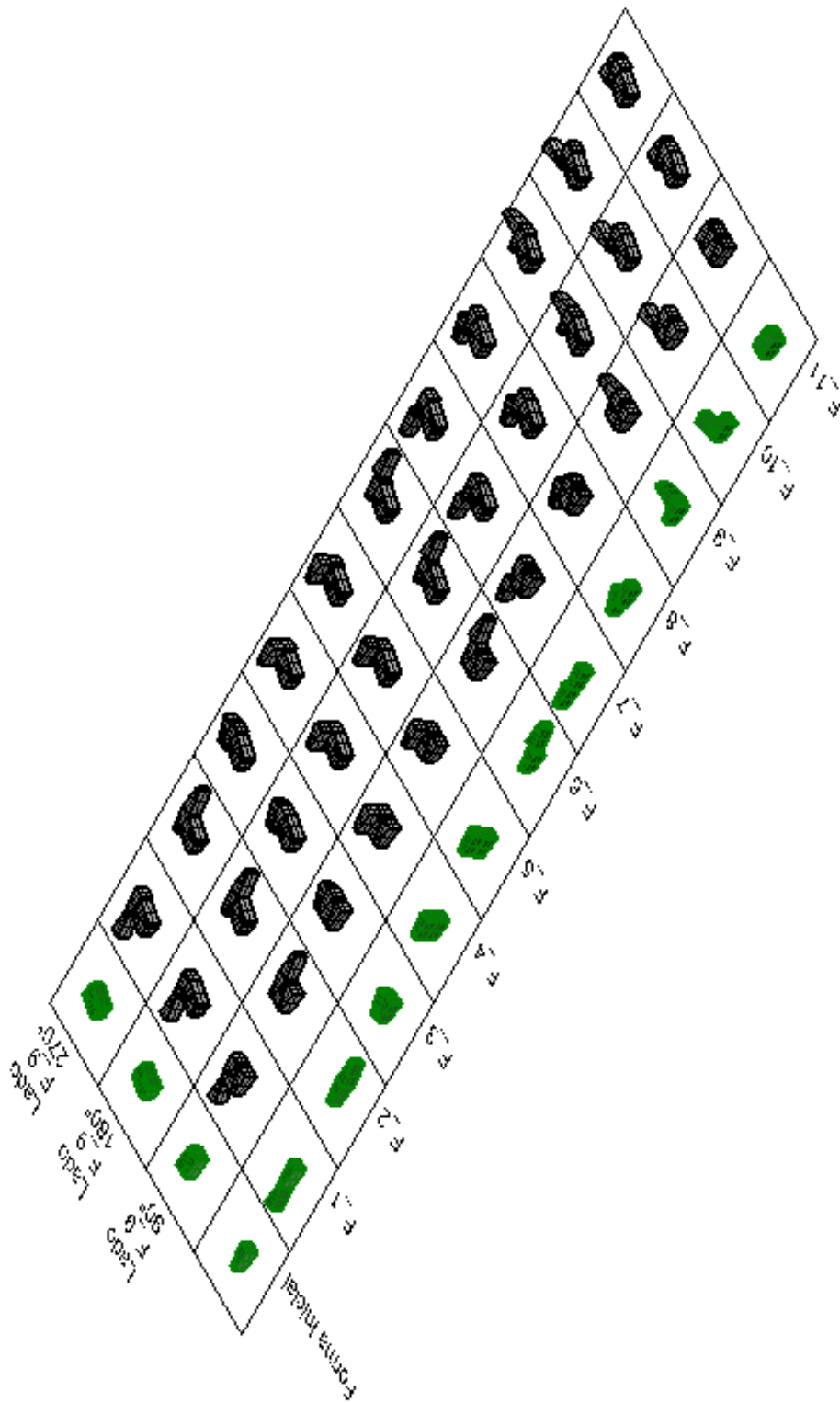


Figura 135: Matriz Combinatória Forma F_11 – Marcador Lado



APÊNDICE E – PADRÕES COMPOSITIVOS NAS MATRIZES
COMBINATÓRIAS DO PRISMA RETANGULAR

Figura 136: Matriz Combinatória (F_1) com indicação das regras.



























	90°	0°	Marcador Lado	
	 R1	 R1		
	 R1 + R9	 R1 + R1 + R1	 R1	F_1
	 R13	 R10 + R1	 R2	F_2
	 R14	 R11 + R1	 R3	F_3
	 R4 + R9	 R4 + R1 + R1	 R4	F_4
	 R1 + R9	 R5 + R1 + R1	 R5	F_5
	 R6 + R9	 R6 + R1 + R1	 R6	F_6
	 R15	 R12 + R1	 R7	F_7
	 R8 + R9	 R8 + R1 + R1	 R8	F_8

Figura 137: Matriz Combinatória (F_2) com indicação das regras.



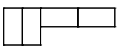


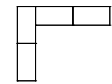


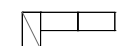


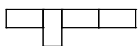


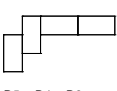


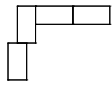


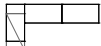


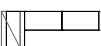


	90°	0°		
	 R2	 R2		
	 R1 + R4 + R2	 R1 + R10	 R1	F_1
	 R2 + R4 + R2	 R16	 R2	F_2
	 R19 + R2	 R17	 R3	F_3
	 R4 + R4 + R2	 R4 + R10	 R4	F_4
	 R5 + R4 + R2	 R5 + R10	 R5	F_5
	 R6 + R4 + R2	 R6 + R10	 R6	F_6
	 R21 + R2	 R18	 R7	F_7
	 R8 + R4 + R2	 R8 + R10	 R8	F_8

Figura 138: Matriz Combinatória (F_3) com indicação das regras.



























	90°	0°	
			
	R3	R3	
			
	R1 + R22	R1 + R11	R1
F_1			
			
	R2 + R22	R17	R2
F_2			
			
	R23	R20	
F_3			
			
	R4 + R22	R4 + R11	R4
F_4			
			
	R5 + R22	R5 + R11	R5
F_5			
			
	R6 + R22	R6 + R11	R6
F_6			
			
	R24	R25	R7
F_7			
			
	R8 + R22	R8 + R11	R8
F_8			

Figura 139: Matriz Combinatória (F_4) com indicação das regras.






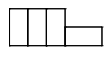

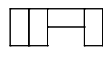




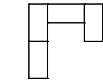






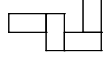
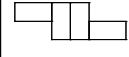

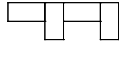


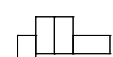

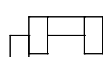




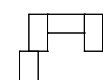











	270°	180°	90°	0°	
	 R4	 R4	 R4	 R4	
F_1	 R1 + R4 + R4	 R1 + R1 + R4	 R1 + R26	 R1 + R4 + R4	 R1
F_2	 R31 + R4	 R10 + R4	 R27	 R2 + R4 + R4	 R2
F_3	 R19 + R4	 R11 + R4	 R28	 R19 + R4	 R3
F_4	 R4 + R4 + R4	 R4 + R1 + R4	 R4 + R26	 R4 + R4 + R4	 R4
F_5	 R5 + R4 + R4	 R5 + R1 + R4	 R5 + R26	 R5 + R4 + R4	 R5
F_6	 R6 + R4 + R4	 R6 + R1 + R4	 R6 + R26	 R6 + R4 + R4	 R6
F_7	 R30 + R4	 R12 + R4	 R29	 R21 + R4	 R7
F_8	 R8 + R4 + R4	 R8 + R1 + R4	 R8 + R26	 R8 + R4 + R4	 R8

Figura 140: Matriz Combinatória (F_5) com indicação das regras.







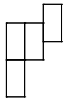
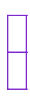



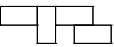



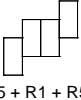
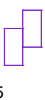









	90°	0°	
			
	R5	R5	
F_1			
	R1 + R4 + R5	R1 + R1 + R5	R1
F_2			
	R2 + R4 + R5	R10 + R5	R2
F_3			
	R19 + R5	R11 + R5	R3
F_4			
	R4 + R4 + R5	R4 + R1 + R5	R4
F_5			
	R5 + R4 + R5	R5 + R1 + R5	R5
F_6			
	R6 + R4 + R5	R6 + R1 + R5	R6
F_7			
	R21 + R5	R12 + R5	R7
F_8			
	R8 + R4 + R5	R8 + R1 + R5	R8

Figura 141: Matriz Combinatória (F_6) com indicação das regras.



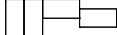


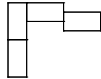
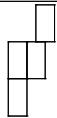

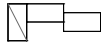


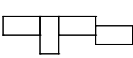


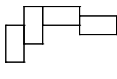
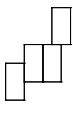

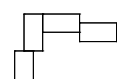
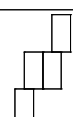

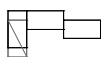


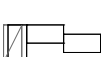


	90°	0°	
			
	R6	R6	
F_1			
	R1 + R4 + R6	R1 + R1 + R6	R1
F_2			
	R2 + R4 + R6	R10 + R6	R2
F_3			
	R19 + R6	R11 + R6	R3
F_4			
	R4 + R4 + R6	R4 + R1 + R6	R4
F_5			
	R5 + R4 + R6	R5 + R1 + R6	R5
F_6			
	R6 + R4 + R6	R6 + R1 + R6	R6
F_7			
	R21 + R6	R12 + R6	R7
F_8			
	R8 + R4 + R6	R8 + R1 + R6	R8

Figura 142: Matriz Combinatória (F_7) com indicação das regras.





















































	90°	0°	
			
	R7	R7	
F_1			
	R1 + R4 + R7	R1 + R12	R1
F_2			
	R2 + R4 + R7	R18	R2
F_3			
	R19 + R7	R25	R3
F_4			
	R4 + R4 + R7	R4 + R12	R4
F_5			
	R5 + R4 + R7	R5 + R12	R5
F_6			
	R6 + R4 + R7	R6 + R12	R6
F_7			
	R21 + R7	R32	R7
F_8			
	R8 + R4 + R7	R8 + R12	R8

Figura 143: Matriz Combinatória (F_8) com indicação das regras.

	90°	0°	
			
	R8	R8	
F_1			
	R1 + R33	R1 + R1 + R8	R1
F_2			
	R2 + R33	R10 + R8	R2
F_3			
	R35	R11 + R8	R3
F_4			
	R4 + R33	R4 + R1 + R8	R4
F_5			
	R5 + R33	R5 + R1 + R8	R5
F_6			
	R6 + R33	R6 + R1 + R8	R6
F_7			
	R34	R12 + R8	R7
F_8			
	R8 + R33	R8 + R1 + R8	R8

APÊNDICE F – PADRÕES COMPOSITIVOS NAS MATRIZES
COMBINATÓRIAS DO PRISMA TRIANGULAR

Figura 144: Matriz Combinatória Triângulo (F_1) com indicação das regras.



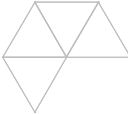




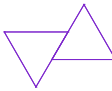






F_1 120°	F_1- 0°		
 R1	 R1		
 R8	 R5	 R1	F_1
 R6	 R6 + R2	 R2	F_2
 R7	 R7	 R3	F_3
 R6 + R4	 R6 + R4	 R4	F_4

Figura 145: Matriz Combinatória Triângulo (F_2) com indicação das regras.

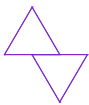

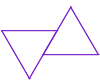







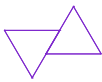








Lado F_2 120°	Lado F_2 60°-Ref	Lado F_2- 0°		
 R2	 R2	 R2		
 R16	 R11	 R2 + R6	 R1	F_1
 R12 + R2	 R12 + R2	 R2 + R1 + R2	 R2	F_2
 R14	 R13	 R2 + R10	 R3	F_3
 R12 + R4	 R12 + R4	 R2 + R1 + R4	 R4	F_4

Figura 146: Matriz Combinatória Triângulo (F_3) com indicação das regras.

Lado
F_3-
0°


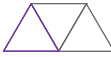


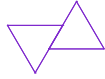









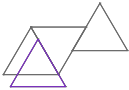
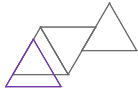







 R3		
 R7	 R1	F_1
 R10 + R2	 R2	F_2
 R17	 R3	F_3
 R10 + R4	 R4	F_4

Figura 147: Matriz Combinatória Triângulo (F₄) com indicação das regras.

Lado F ₄ 60°	Lado F ₄ - 0° - Ref		
 R4	 R4		
 R9	 R4	 R1	F ₁
 R14 + R2	 R4 + R1 + R2	 R2	F ₂
 R15	 R4 + R10	 R3	F ₃
 R14 + R4	 R4 + R1 + R4	 R4	F ₄

APÊNDICE G – PADRÕES COMPOSITIVOS NAS MATRIZES COMBINATÓRIAS DO PRISMA TRAPEZOIDAL

Figura 148: Matriz Combinatória Trapézio (F_1) com indicação das regras.

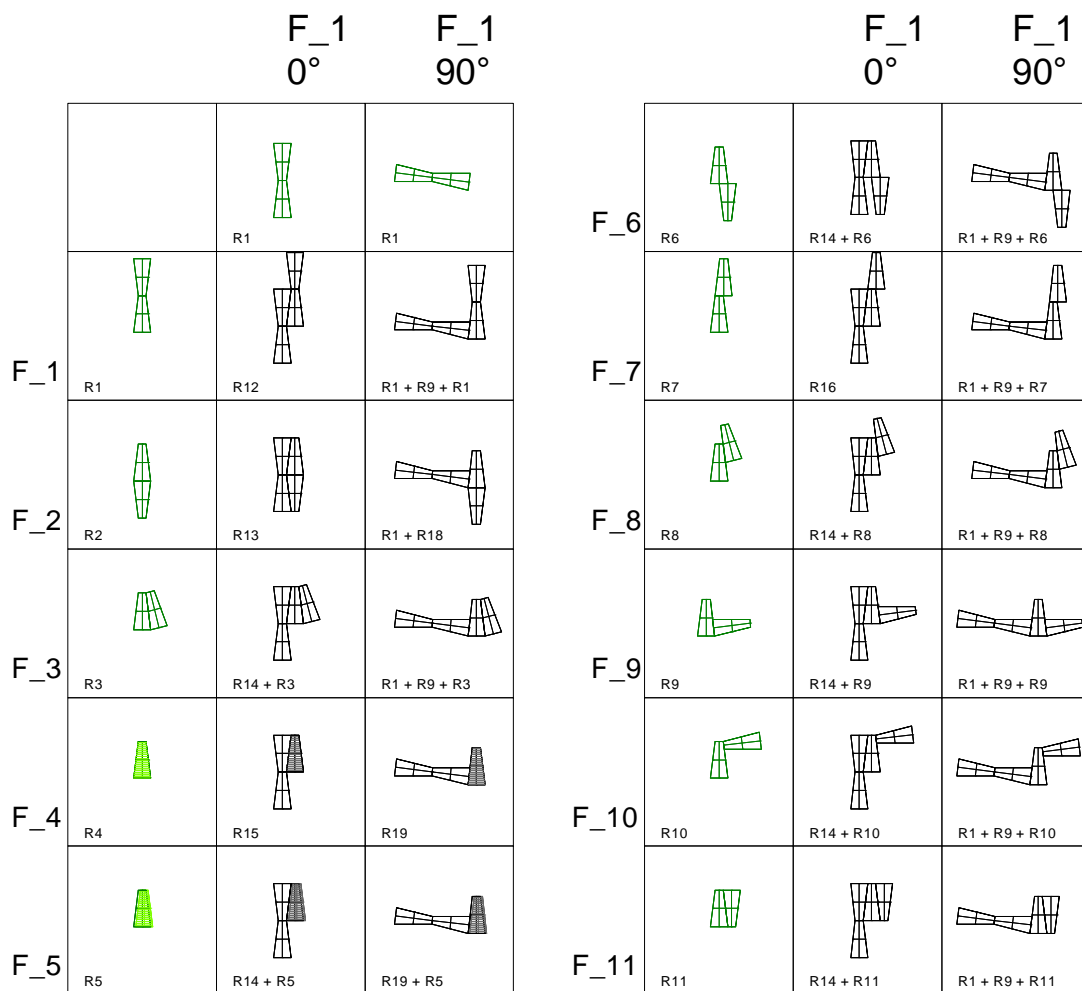




















Figura 149: Matriz Combinatória Trapézio (F_2) com indicação das regras.

	F_2 0°	F_2 90°		F_2 0°	F_2 90°
		R2		R21 + R6	R2 + R10 + R6
R1		R13	R6		R2 + R40
R2		R20	R8		R2 + R10 + R8
					R21 + R8
R3		R21 + R3	R9		R2 + R10 + R9
					R21 + R9
R4		R22	R10		R2 + R10 + R10
					R21 + R10
R5		R21 + R5	R11		R2 + R10 + R11
					R21 + R11
					R2 + R10 + R11

Figura 150: Matriz Combinatória Trapézio (F_3) com indicação das regras.

	F_3 0°	F_3 90°	F_3 180°
F_6	 R6	 R27 + R6	 R3 + R11 + R6
F_7	 R7	 R27 + R7	 R3 + R42
F_8	 R8	 R27 + R8	 R3 + R11 + R8
F_9	 R9	 R27 + R9	 R3 + R11 + R9
F_10	 R10	 R27 + R10	 R3 + R11 + R10
F_11	 R11	 R27 + R11	 R3 + R11 + R11
















	F_3 0°	F_3 90°	F_3 180°
F_1	 R1	 R3 + R47	 R3 + R14
F_2	 R2	 R3 + R48	 R3 + R21
F_3	 R3	 R27 + R3	 R3 + R11 + R3
F_4	 R4	 R3 + R26	 R3 + R49
F_5	 R5	 R3 + R3 + R5	 R3 + R11 + R5

Figura 151: Matriz Combinatória Trapézio (F_4) com indicação das regras.

	F_{-4} 270°	F_{-4} 180°	F_{-4} 90°	F_{-4} 0°	
F_{-5}					R5
F_{-4}					R4
F_{-3}					R3
F_{-2}					R2
F_{-1}					R1

	F_{-4} 270°	F_{-4} 180°	F_{-4} 90°	F_{-4} 0°	
F_{-11}					R11
F_{-10}					R10
F_{-9}					R9
F_{-8}					R8
F_{-7}					R7
F_{-6}					R6

Figura 152: Matriz Combinatória Trapézio (F_5) com indicação das regras.

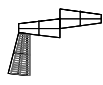
































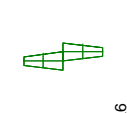


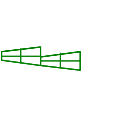
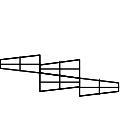
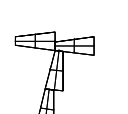
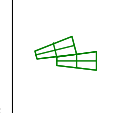
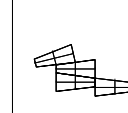
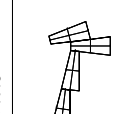
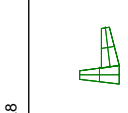
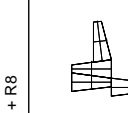

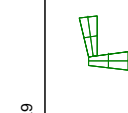
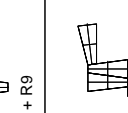
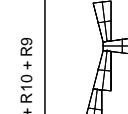
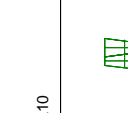
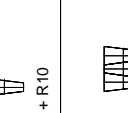
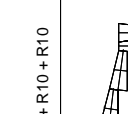
	F_5 270°	F_5 180°	F_5 90°	
F_6	 R36 + R6	 R5 + R11 + R6	 R33 + R6	R6
F_7	 R38	 R5 + R42	 R33 + R7	R7
F_8	 R36 + R8	 R5 + R11 + R8	 R33 + R8	R8
F_9	 R36 + R9	 R5 + R11 + R9	 R33 + R9	R9
F_10	 R36 + R10	 R5 + R11 + R10	 R33 + R10	R10
F_11	 R36 + R11	 R5 + R11 + R11	 R33 + R11	R11
	F_5 270°	F_5 180°	F_5 90°	
F_1	 R5	 R35	 R33 + R1	R1
F_2	 R36 + R2	 R5 + R21	 R34	R2
F_3	 R36 + R3	 R5 + R11 + R3	 R33 + R3	R3
F_4	 R37	 R5 + R49	 R17	R4
F_5	 R36 + R5	 R5 + R11 + R5	 R33 + R5	R5

Figura 153: Matriz Combinatória Trapézio (F_6) com indicação das regras.

		F_6 0°	F_6 90°			F_6 0°	F_6 90°
F_1	R1			R6 + R14	F_6		
F_2	R2			R6 + R21	F_6		
F_3	R3			R6 + R11	F_6		
F_4	R4			R6 + R49	F_6		
F_5	R5			R6 + R11 + R5	F_6		
					F_7		
					F_8		
					F_9		
					F_10		
					F_11		

Figura 154: Matriz Combinatória Trapézio (F_7) com indicação das regras.

	F_7 90°	F_7 180°	F_7 270°	
F_6	 R6	 R42 + R6	 R7 + R10 + R6	F_7
F_7	 R7	 R43	 R7 + R40	F_8
F_8	 R8	 R42 + R8	 R7 + R10 + R8	F_9
F_9	 R9	 R42 + R9	 R7 + R10 + R9	F_10
F_10	 R10	 R42 + R10	 R7 + R10 + R10	F_11
F_11	 R11	 R42 + R11	 R7 + R10 + R11	


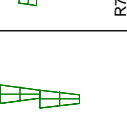

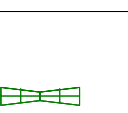
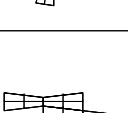
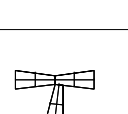
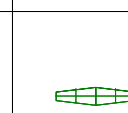
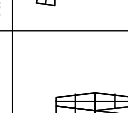
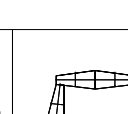
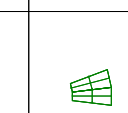
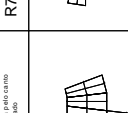


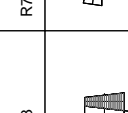
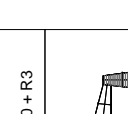

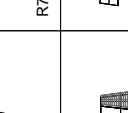

	F_7 90°	F_7 180°	F_7 270°	
F_1	 R7	 R7	 R7	F_2
F_2	 R1	 R16	 R7 + R39	F_3
F_3	 R2	 <small>Eliminado pelo caso 1000000</small>	 R7 + R10 + R2	F_4
F_4	 R3	 R42 + R3	 R7 + R10 + R3	F_5
F_5	 R4	 R31	 R7 + R41	
	 R5	 R42 + R5	 R7 + R10 + R5	

Figura 155: Matriz Combinatória Trapézio (F_8) com indicação das regras.

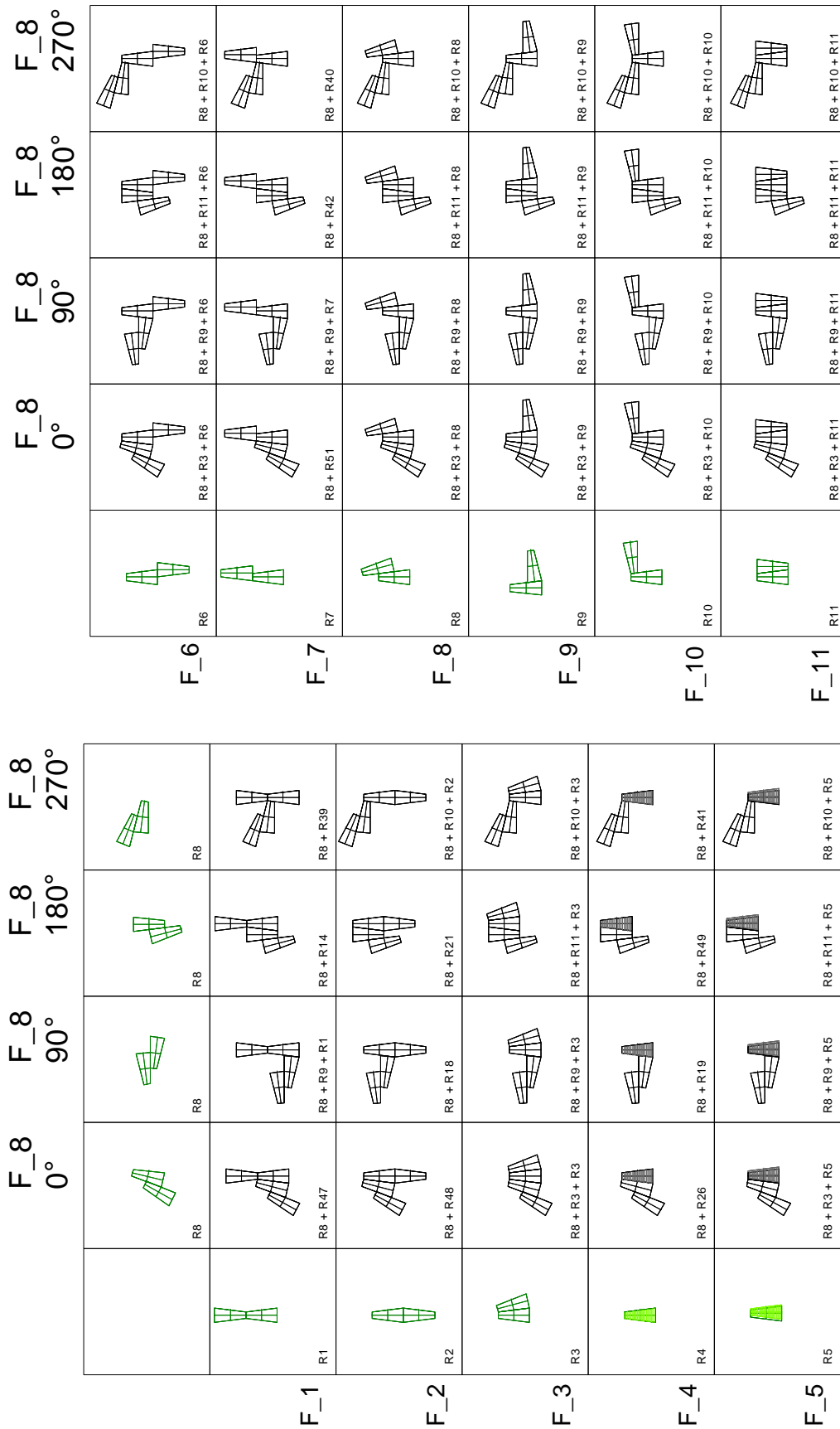


Figura 156: Matriz Combinatória Trapézio (F_9) com indicação das regras.

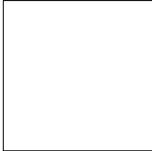
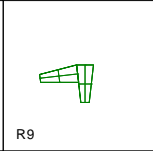
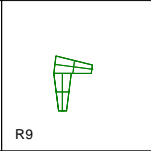
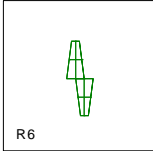
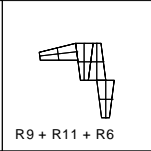
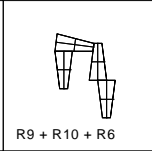
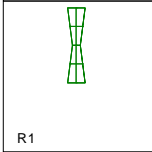
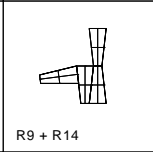
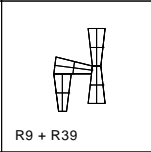
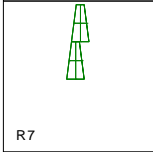
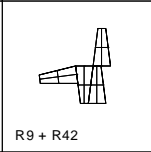
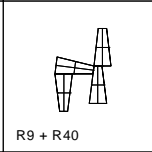
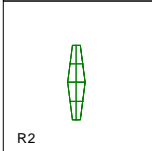
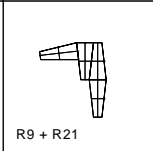
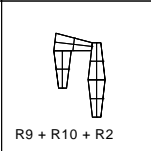
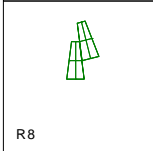
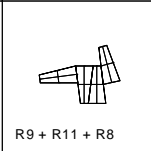
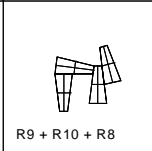
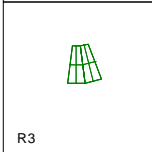
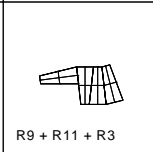
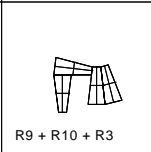
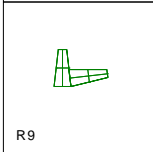
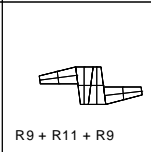
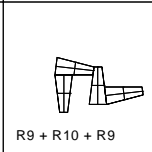
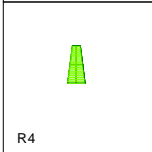
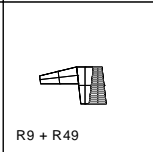
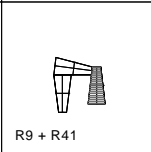
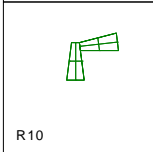
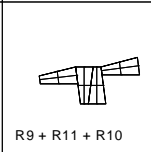
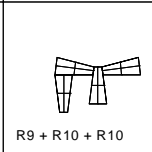
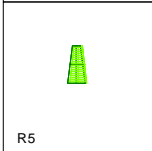
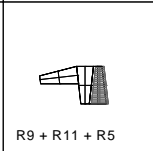
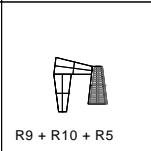
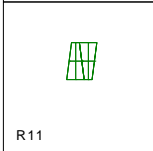
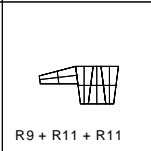
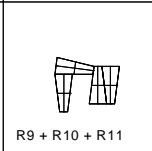
		F_9 180°	F_9 270°			F_9 180°	F_9 270°	
			 R9	 R9		 R6	 R9 + R11 + R6	 R9 + R10 + R6
F_1	 R1	 R9 + R14	 R9 + R39		F_7	 R7	 R9 + R42	 R9 + R40
F_2	 R2	 R9 + R21	 R9 + R10 + R2		F_8	 R8	 R9 + R11 + R8	 R9 + R10 + R8
F_3	 R3	 R9 + R11 + R3	 R9 + R10 + R3		F_9	 R9	 R9 + R11 + R9	 R9 + R10 + R9
F_4	 R4	 R9 + R49	 R9 + R41		F_10	 R10	 R9 + R11 + R10	 R9 + R10 + R10
F_5	 R5	 R9 + R11 + R5	 R9 + R10 + R5		F_11	 R11	 R9 + R11 + R11	 R9 + R10 + R11

Figura 157: Matriz Combinatória Trapézio (F₁₀) com indicação das regras.

		F ₁₀ 90°		F ₁₀ 180°				F ₁₀ 90°		F ₁₀ 180°	
F ₁	R1						F ₆				
F ₂	R2						F ₇				
F ₃	R3						F ₈				
F ₄	R4						F ₉				
F ₅	R5						F ₁₀				
							F ₁₁				

Figura 158: Matriz Combinatória Trapézio (F₁₁) com indicação das regras.

		F ₁₁ 90°	F ₁₁ 180°			F ₁₁ 90°	F ₁₁ 180°
			R11			R6	R11 + R11 + R6
							R45 + R6
F ₁		R1		R11 + R14		R45 + R1	
F ₂		R2		R11 + R21	R46		
F ₃		R3		R11 + R11 + R3	R45 + R3		
F ₄		R4		R11 + R49	R44		
F ₅		R5		R11 + R11 + R5	R45 + R5		
F ₆		R6		R11 + R11 + R6	R45 + R6		
F ₇		R7		R11 + R42	R45 + R7		
F ₈		R8		R11 + R11 + R8	R45 + R8		
F ₉		R9		R11 + R11 + R9	R45 + R9		
F ₁₀		R10		R11 + R11 + R10	R45 + R10		
F ₁₁		R11		R11 + R11 + R11	R45 + R11		

APÊNDICE H – REGRAS COMPOSITIVAS

Figura 159: Descrição das regras compositivas do prisma retangular

Regras Compositivas Vocabulário Prisma Retangular	
R1 = L + L	R19 = $\underset{ }{S}(L) + F$
R2 = F + F	R20 = $\underset{ }{S}(L) + \underset{ }{S}(L)$
R3 = I + S	R21 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + F$
R4 = F + L	R22 = $L + \underset{ }{S}(F)$
R5 = L ^D + L ^D	R23 = $\underset{ }{S}(L) + \underset{ }{S}(F)$
R6 = F ^D + F ^D	R24 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + \underset{ }{S}(F)$
R7 = S + I ^{DF}	R25 = $\underset{ }{S}(L) + \underset{ _{DF}}{S}(L)$
R8 = S + I ^{DL}	R26 = $L + \underset{ }{F}$
R9 = $L \underset{ }{+} \underset{ }{F}$	R27 = $\underset{ }{L} + \underset{ }{F}$
R10 = $\underset{ }{L} + \underset{ }{L}$	R28 = $\underset{ }{S}(L) + \underset{ }{F}$
R11 = $\underset{ }{S}(L) + L$	R29 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + \underset{ }{F}$
R12 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + L$	R30 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + F$
R13 = $\underset{ }{L} + \underset{ }{F}$	R31 = $\underset{ }{L} + F$
R14 = $\underset{ }{S}(L) + \underset{ }{F}$	R32 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + \underset{ _{DF}}{S}(L)$
R15 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + \underset{ }{F}$	R33 = $L + \underset{ _{DF}}{S}(F)$
R16 = $\underset{ }{L} + \underset{ }{L}$	R34 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + \underset{ _{DF}}{S}(F)$
R17 = $\underset{ }{S}(L) + \underset{ }{L}$	R35 = $\underset{ }{S}(L) + \underset{ _{DL}}{S}(F)$
R18 = $\underset{ _{DF}}{S}(L) + \underset{ }{L}$	

Figura 160: Imagens das regras compositivas do prisma retangular














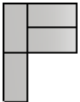

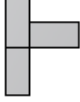




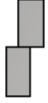




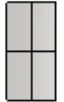



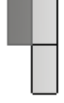



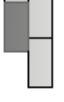
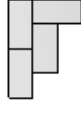
			
R 1	R 10	R 19	R 28
			
R 2	R 11	R 20	R 29
			
R 3	R 12	R 21	R 30
			
R 4	R 13	R 22	R 31
			
R 5	R 14	R 23	R 32
			
R 6	R 15	R 24	R 33
			
R 7	R 16	R 25	R 34
			
R 8	R 17	R 26	R 35
			
R 9	R 18	R 27	

Figura 161: Descrição das regras compositivas do prisma Triangular

Regras Compositivas Vocabulário Prisma Triangular
R1 = L + L
R2 = L ^D + L ^D
R3 = S + I
R4 = S + I _D
R5 = (LL) + (LL)
R6 = (LL) + L
R7 = (LL) + S/I
R8 = $\begin{matrix} L \\ L \end{matrix} + (LL)$
R9 = (LL) + S/I _D
R10 = L + S/I
R11 = $\begin{matrix} L^D \\ L \end{matrix} + (LL)$
R12 = $\begin{matrix} L^D \\ L \end{matrix} + L$
R13 = $\begin{matrix} L^D \\ L \end{matrix} + (S/I)$
R14 = S/I _D + L
R15 = S/I _D + I/S
R16 = $\begin{matrix} L \\ L^D \end{matrix} + (LL)$
R17 = S/I + I/S

Figura 162: Imagens das regras compositivas do prisma triangular


















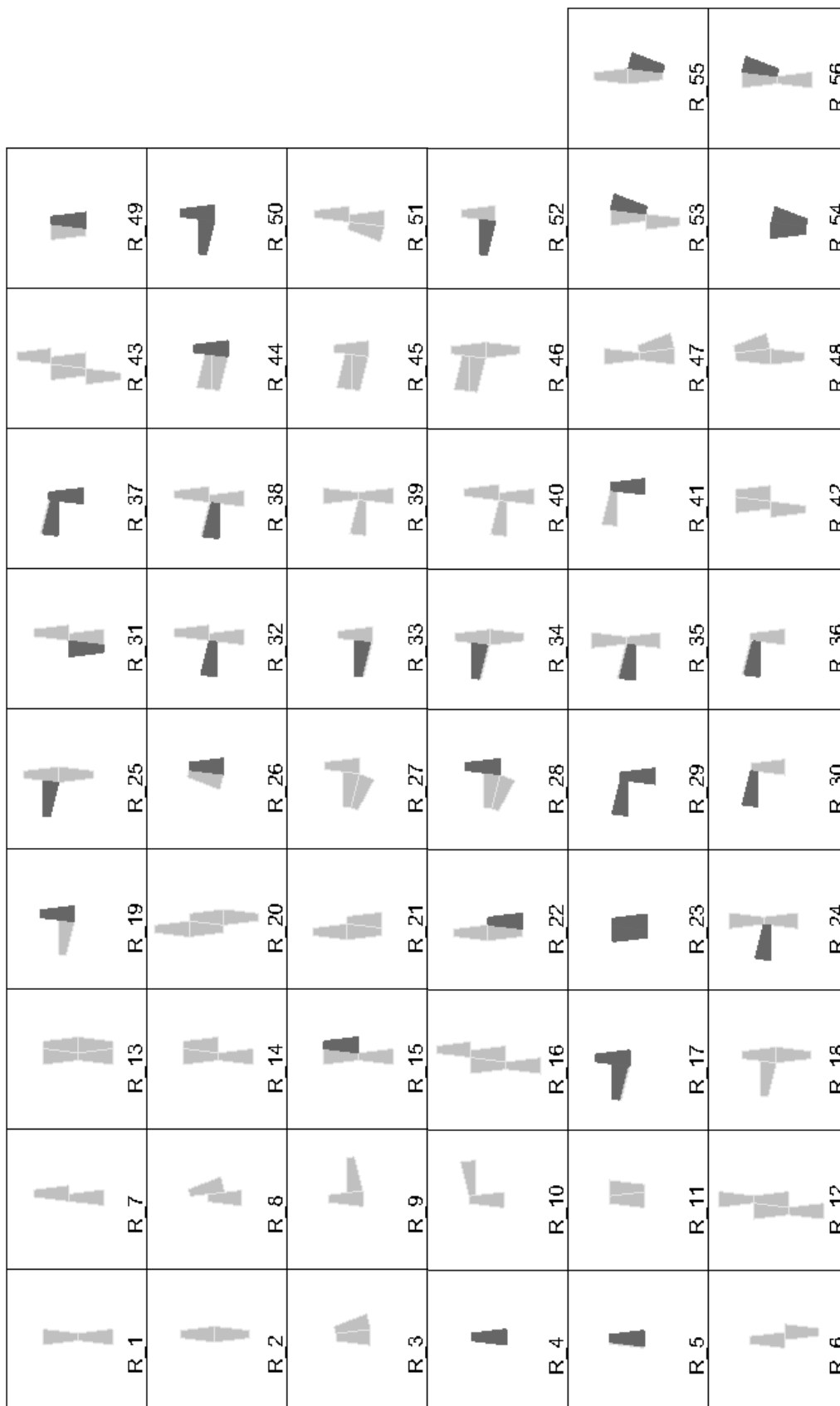
		
R_1	R_7	R_13
		
R_2	R_8	R_14
		
R_3	R_9	R_15
		
R_4	R_10	R_16
		
R_5	R_11	R_17
		
R_6	R_12	

Figura 163: Descrição das regras compositivas do prisma Trapezoidal

Regras Compositivas Vocabulário Prisma Trapezoidal	
R1 = Fn + Fn	R21 = (L + L) + L _{ref}
R2 = Fm + Fm	R22 = (<u>Fm</u> + L) + (I/S (L _{ref}))
R3 = L + L	R23 = (I/S (L)) + (I/S (L _{ref}))
R4 = I+S	R24 = (I/S (Fn)) + (L + L)
R5 = I+S _D	R25 = (I/S (Fm)) + (L + L)
R6 = Fm _D + Fm _D	R26 = L + (I/S (L))
R7 = Fn + Fm	R27 = Fm + Fm + L
R8 = L _D + L _D	R28 = Fm + Fm + (I/S (L))
R9 = L + Fm	R29 = (I/S (Fn)) + (I/S (L))
R10 = L + Fn	R30 = (I/S (Fn)) + L
R11 = L + L _{ref}	R31 = (I/S (L)) + L _{ref} + <u>L_{ref}</u>
R12 = (Fn + L) + (L + Fn)	R32 = (I/S (Fn)) + L _{ref} + <u>L_{ref}</u>
R13 = (L + L _{ref}) + (L + L _{ref})	R33 = (I/S _D (Fm)) + L
R14 = (Fn + L) + L _{ref}	R34 = (I/S _D (Fm)) + L + <u>L</u>
R15 = (Fn + L) + (I/S (L _{ref}))	R35 = (I/S _D (Fn)) + L + <u>L</u>
R16 = (Fn + L) + (L + Fm)	R36 = (I/S _D (Fn)) + L
R17 = (S/I _D (Fm)) + (S/I (L))	R37 = (I/S _D (Fn)) + (S/I (L))
R18 = Fm + (L+L)	R38 = (I/S _D (Fn)) + <u>L</u> + L
R19 = Fm + (S/I (L))	R39 = FN + L + L
R20 = (<u>L</u> +L) + (<u>L</u> +L)	

Regras Compositivas Vocabulário Prisma Trapezoidal	
R40 = $F_n + (L + L)$	
R41 = $F_n + (1/S (L))$	
R42 = $(L + L) + L_{ref}$	
R43 = $(L + L) + (L_{ref} + L_{ref})$	
R44 = $(F_m + F_n) + (1/S (L))$	
R45 = $(F_m + F_n) + L$	
R46 = $(F_m + F_n) + L + L$	
R47 = $(F_n + L) + L$	
R48 = $(F_m + L) + L$	
R49 = $L_{ref} + (1/S (L))$	
R50 = $(1/S (F_m)) + (1/S (L))$	
R51 = $L + (L_{ref} + L_{ref})$	
R52 = $(1/S (F_m)) + L$	
R53 = $(1/S (L)) + L + \underline{L}$	
R54 = $(1/S (L)) + (1/S (L))$	
R55 = $(\underline{F_m} + L) + (1/S (L))$	
R56 = $(\underline{F_n} + L) + (1/S (L))$	

Figura 164: Imagens das regras compositivas do prisma trapezoidal



APÊNDICE I – REGRAS CONECTIVAS

Figura 165: Descrição das regras conectivas do prisma Retangular.

Regras Conectivas		Vocabulário Prisma Retangular	
R1	$CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$	R13 cont.	$ML_{s/f}0^\circ + CF_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$ $CL_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$
R2	$CF_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$	R14	$CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$ $CF_{i}90^\circ + CL_{i}90^\circ$ $ML_{i}0^\circ + CF_{i}90^\circ + CF_{i}90^\circ$ $CF_{s}90^\circ + (CL_{U}90^\circ + CL_{E}90^\circ)$ $CF_{s}90^\circ + CF_{s}90^\circ + (ML_{U}0^\circ + ML_{E}0^\circ)$
R3	$C_s90^\circ + (C_\varepsilon90^\circ)$	R15	$CL_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$ $CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$ $ML_{s/f}0^\circ + CF_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$ $MF_s0^\circ + (ML_{U}0^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $CF_{s}90^\circ + (CL_{U}90^\circ + ML_{E_s}0^\circ)$ $CF_{s}90^\circ + CF_{s}90^\circ + (ML_{U}0^\circ + ML_{E}0^\circ)$
R4	$CL_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$ $CF_{s/f}90^\circ + ML_{s/f}0^\circ$	R16	$CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$ $CL_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$
R5	$CL_{s/f}90^\circ + ML_{s/f}0^\circ$	R17	$CL_i90^\circ + CL_i90^\circ$ $C_s90^\circ + (C_\varepsilon90^\circ)$ $CF_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$ $CL_s90^\circ + (CL_{U}90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $CL_s90^\circ + CF_{s/f}90^\circ + (CL_{U}90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$
R6	$CF_{s/f}90^\circ + MF_{s/f}0^\circ$	R18	$CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$ $CF_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$ $CL_i90^\circ + CL_i90^\circ + CL_i90^\circ$ $CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$ $ML_s0^\circ + (ML_{U}0^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $CF_{s}90^\circ + CL_s90^\circ + (CL_{U}0^\circ + ML_{E_s}90^\circ)$
R7	$CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$	R19	$CL_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}0^\circ$ $CF_{s/f}90^\circ + ML_{s/f}$ $C_s90^\circ + (C_\varepsilon90^\circ)$ $CF_{s}90^\circ + (CL_{U}90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $CF_{s}90^\circ + (ML_{U}0^\circ + ML_{E}0^\circ)$
R8	$CF_s90^\circ + (MF_\varepsilon0^\circ)$ $MF_s0^\circ + (CF_\varepsilon90^\circ)$		
R9	$CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$ $CF_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$ $CF_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$ $ML_{s/f}0^\circ + CF_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$		
R10	$CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$ $CL_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$		
R11	$CL_s90^\circ + (CL_{U}90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$		
R12	$CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}0^\circ$ $CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$ $ML_s0^\circ + (ML_{U}0^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $CL_s0^\circ + (CL_{U}0^\circ + ML_{E_s}90^\circ)$		
R13	$CL_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$ $CF_{s/f}90^\circ + CF_{s/f}90^\circ$ $CF_{s/f}90^\circ + CL_{s/f}90^\circ$		

Regras Conectivas Vocabulário Prisma Retangular			
R20	$CL_i90^\circ + CL_i0^\circ$ $C_s90^\circ + (C_\varepsilon90^\circ)$ $(CL_\varepsilon90^\circ + CL_U90^\circ) + (CL_U90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$	R26	$CL_{s/i}90^\circ + CF_{s/i}90^\circ$ $CL_{s/i}90^\circ + ML_{s/i}0^\circ$ $CF_{s/i}90^\circ + ML_{s/i}0^\circ$ $ML_{s/i}0^\circ + \underline{CF_{s/i}90^\circ} + CL_{s/i}90^\circ$
R21	$CL_{s/i}90^\circ + CF_{s/i}90^\circ$ $CF_i90^\circ + ML_i0^\circ$ $CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$ $CF_s90^\circ + (ML_U0^\circ + ML_\varepsilon0^\circ)$ $MF_s0^\circ + (ML_U90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$	R27	$CL_{s/i}90^\circ + CF_{s/i}90^\circ$ $CL_{s/i}90^\circ + CL_{s/i}90^\circ$ $ML_{s/i}0^\circ + CL_{s/i}90^\circ$ $ML_{s/i}0^\circ + \underline{CL_{s/i}90^\circ} + CL_{s/i}90^\circ$ $\underline{CL_{s/i}90^\circ} + CL_{s/i}90^\circ + ML_{s/i}0^\circ$
R22	$CL_i90^\circ + CF_i90^\circ$ $CF_i90^\circ + ML_i0^\circ$ $CL_s90^\circ + (CF_U90^\circ + CF_\varepsilon90^\circ)$ $ML_s90^\circ + (CF_U90^\circ + CF_\varepsilon90^\circ)$	R28	$CL_i90^\circ + CF_i90^\circ$ $CL_i90^\circ + ML_i0^\circ$ $C_s90^\circ + (C_\varepsilon90^\circ)$ $ML_{s/i}0^\circ + CF_{s/i}90^\circ + CL_{s/i}90^\circ$ $CF_s90^\circ + (CL_U90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_U90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $(ML_\varepsilon0^\circ + ML_U0^\circ) + \underline{CF_s90^\circ} + CL_s90^\circ$
R23	$CL_i90^\circ + CF_i90^\circ$ $CF_i90^\circ + ML_i0^\circ$ $C_s90^\circ + (C_\varepsilon90^\circ)$ $(CL_\varepsilon90^\circ + CL_U90^\circ) + (CF_U90^\circ + CF_\varepsilon90^\circ)$ $(ML_\varepsilon0^\circ + ML_U0^\circ) + (CF_U90^\circ + CF_\varepsilon90^\circ)$	R29	$CL_{s/i}90^\circ + CF_{s/i}90^\circ$ $CL_{s/i}90^\circ + ML_{s/i}0^\circ$ $CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$ $ML_{s/i}0^\circ + CF_{s/i}90^\circ + CL_{s/i}90^\circ$ $CL_s90^\circ + (CF_U90^\circ + CF_\varepsilon90^\circ)$ $MF_s0^\circ + (ML_U0^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $+ (ML_\varepsilon0^\circ + CL_{\varepsilon s}90^\circ)$ $(ML_\varepsilon0^\circ + ML_U0^\circ) + \underline{CF_s90^\circ} + CL_s90^\circ$
R24	$CL_i90^\circ + CF_i90^\circ$ $CF_i90^\circ + ML_i0^\circ$ $C_s90^\circ + (C_\varepsilon90^\circ)$ $CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$ $CL_s90^\circ + (CF_U90^\circ + CF_\varepsilon90^\circ)$ $(ML_U0^\circ + ML_\varepsilon0^\circ) + (CF_U90^\circ + CF_\varepsilon90^\circ)$ $(MF_U0^\circ + MF_\varepsilon0^\circ) + (ML_U90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$	R30	$CL_i90^\circ + CF_i90^\circ$ $CF_i90^\circ + ML_i0^\circ$ $CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$ $CF_s90^\circ + (CL_U90^\circ + ML_{\varepsilon s}90^\circ)$ $CF_s90^\circ + (ML_U0^\circ + ML_\varepsilon90^\circ)$
R25	$CL_i90^\circ + CL_i90^\circ$ $CL_s90^\circ + (ML_\varepsilon0^\circ)$ $ML_s0^\circ + (CL_\varepsilon90^\circ)$ $CL_s90^\circ + (CL_U90^\circ + CL_\varepsilon90^\circ)$ $(CL_\varepsilon90^\circ + CL_U0^\circ) + (CL_U0^\circ + ML_{\varepsilon s}0^\circ)$ $(ML_U0^\circ + CL_\varepsilon90^\circ) + (ML_U0^\circ + ML_\varepsilon0^\circ)$	R31	$CF_{s/i}90^\circ + CF_{s/i}90^\circ$ $CF_{s/i}90^\circ + ML_{s/i}0^\circ$ $CL_{s/i}90^\circ + \underline{CF_{s/i}90^\circ} + CF_{s/i}90^\circ$

Regras Conectivas
Vocabulário Prisma Retangular

R32	$CL_{s/90^\circ} + CL_{s/90^\circ}$ $CL_{s90^\circ} + (ML_{\varepsilon 0^\circ})$ $ML_{s0^\circ} + (CL_{\varepsilon 90^\circ})$ $(CL_{\varepsilon 90^\circ} + ML_{U0^\circ}) + (ML_{U0^\circ} + CL_{\varepsilon 0^\circ})$ $(ML_{\varepsilon s90^\circ} + CL_{U0^\circ}) + (CL_{U0^\circ} + ML_{\varepsilon s0^\circ})$	
R33	$CL_{s/90^\circ} + CF_{s/90^\circ}$ $CL_{s90^\circ} + (ML_{\varepsilon 0^\circ})$ $ML_{s0^\circ} + (CL_{\varepsilon 90^\circ})$ $CF_{90^\circ} + ML_{i0^\circ}$ $ML_{s0^\circ} + (MF_{U0^\circ} + CF_{\varepsilon 90^\circ})$ $ML_{s0^\circ} + (CF_{U90^\circ} + MF_{\varepsilon s0^\circ})$	
R34	$CL_{s/90^\circ} + CF_{s/90^\circ}$ $CF_{90^\circ} + ML_{i0^\circ}$ $+ (ML_{\varepsilon 0^\circ} + CL_{\varepsilon b90^\circ})$ $ML_{s0^\circ} + (MF_{U0^\circ} + CF_{\varepsilon 90^\circ})$ $(CL_{U90^\circ} + ML_{\varepsilon 0^\circ}) + (MF_{U s0^\circ} + MF_{\varepsilon 0^\circ})$ $(ML_{U0^\circ} + CL_{\varepsilon 90^\circ}) + (MF_{U0^\circ} + MF_{\varepsilon 0^\circ})$	
R35	$CL_{90^\circ} + CF_{90^\circ}$ $CF_{90^\circ} + ML_{i0^\circ}$ $C_{s90^\circ} + (C_{\varepsilon 90^\circ})$ $CF_{s90^\circ} + (MF_{\varepsilon 0^\circ})$ $MF_{s0^\circ} + (CF_{\varepsilon 90^\circ})$ $CF_{s0^\circ} + (CL_{U0^\circ} + CL_{\varepsilon 90^\circ})$ $+ (ML_{\varepsilon 0^\circ} + CL_{\varepsilon b90^\circ})$ $(CF_{U0^\circ} + MF_{\varepsilon s90^\circ}) + (ML_{U0^\circ} + ML_{\varepsilon 0^\circ})$ $(ML_{U0^\circ} + CL_{\varepsilon 90^\circ}) + (MF_{U0^\circ} + MF_{\varepsilon 0^\circ})$	

Figura 166: Descrição das regras conectivas do prisma triangular.

Regras Conectivas Vocabulário Prisma Triangular	
R1	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$
R2	$C_{s/r}60^\circ + M_{s/r}$
R3	$C_\varepsilon 60^\circ + C_U 60^\circ$
R4	$C_\varepsilon 60^\circ + M_U$ $C_U 60^\circ + M_\varepsilon$ $M_\varepsilon + M_U$
R5	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$
R6	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$
R7	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_\varepsilon 60^\circ + C_U 60^\circ$ $C_i 60^\circ + C_i 60^\circ + C_i 60^\circ$ $C_U 60^\circ + (C_U 60^\circ + C_\varepsilon 60^\circ)$ $C_U 60^\circ + C_U 60^\circ + (C_U 60^\circ + C_\varepsilon 60^\circ)$
R8	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$
R9	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_i 60^\circ + C_i 60^\circ + C_i 60^\circ$ $M_\varepsilon + M_U$ $M_U + (M_U + C_\varepsilon 60^\circ)$ $C_U 60^\circ + C_U 60^\circ + (C_U 60^\circ + M_{\varepsilon s})$
R10	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_U 60^\circ + (C_U 60^\circ + C_\varepsilon 60^\circ)$ $C_\varepsilon 60^\circ + C_U 60^\circ$
R11	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + M_{s/r}$ $C_{s/r}60^\circ + M_{s/r}$
R12	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + M_{s/r}$ $C_{s/r}60^\circ + M_{s/r}$
R13	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_{s/r}60^\circ + M_{s/r}$ $C_i 60^\circ + C_i 60^\circ + M_i$ $C_\varepsilon 60^\circ + C_U 60^\circ$ $C_U 60^\circ + (C_U 60^\circ + C_\varepsilon 60^\circ)$ $M + C_U 60^\circ + (C_U 60^\circ + C_\varepsilon 60^\circ)$
R14	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_U 60^\circ + (C_U 60^\circ + M_{\varepsilon s})$ $M_U + (M_U + C_\varepsilon 60^\circ)$ $M_U + M_\varepsilon$
R15	$C_i 60^\circ + C_i 60^\circ$ $M_U + M_\varepsilon$ $C_U 60^\circ + (C_U 60^\circ + C_\varepsilon 60^\circ)$ $C_\varepsilon 60^\circ + C_U 60^\circ$ $(M_{\varepsilon s} + C_U 60^\circ) + (C_U 60^\circ + C_\varepsilon 60^\circ)$ $(C_\varepsilon 60^\circ + M_{U i}) + (M_U + M_{\varepsilon i})$
R16	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $C_{s/r}60^\circ + M_{s/r}$ $C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ + M_{s/r}$
R17	$C_{s/r}60^\circ + C_{s/r}60^\circ$ $(C_\varepsilon 60^\circ + C_U 60^\circ) + (C_U 60^\circ + C_\varepsilon 60^\circ)$ $C_\varepsilon 60^\circ + C_U 60^\circ$

Figura 167: Descrição das regras conectivas do prisma trapezoidal

Regras Conectivas Vocabulário Prisma Trapezoidal			
R1	$CFn_{s/r}97^\circ + CFn_{s/r}97^\circ$	R14	$(\underline{CL_{s/r}97^\circ + CL_{s/r}83^\circ}) + CFn_{s/r}97^\circ$ $CFn_{s/r}97^\circ + CFn_{s/r}97^\circ$ $CL_{s/r}83^\circ + \underline{CL_{s/r}97^\circ}$
R2	$CFm_{s/r}83^\circ + CFm_{s/r}83^\circ$	R15	$(\underline{CL_{i}97^\circ + CL_{i}83^\circ}) + CFn_{i}97^\circ$ $CFn_{i}97^\circ + CFn_{i}97^\circ$ $CL_{i}83^\circ + CL_{i}97^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $CL_{U}83^\circ + (Cu97^\circ + Ce97^\circ)$ $CL_{U}97^\circ + CL_{U}97^\circ + (Cu83^\circ + Ce83^\circ)$
R3	$CL_{s/r}97^\circ + CL_{s/r}97^\circ$ $CL_{s/r}83^\circ + CL_{s/r}83^\circ$	R16	$\underline{CL_{s/r}97^\circ + CL_{s/r}83^\circ} + CFn_{s/r}97^\circ$ $CFn_{s/r}97^\circ + CFn_{s/r}97^\circ$ $CFn_{s/r}97^\circ + MFm_{s/r}$ $CL_{s/r}83^\circ + \underline{CL_{s/r}97^\circ} + CFm_{s/r}83^\circ$
R4	$Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$	R17	$Cu_{s/r}97^\circ + (Ce_{s/r}97^\circ)$ $Cu_{s/r}83^\circ + (Ce_{s/r}83^\circ)$ $CFm_{s}83^\circ + (CL_{U}83^\circ + CL_{E}83^\circ)$ $(CFm_{E}83^\circ + ML_{U}) + (ML_{E} + MFm_{E})$ $(CFm_{E}83^\circ + ML_{U}) + (ML_{E} + MFm_{U})$ $CFm_{i}83^\circ + CL_{i}83^\circ$ $CFm_{i}83^\circ + MI_{i}$ $(Mn_{U} + CFn_{E}97^\circ)$ $(Mn_{E} + CFn_{U}97^\circ)$ $+ CFm_{83^\circ} + MFm_{0^\circ}$
R5	$Cs97^\circ + Me0^\circ$ $Ce97^\circ + Ms0^\circ$ $Cs83^\circ + Me0^\circ$ $Ce83^\circ + Ms0^\circ$	R18	$CFm_{s/r}83^\circ + ML_{s/r}$ $CFm_{s/r}83^\circ + \underline{CL_{s/r}83^\circ} + CL_{s/r}83^\circ$ $CFm_{s/r}83^\circ + CFm_{s/r}83^\circ$
R6	$CFm_{s/r}83^\circ + MFm_{s/r}0^\circ$	R19	$CFm_{i}83^\circ + ML_{i}$ $CFm_{i}83^\circ + CL_{i}83$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $CFm_{U}83^\circ + (ML_{U} + ML_{E})$ $CFm_{U}83^\circ + (CL_{U}83^\circ + CL_{E}83^\circ)$
R7	$CFm_{s/r}83^\circ + CFn_{s/r}97^\circ$ $CFn_{s/r}97^\circ + MFm_{s/r}0^\circ$		
R8	$CL_{s/r}97^\circ + ML_{s/r}0^\circ$ $CL_{s/r}83^\circ + ML_{s/r}0^\circ$		
R9	$CL_{s/r}83^\circ + CFm_{s/r}83^\circ$ $ML_{s/r}0^\circ + CFm_{s/r}83$		
R10	$CL_{s/r}97^\circ + CFn_{s/r}97^\circ$ $ML_{s/r}0^\circ + CFn_{s/r}97^\circ$		
R11	$CL_{s/r}97^\circ + CL_{s/r}83^\circ$		
R12	$CL_{s/r}97^\circ + CL_{s/r}97^\circ$ $CL_{s/r}83^\circ + \underline{CL_{s/r}97^\circ} + CFn_{s/r}97^\circ$		
R13	$(\underline{CL_{s/r}97^\circ + CL_{s/r}83^\circ}) + (\underline{CL_{s/r}97^\circ + CL_{s/r}83^\circ})$ $CFn_{s/r}97^\circ + CFn_{s/r}97^\circ$ $CL_{s/r}83^\circ + \underline{CL_{s/r}97^\circ}$ $CFm_{s/r}83^\circ + CFm_{s/r}83^\circ$		

Regras Conectivas Vocabulário Prisma Trapezoidal			
R20	$CL_{s/f}83^\circ + CL_{s/f}83^\circ + CL_{s/f}97^\circ$ $CL_{s/f}83^\circ + CL_{s/f}83^\circ$	R26 cont.	$CL_U97^\circ + (CL_U97^\circ + CL_E97^\circ)$ $CL_U83^\circ + (CL_U83^\circ + CL_E83^\circ)$
R21	$CL_{s/f}83^\circ + CL_{s/f}83^\circ + CL_{s/f}97^\circ$ $CL_{s/f}83^\circ + CL_{s/f}83^\circ$ $CL_{s/f}83^\circ + CL_{s/f}97^\circ$	R27	$ML_{s/f} + CFm_{s/f}83$ $CL_{s/f}97^\circ + CL_{s/f}97^\circ$ $CL_{s/f}83^\circ + CFm_{s/f}83^\circ + CFm_{s/f}83^\circ$
R22	$CL_i83^\circ + CL_i83^\circ + CL_i97^\circ$ $CL_{s/f}83^\circ + CL_{s/f}83^\circ$ $CL_i83^\circ + CL_i97^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $CL_U83^\circ + CL_U83^\circ + (Cu97^\circ + Ce97^\circ)$ $CL_U97^\circ + (Cu83^\circ + Ce83^\circ)$	R28	$ML_i + CFm_i83$ $CL_i83^\circ + CFm_i83^\circ + CFm_i83^\circ$ $CL_{s/f}97^\circ + CL_{s/f}97^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $CFm_U83^\circ + (ML_U + ML_E)$ $CFm_U83^\circ + CFm_U83^\circ + (CL_U83^\circ + CL_E83^\circ)$
R23	$CL_i83^\circ + CL_i97^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $(CL_E83^\circ + CL_U83^\circ) + (CL_U97^\circ + CL_E97^\circ)$	R29	$ML_i + CFn_i97^\circ$ $CFn_i97^\circ + CL_i97^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $(CFn_E97^\circ + CFn_U97^\circ) + (CL_U97^\circ + CL_E97^\circ)$ $(CFn_E97^\circ + CFn_U97^\circ) + (ML_U + ML_E)$
R24	$CFn_{s/f}97^\circ + CFn_{s/f}97^\circ$ $ML_i + CFn_i97^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $CFn_i97^\circ + CL_i97^\circ + CL_i97^\circ$ $(CFn_E97^\circ + CFn_U97^\circ) + ML_U$ $(CFn_E97^\circ + CFn_U97^\circ) + CL_U97^\circ + CL_U97^\circ$	R30	$ML_i + CFn_i97^\circ$ $CFn_i97^\circ + CL_i97^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $(CFn_E97^\circ + CFn_U97^\circ) + CL_U97^\circ$ $(CFn_E97^\circ + CFn_U97^\circ) + ML_U$
R25	$Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $CFm_i83^\circ + ML_i$ $CFm_i83^\circ + CL_i83^\circ + CL_i83^\circ$ $CFm_{s/f}83^\circ + CFm_{s/f}83^\circ$ $(CFm_E83^\circ + CFm_U83^\circ) + ML_U$ $(CFm_E83^\circ + CFm_U83^\circ) + CL_U83^\circ + CL_U83^\circ$	R31	$CFn_{s/f}97^\circ + MFm_{s/f}$ $CL_i83^\circ + CL_i97^\circ$ $CL_i83^\circ + CL_i97^\circ + CL_i83^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$ $CL_U83^\circ + (CL_U97^\circ + CL_E97^\circ)$ $CL_U83^\circ + CL_U97^\circ + (CL_U83^\circ + CL_E83^\circ)$
R26	$CL_i97^\circ + CL_i97^\circ$ $CL_i83^\circ + CL_i83^\circ$ $Cu97^\circ + (Ce97^\circ)$ $Cu83^\circ + (Ce83^\circ)$	R32	$CFn_{s/f}97^\circ + MFm_{s/f}$ $CFn_i97^\circ + ML_i$

Regras Conectivas Vocabulário Prisma Trapezoidal	
<p>R32 cont.</p> $\text{CFn}_{i97^\circ} + \text{CL}_{i83^\circ} + \text{CL}_{i83^\circ}$ $\text{Cu}_{83^\circ} + (\text{Ce}_{83^\circ})$ $(\text{CFn}_{\varepsilon 97^\circ} + \text{CFn}_{\text{U}97^\circ}) + \text{ML}_{\text{U}}$ $(\text{CFn}_{\varepsilon 97^\circ} + \text{CFn}_{\text{U}97^\circ}) + \text{CL}_{\text{U}83^\circ} + \text{CL}_{\text{U}83^\circ}$ <p>R33 $\text{CL}_{s/i83^\circ} + \text{CFm}_{s/i83^\circ}$</p> $\text{ML}_{i0^\circ} + \text{CFm}_{i83}$ $\text{Cs}_{97^\circ} + (\text{Me}_{0^\circ})$ $(\text{Ce}_{97^\circ}) + \text{Ms}_{0^\circ}$ $(\text{MFm}_{\varepsilon a 0^\circ} + \text{CFm}_{s83^\circ}) + \text{ML}_{s0^\circ}$ $(\text{CFm}_{\varepsilon 83^\circ} + \text{MFm}_s) + \text{ML}_s$ <p>R34 $\text{CL}_{s/i83^\circ} + \text{CL}_{s/i83^\circ} + \text{CFm}_{s/i83^\circ}$</p> $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{CFn}_{s/i97^\circ}$ $\text{ML}_{i0^\circ} + \text{CFm}_{i83}$ $\text{Cs}_{97^\circ} + (\text{Me}_{0^\circ})$ $(\text{Ce}_{97^\circ}) + \text{Ms}_{0^\circ}$ $(\text{MFm}_{\varepsilon a 0^\circ} + \text{CFm}_{s83^\circ}) + \text{ML}_{s0^\circ}$ $(\text{CFm}_{\varepsilon 83^\circ} + \text{MFm}_s) + \text{ML}_s$ <p>R35 $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{CFn}_{s/i97^\circ}$</p> $\text{CL}_{s/i97^\circ} + \text{CL}_{s/i97^\circ} + \text{CFn}_{s/i97^\circ}$ $\text{ML}_{i0^\circ} + \text{CFn}_{i97^\circ}$ $\text{Cs}_{83^\circ} + (\text{Me}_{0^\circ})$ $(\text{Ce}_{83^\circ}) + \text{Ms}_{0^\circ}$ $(\text{CFn}_{\varepsilon 97^\circ} + \text{MFn}_{\text{U}}) + \text{ML}_{\text{U}}$ $(\text{MFn}_{\varepsilon a} + \text{CFn}_{\text{U}97^\circ}) + \text{ML}_{\text{U}}$ <p>R36 $\text{CL}_{s/i97^\circ} + \text{CFn}_{s/i97^\circ}$</p> $\text{ML}_{i0^\circ} + \text{CFn}_{i97^\circ}$ $\text{Cs}_{83^\circ} + (\text{Me}_{0^\circ})$ $(\text{Ce}_{83^\circ}) + \text{Ms}_{0^\circ}$ $(\text{CFn}_{\varepsilon 97^\circ} + \text{MFn}_{\text{U}}) + \text{ML}_{\text{U}}$ $(\text{MFn}_{\varepsilon a} + \text{CFn}_{\text{U}97^\circ}) + \text{ML}_{\text{U}}$ <p>R37 $\text{Cu}_{97^\circ} + (\text{Ce}_{97^\circ})$</p> $\text{Cu}_{83^\circ} + (\text{Ce}_{83^\circ})$ $\text{CL}_{i97^\circ} + \text{CFn}_{i97^\circ}$ $(\text{CL}_{\varepsilon 97^\circ} + \text{CL}_{\text{U}97^\circ}) + \text{CFn}_{\text{U}97^\circ}$	<p>R37 cont.</p> $\text{ML}_{i0^\circ} + \text{CFn}_{i97^\circ}$ $\text{Cs}_{83^\circ} + (\text{Me}_{0^\circ})$ $(\text{Ce}_{83^\circ}) + \text{Ms}_{0^\circ}$ $(\text{CFn}_{\text{U}97^\circ} + \text{MFn}_{\varepsilon a}) + (\text{ML}_{\text{U}} + \text{ML}_{\varepsilon})$ $(\text{MFn}_{\text{U}} + \text{CFn}_{\varepsilon 97^\circ}) + (\text{ML}_{\text{U}} + \text{ML}_{\varepsilon})$ $+ \text{ML}_{0^\circ} + \text{CFn}_{97^\circ}$ <p>R38 $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{MFm}_{s/i}$</p> $\text{CL}_{s/i97^\circ} + \text{CL}_{s/i83^\circ} + \text{CFn}_{s/i97^\circ}$ $\text{ML}_{i0^\circ} + \text{CFn}_{i97^\circ}$ $\text{Cs}_{83^\circ} + (\text{Me}_{0^\circ})$ $(\text{Ce}_{83^\circ}) + \text{Ms}_{0^\circ}$ $(\text{CFn}_{\varepsilon 97^\circ} + \text{MFn}_{\text{U}}) + \text{ML}_{\text{U}}$ $(\text{MFn}_{\varepsilon a} + \text{CFn}_{\text{U}97^\circ}) + \text{ML}_{\text{U}}$ <p>R39 $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{CFn}_{s/i97^\circ}$</p> $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{ML}_{s/i}$ $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{CL}_{s/i97^\circ} + \text{CL}_{s/i97^\circ}$ <p>R40 $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{ML}_{s/i}$</p> $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{MFm}_{s/i}$ $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{CL}_{s/i83^\circ} + \text{CL}_{s/i83^\circ}$ <p>R41 $\text{CL}_{i97^\circ} + \text{CFn}_{i97^\circ}$</p> $\text{ML}_{i0^\circ} + \text{CFn}_{i97^\circ}$ $\text{Cu}_{97^\circ} + (\text{Ce}_{97^\circ})$ $\text{Cu}_{83^\circ} + (\text{Ce}_{83^\circ})$ $(\text{CL}_{\varepsilon 97^\circ} + \text{CL}_{\text{U}97^\circ}) + \text{CFn}_{\text{U}97^\circ}$ $(\text{ML}_{\varepsilon} + \text{ML}_{\text{U}}) + \text{CFn}_{\text{U}97^\circ}$ <p>R42 $\text{CL}_{s/i83^\circ} + \text{CL}_{s/i97^\circ}$</p> $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{MFm}_{s/i}$ $\text{CL}_{s/i83^\circ} + \text{CL}_{s/i97^\circ} + \text{CL}_{s/i83^\circ}$ <p>R43 $\text{CFn}_{s/i97^\circ} + \text{MFm}_{s/i97^\circ}$</p> $\text{CL}_{s/i83^\circ} + \text{CL}_{s/i97^\circ} + \text{CL}_{s/i83^\circ}$ <p>R44 $\text{CL}_{s/i97^\circ} + \text{CL}_{s/i83^\circ}$</p> $\text{CFn}_{i83^\circ} + \text{ML}_i$

Regras Conectivas Vocabulário Prisma Trapezoidal	
<p>R44 cont.</p> $\text{CFm}_i83^\circ + \text{CL}_i83^\circ$ $\text{CFm}_i83^\circ + \text{CFn}_i97^\circ + \text{ML}$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ)$ $\text{Cu}83^\circ + (\text{Ce}83^\circ)$ $\text{CFn}_U83^\circ + (\text{ML}_U + \text{ML}_E)$ $\text{CFm}_U83^\circ + (\text{CL}_U83^\circ + \text{CL}_E83^\circ)$ $\text{CFm}_U83^\circ + \text{CFn}_U97^\circ + (\text{ML}_U + \text{ML}_E)$	<p>R51</p> $\text{CL}_{s/i}83^\circ + \text{CL}_{s/i}83^\circ$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ)$ $\text{CFn}_{s/i}97^\circ + \text{MFm}_{s/i}$ $\text{CL}_{s/i}97^\circ + \text{CL}_{s/i}97^\circ + \underline{\text{CL}_{s/i}83^\circ}$
<p>R45</p> $\text{CL}_{s/i}97^\circ + \text{CL}_{s/i}83^\circ$ $\text{CFn}_{s/i}83^\circ + \text{ML}_{s/i}$ $\text{CFm}_{s/i}83^\circ + \text{CL}_{s/i}83^\circ$ $\text{CFm}_{s/i}83^\circ + \text{CFn}_{s/i}97^\circ + \text{ML}$	<p>R52</p> $\text{CFm}_i83^\circ + \text{CL}_i83^\circ$ $\text{CFm}_i83^\circ + \text{ML}_i$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ) / \text{Cu}83^\circ + (\text{Ce}83^\circ)$ $(\text{CFm}_E83^\circ + \text{CFm}_U83^\circ) + \text{CL}_U83^\circ$ $(\text{CFm}_E83^\circ + \text{CFm}_U83^\circ) + \text{ML}_U$
<p>R46</p> $\text{CL}_{s/i}97^\circ + \text{CL}_{s/i}83^\circ$ $\text{CFn}_{s/i}83^\circ + \text{ML}_{s/i}$ $\text{CFm}_{s/i}83^\circ + \underline{\text{CL}_{s/i}83^\circ} + \text{CL}_{s/i}83^\circ$ $\text{CFm}_{s/i}83^\circ + \text{CFn}_{s/i}97^\circ + \text{ML}$	<p>R53</p> $\text{CFn}_{s/i}97^\circ + \text{MFm}_{s/i}$ $\text{CL}_i83^\circ + \text{CL}_i97^\circ$ $\text{CL}_i97^\circ + \underline{\text{CL}_i83^\circ} + \text{CL}_i97^\circ$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ) / \text{Cu}83^\circ + (\text{Ce}83^\circ)$ $\text{CL}_U97^\circ + (\text{CL}_U83^\circ + \text{CL}_E83^\circ)$ $\underline{\text{CL}_U97^\circ} + \text{CL}_U83^\circ + (\text{CL}_U97^\circ + \text{CL}_E97^\circ)$
<p>R47</p> $\text{CFn}_{s/i}97^\circ + \text{CFn}_{s/i}97^\circ$ $\text{CL}_{s/i}83^\circ + \text{CL}_{s/i}83^\circ$ $\text{CL}_{s/i}97^\circ + \underline{\text{CL}_{s/i}97^\circ} + \text{CL}_{s/i}97^\circ$	<p>R54</p> $\text{CL}_i83^\circ + \text{CL}_i83^\circ$ $\text{CL}_i97^\circ + \text{CL}_i97^\circ$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ) / \text{Cu}83^\circ + (\text{Ce}83^\circ)$ $(\text{CL}_E97^\circ + \underline{\text{CL}_U97^\circ}) + (\text{CL}_U97^\circ + \text{CL}_E97^\circ)$ $(\text{CL}_E83^\circ + \underline{\text{CL}_U83^\circ}) + (\text{CL}_U83^\circ + \text{CL}_E83^\circ)$
<p>R48</p> $\text{CL}_{s/i}97^\circ + \text{CL}_{s/i}97^\circ$ $\text{CFm}_{s/i}83^\circ + \text{CFm}_{s/i}83^\circ$ $\text{CL}_{s/i}83^\circ + \underline{\text{CL}_{s/i}83^\circ} + \text{CL}_{s/i}83^\circ$	<p>R55</p> $\text{CL}_i83^\circ + \text{CL}_i83^\circ + \text{CL}_i83^\circ$ $\text{CL}_{s/i}83^\circ + \text{CL}_{s/i}83^\circ$ $\text{CL}_i97^\circ + \text{CL}_i97^\circ$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ)$ $\text{Cu}83^\circ + (\text{Ce}83^\circ)$ $\text{CL}_U83^\circ + \text{CL}_U83^\circ + (\text{Cu}83^\circ + \text{Ce}83^\circ)$ $\text{CL}_U83^\circ + (\text{Cu}83^\circ + \text{Ce}83^\circ)$
<p>R49</p> $\text{CL}_i83^\circ + \text{CL}_i97^\circ$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ)$ $\text{Cu}83^\circ + (\text{Ce}83^\circ)$ $(\text{CL}_E97^\circ + \text{CL}_U97^\circ) + \text{CL}_U83^\circ$ $(\text{CL}_E83^\circ + \text{CL}_U83^\circ) + \text{CL}_U97^\circ$	<p>R56</p> $\text{CL}_i97^\circ + \text{CL}_i97^\circ + \text{CL}_i97^\circ$ $\text{CL}_{s/i}97^\circ + \text{CL}_{s/i}97^\circ$ $\text{CL}_i83^\circ + \text{CL}_i83^\circ$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ)$ $\text{Cu}83^\circ + (\text{Ce}83^\circ)$ $\text{CL}_U97^\circ + \text{CL}_U97^\circ + (\text{Cu}97^\circ + \text{Ce}97^\circ)$ $\text{CL}_U83^\circ + (\text{Cu}83^\circ + \text{Ce}83^\circ)$
<p>R50</p> $\text{CFm}_i83^\circ + \text{CL}_i83^\circ$ $\text{CFm}_i83^\circ + \text{ML}_i$ $\text{Cu}97^\circ + (\text{Ce}97^\circ)$ $\text{Cu}83^\circ + (\text{Ce}83^\circ)$ $(\text{CFm}_E83^\circ + \text{CFm}_U83^\circ) + (\text{CL}_U83^\circ + \text{CL}_E83^\circ)$ $(\text{CFm}_E83^\circ + \text{CFm}_U83^\circ) + (\text{ML}_U + \text{ML}_E)$	

APÊNDICE J – SIMULAÇÃO DOS CONJUNTOS CONECTIVOS – TIPOLOGIAS DE JUNÇÃO DA 1ª FASE GERAÇÃO FORMAL

Figura 168: Simulação do Conjunto Conectivo A para prisma retangular.



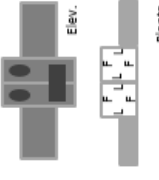







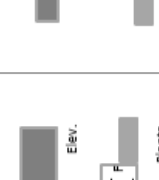

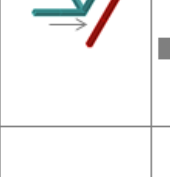

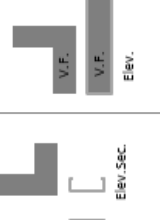

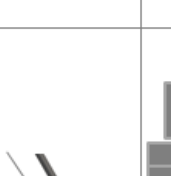

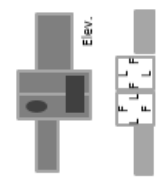



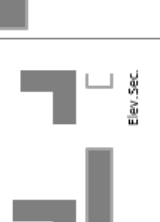

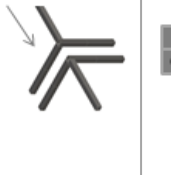
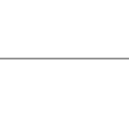
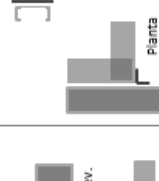



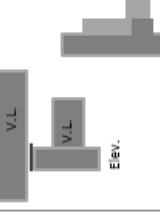



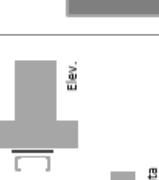

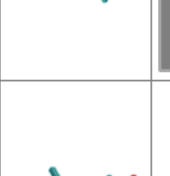



JUNÇÕES E COMPONENTES - PRISMA RETANGULAR							
SISTEMA CONECTIVO - A							
							
							
							
							
							

Figura 170: Simulação do conjunto conectivo C para prisma retangular.

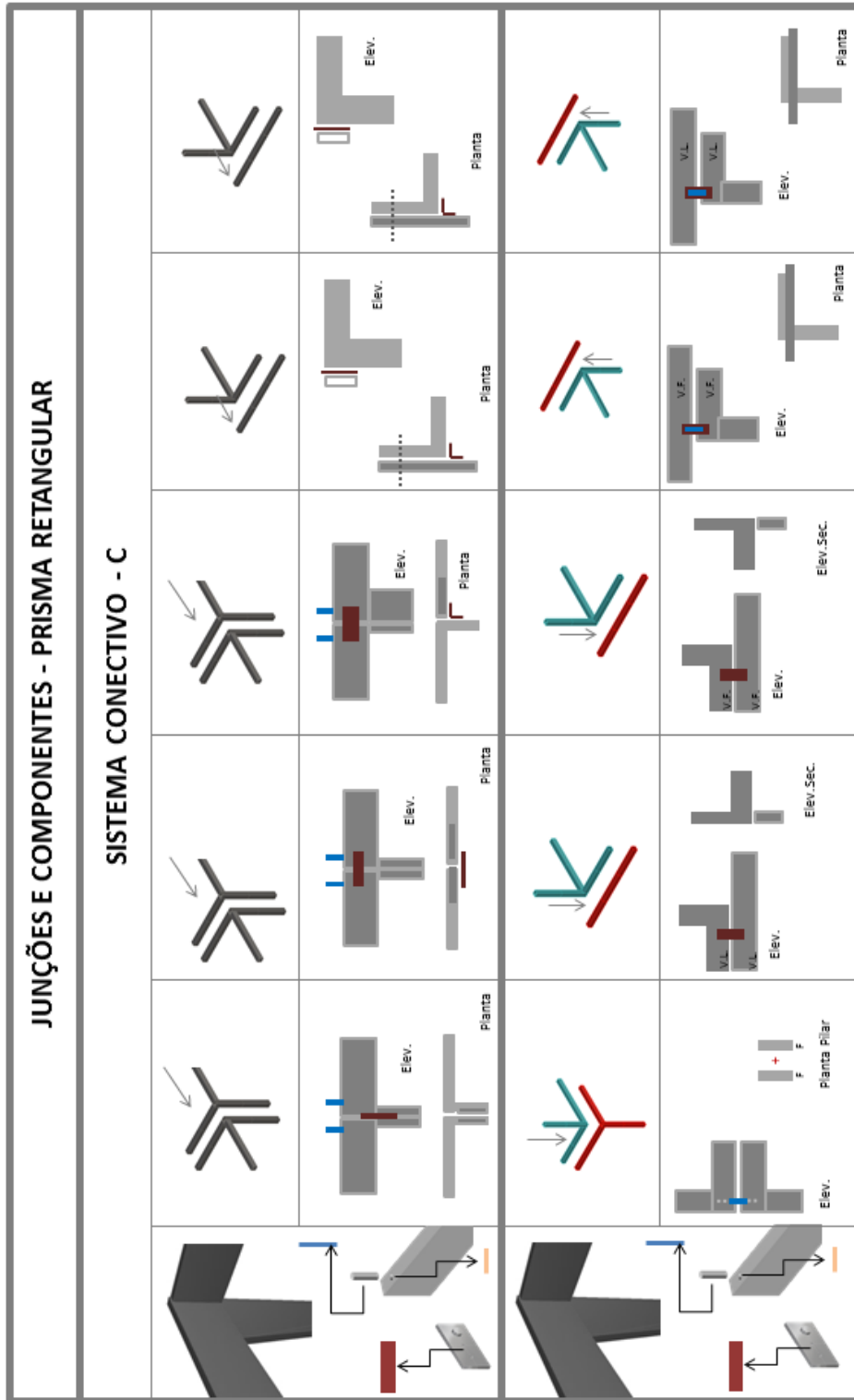


Figura 171: Simulação do conjunto conectivo D para prisma retangular.




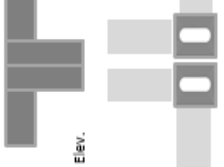
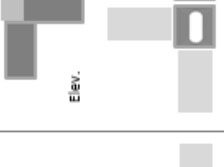
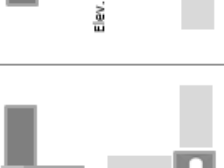




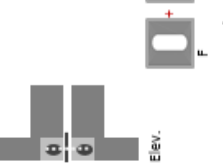
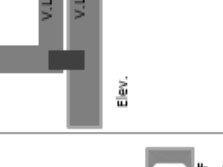











JUNÇÕES E COMPONENTES - PRISMA RETANGULAR						
SISTEMA CONECTIVO - D						
						
						
						
						

Figura 173: Simulação do conjunto conectivo C e D para prisma triangular.

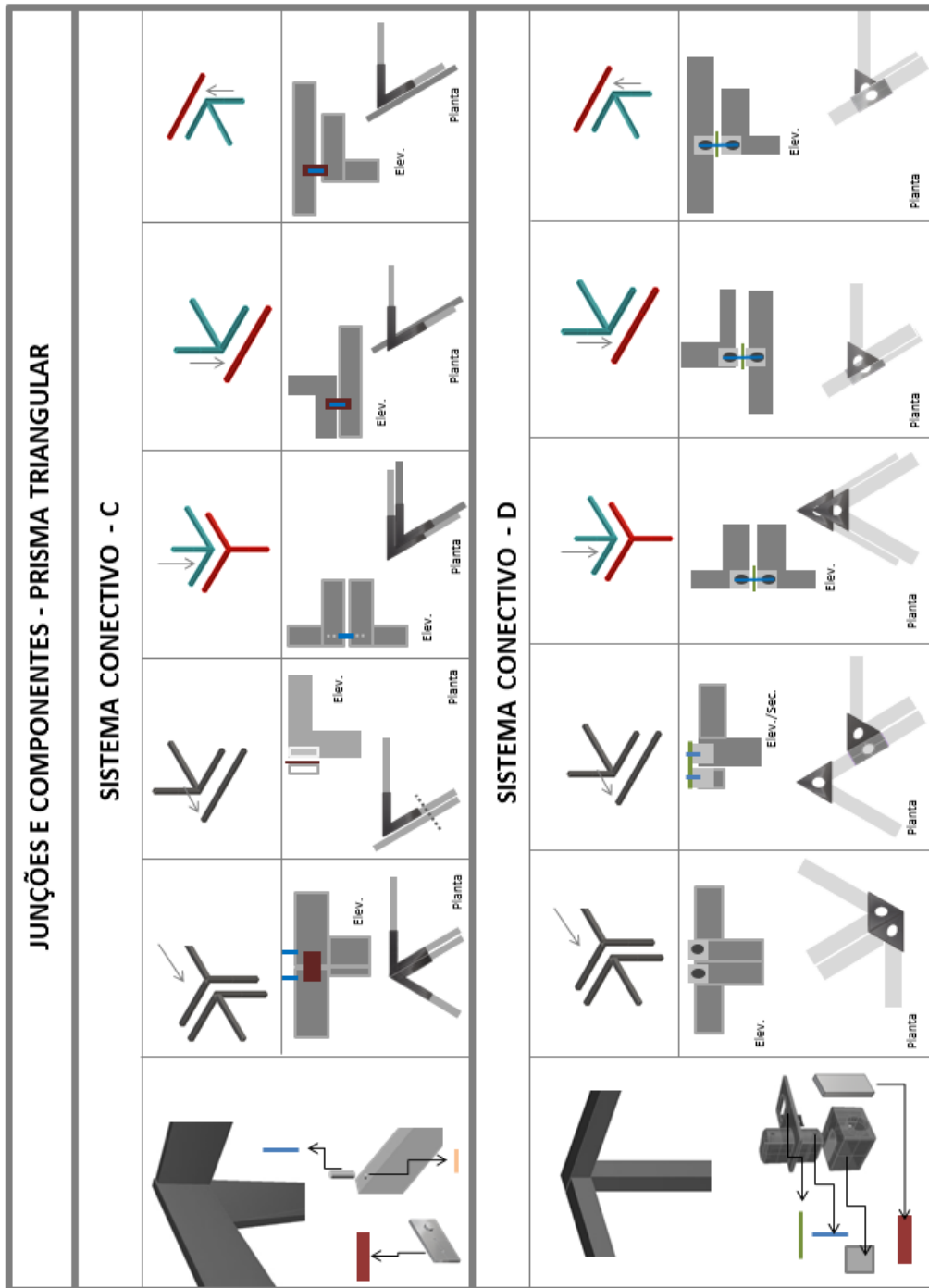


Figura 174: Simulação do conjunto conectivo A e B para prisma trapezoidal.

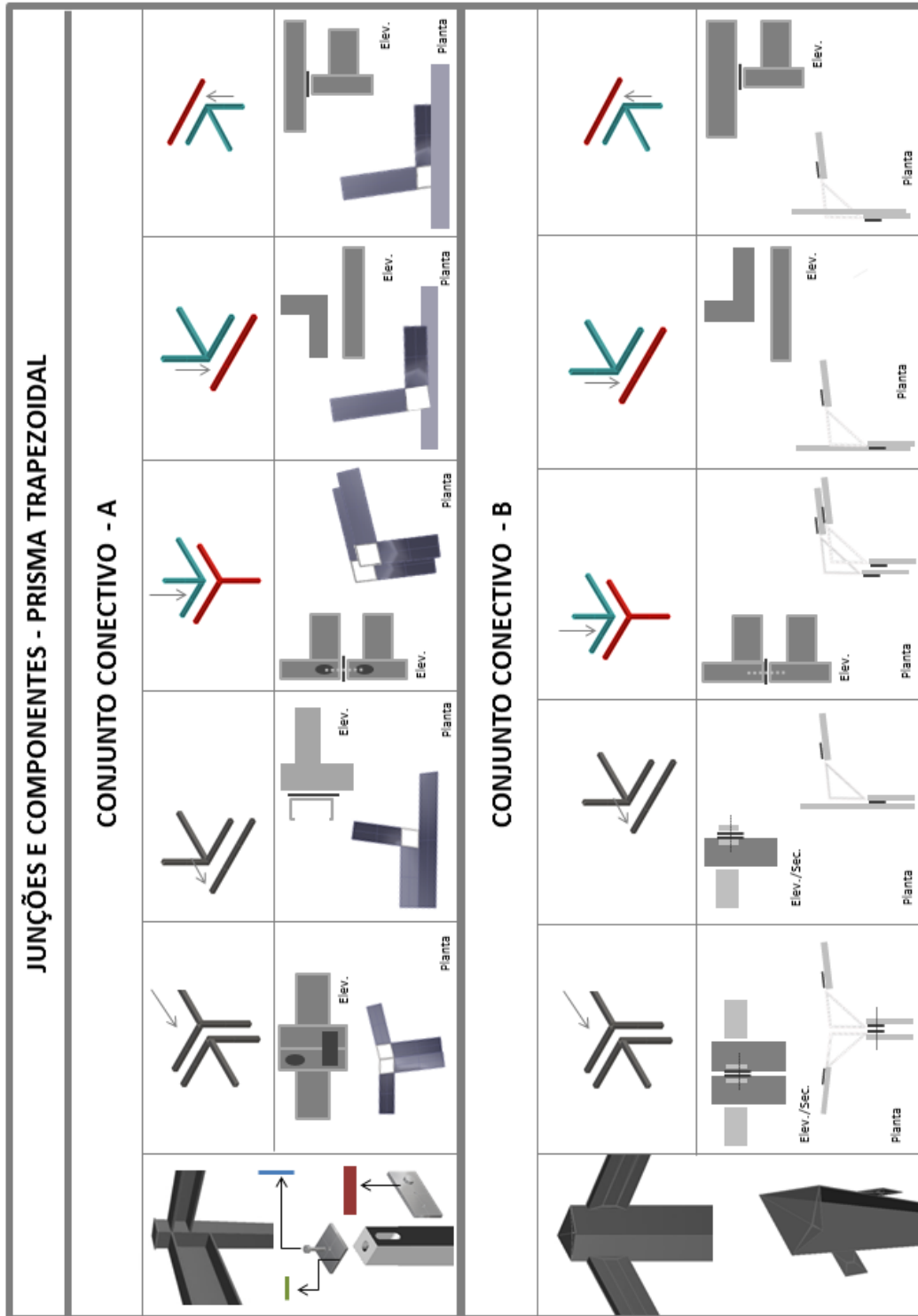
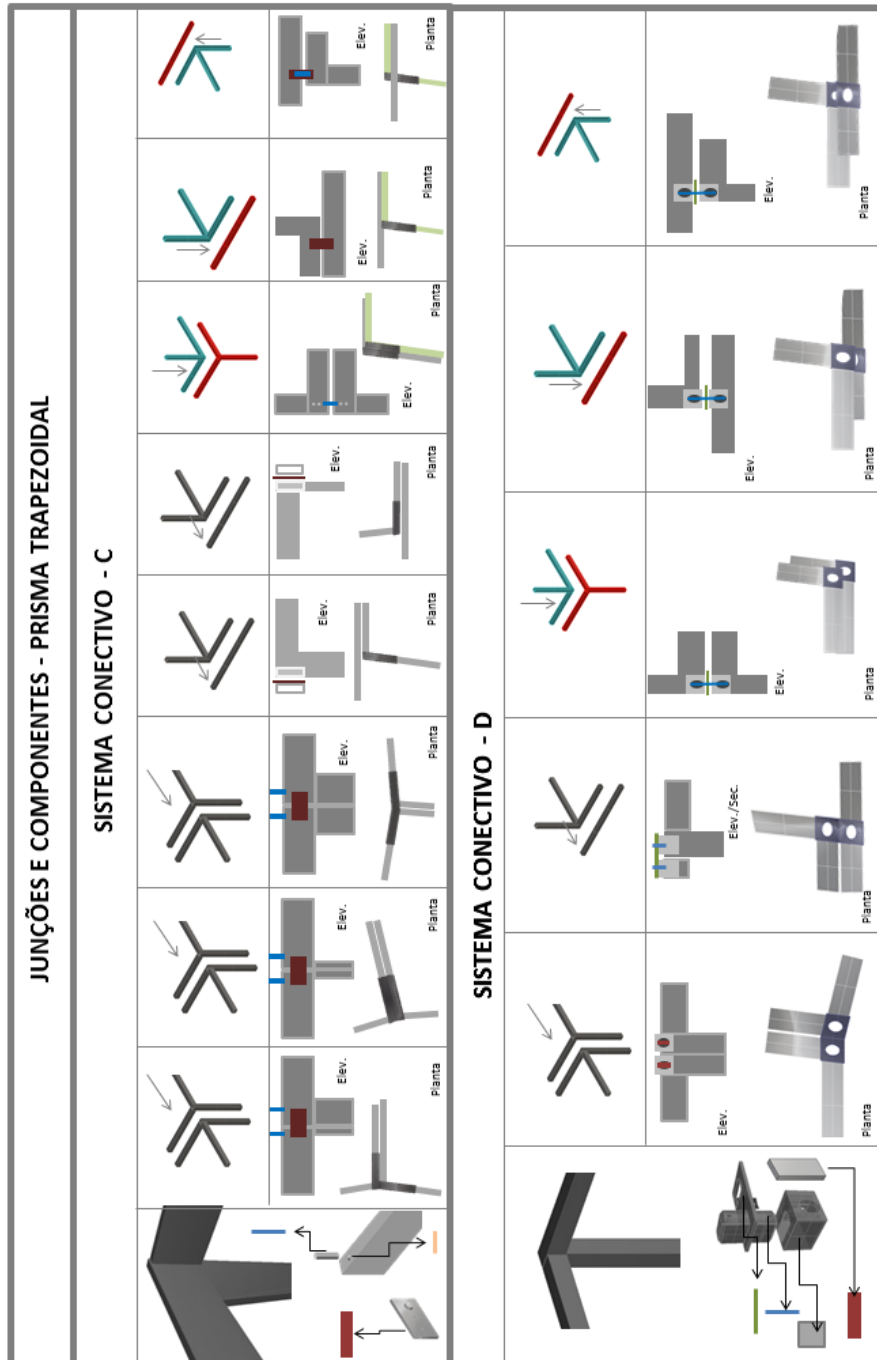
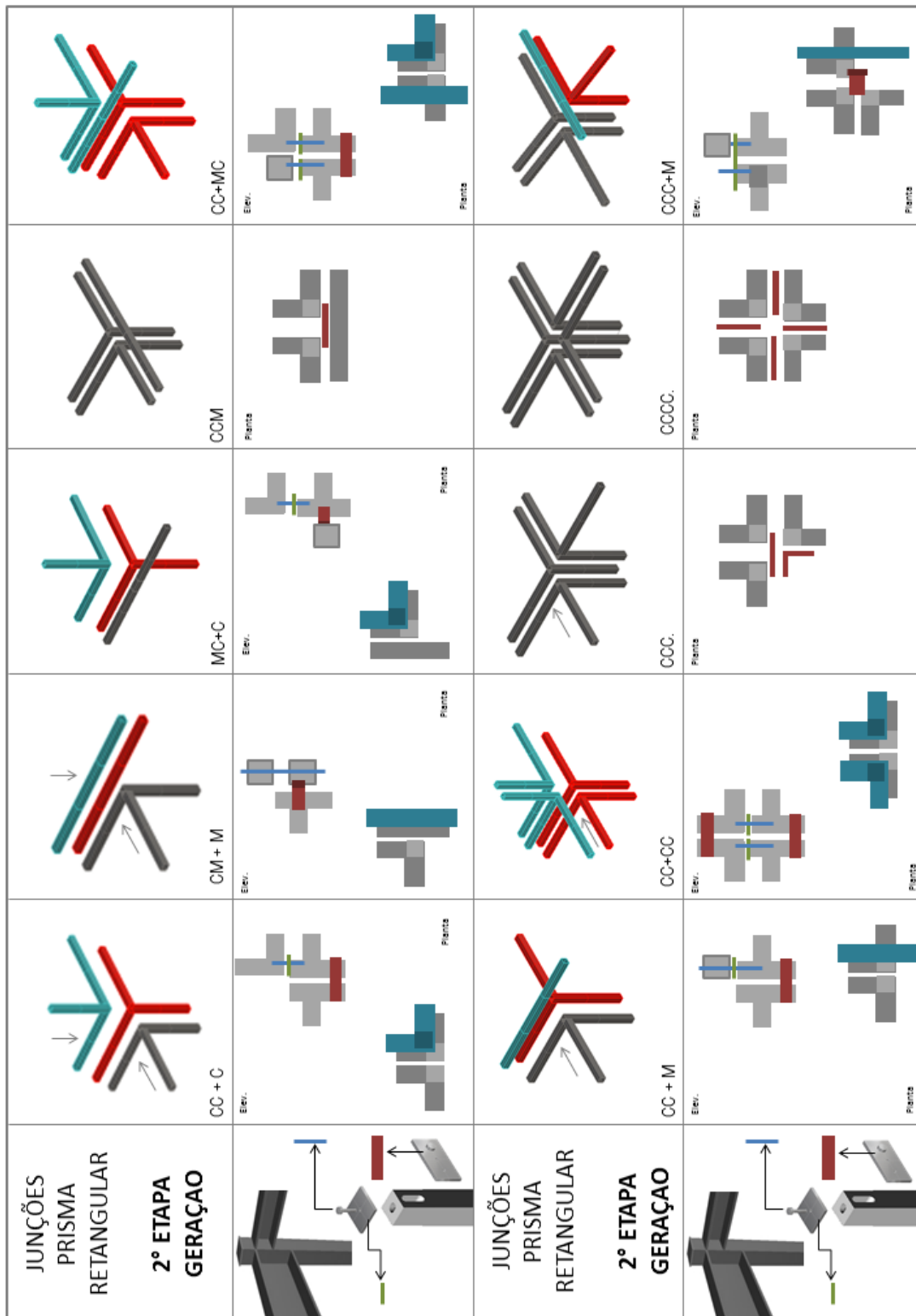


Figura 175: Simulação do conjunto conectivo C e D para prisma trapezoidal.



APÊNDICE K – SIMULAÇÃO DOS CONJUNTOS CONECTIVOS – TIPOLOGIAS DE JUNÇÃO DA 2ª FASE GERAÇÃO FORMAL

Figura 176: Simulação do conjunto conectivo A para prisma retangular.



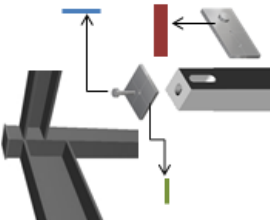
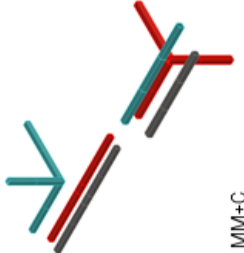
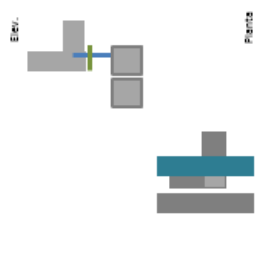
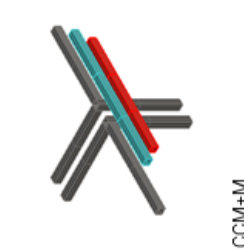
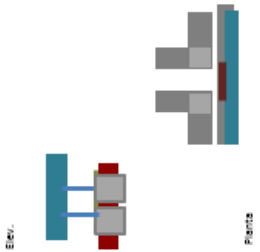

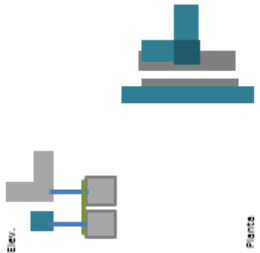
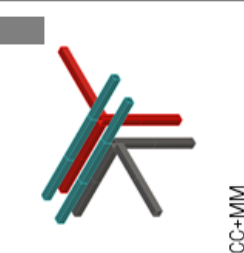
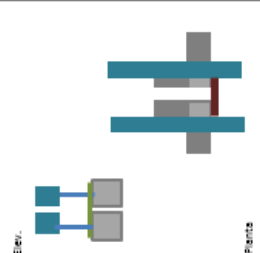
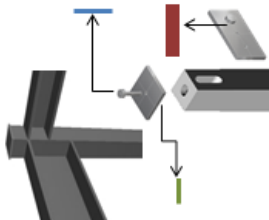
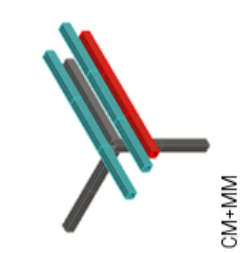
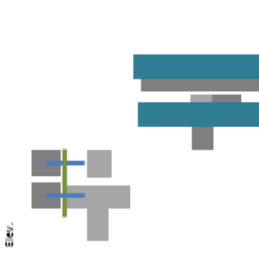

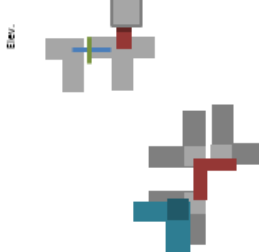

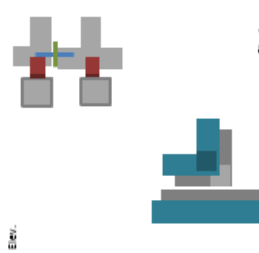
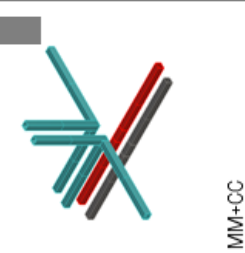
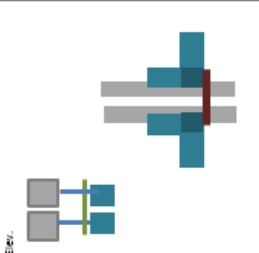
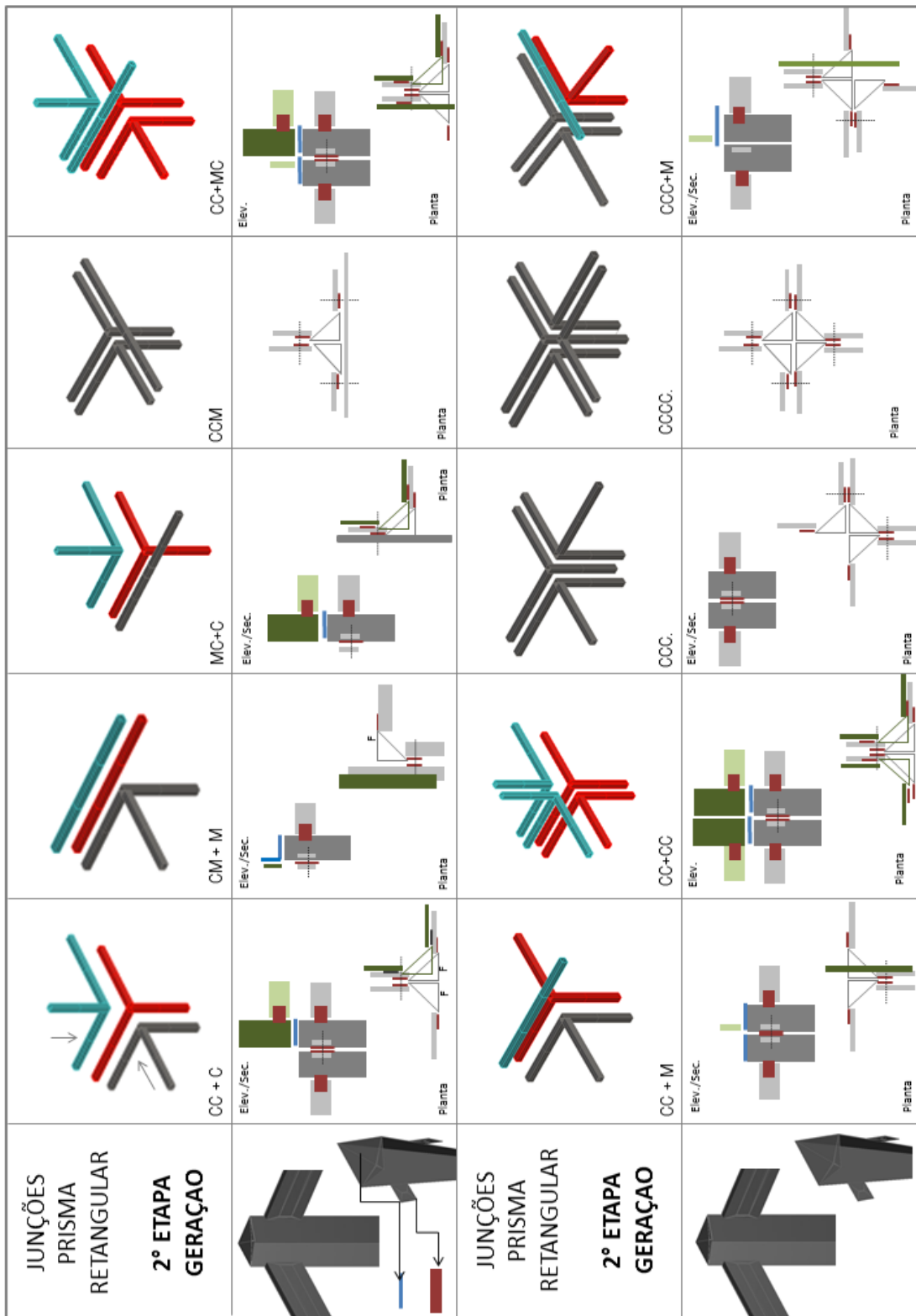
<p>JUNÇÕES PRISMA RETANGULAR 2º ETAPA GERAÇÃO</p>		 <p>MM+C</p>	 <p>Elev. Planta</p>	 <p>CCM+M</p>	 <p>Elev. Planta</p>	 <p>MM+CM</p>	 <p>Elev. Planta</p>	 <p>CC+MM</p>	 <p>Elev. Planta</p>
<p>JUNÇÕES PRISMA RETANGULAR 2º ETAPA GERAÇÃO</p>		 <p>CM+MM</p>	 <p>Elev. Planta</p>	 <p>CCC+C</p>	 <p>Elev. Planta</p>	 <p>MC+MC</p>	 <p>Elev. Planta</p>	 <p>MM+CC</p>	 <p>Elev. Planta</p>

Figura 177: Simulação do conjunto conectivo B para prisma retangular.



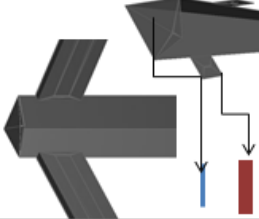



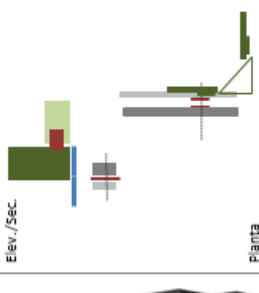
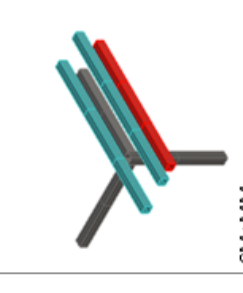
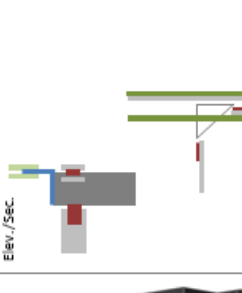
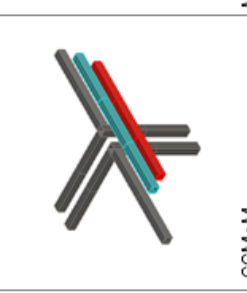
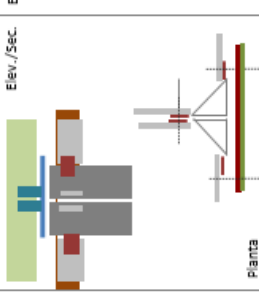

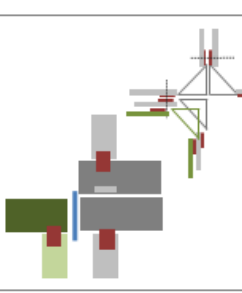

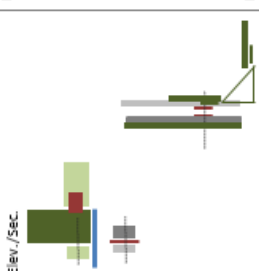

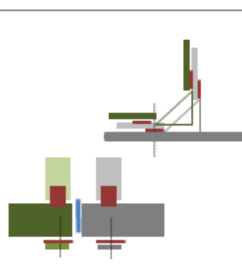

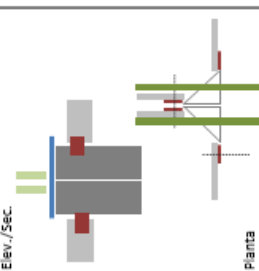

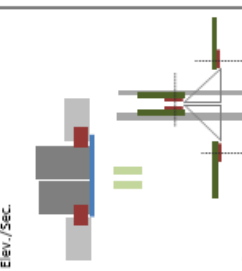
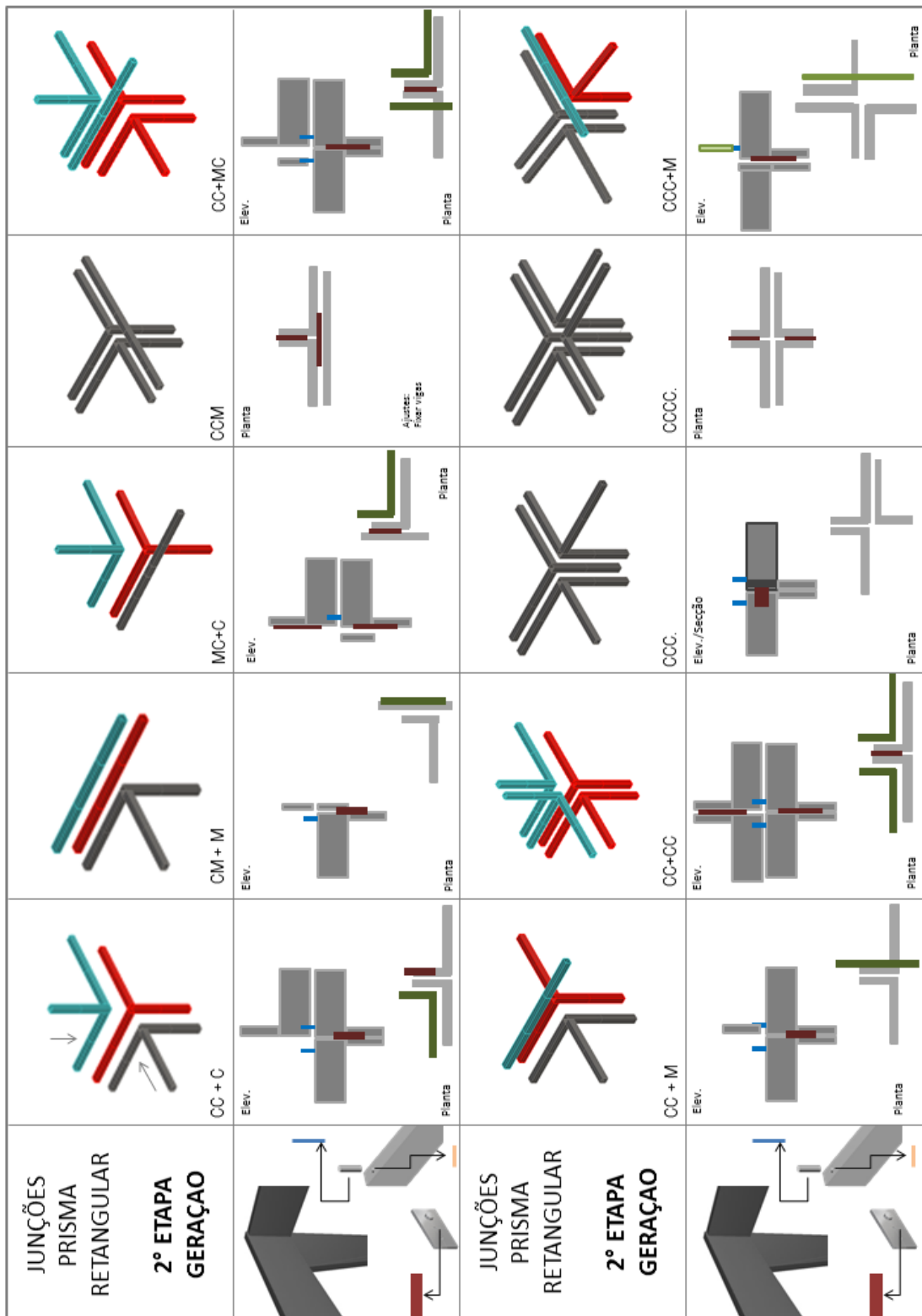
<p>JUNÇÕES PRISMA RETANGULAR 2º ETAPA GERAÇÃO</p>		<p>JUNÇÕES PRISMA RETANGULAR 2º ETAPA GERAÇÃO</p> 	
	<p>MM+C Elev./Sec. Planta</p> 		<p>CM+MM Elev./Sec. Planta</p> 
	<p>CCM+M Elev./Sec. Planta</p> 		<p>CCC+C Elev./Sec. Planta</p> 
	<p>MM+CM Elev./Sec. Planta</p> 		<p>MC+MC Elev./Sec. Planta</p> 
	<p>CC+MM Elev./Sec. Planta</p> 		<p>MM+CC Elev./Sec. Planta</p> 

Figura 178: Simulação do conjunto conectivo C para prisma retangular.



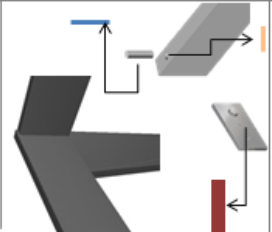
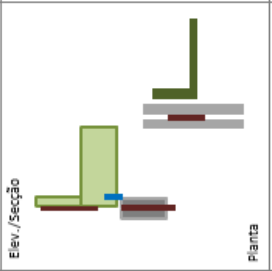
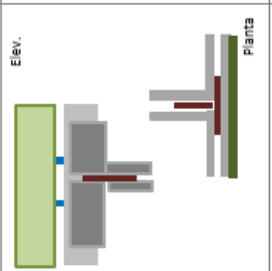
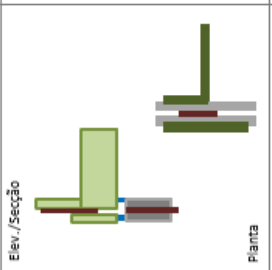
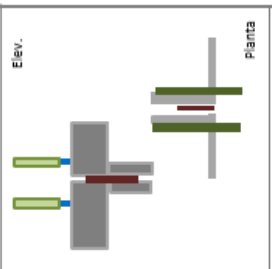
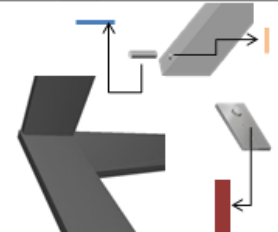
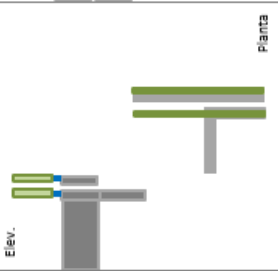
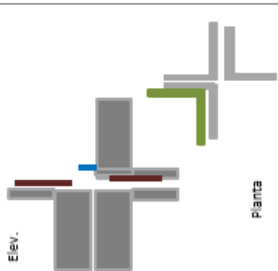
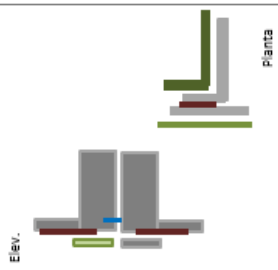
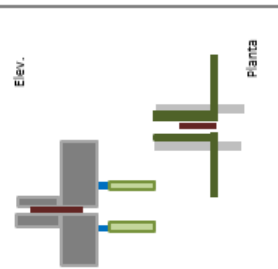
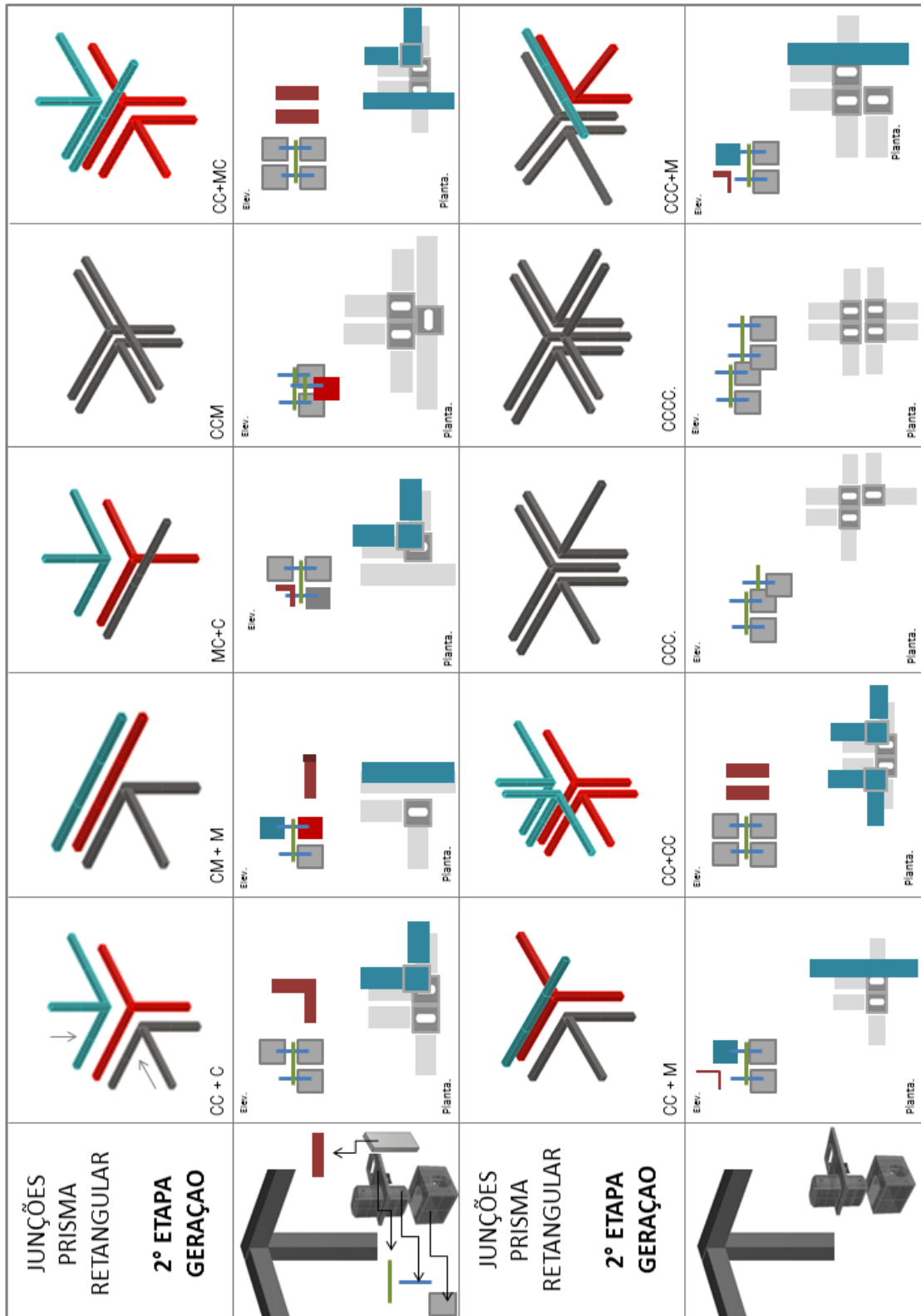
<p>JUNÇÕES PRISMA RETANGULAR 2º ETAPA GERAÇÃO</p> 	<p>MM+C Elev./Secção</p>  <p>Planta</p>	<p>CCM+M Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>MM+CM Elev./Secção</p>  <p>Planta</p>	<p>CC+MM Elev.</p>  <p>Planta</p>
<p>JUNÇÕES PRISMA RETANGULAR 2º ETAPA GERAÇÃO</p> 	<p>CM+MM Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>CCC+C Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>MC+MC Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>MM+CC Elev.</p>  <p>Planta</p>

Figura 179: Simulação do conjunto conectivo D para prisma retangular.



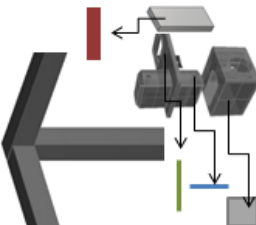
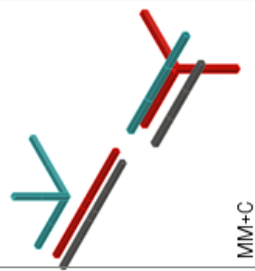
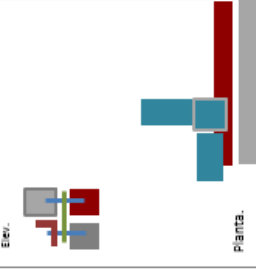
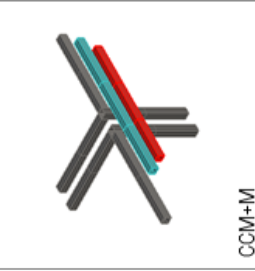
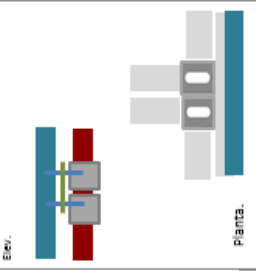



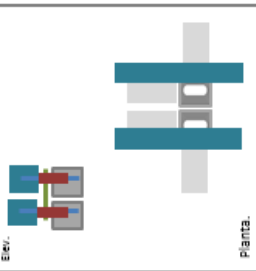

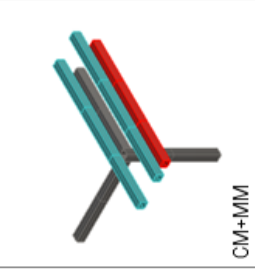
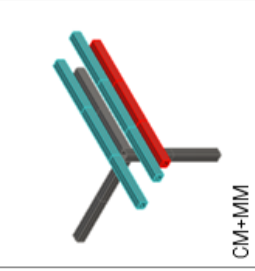






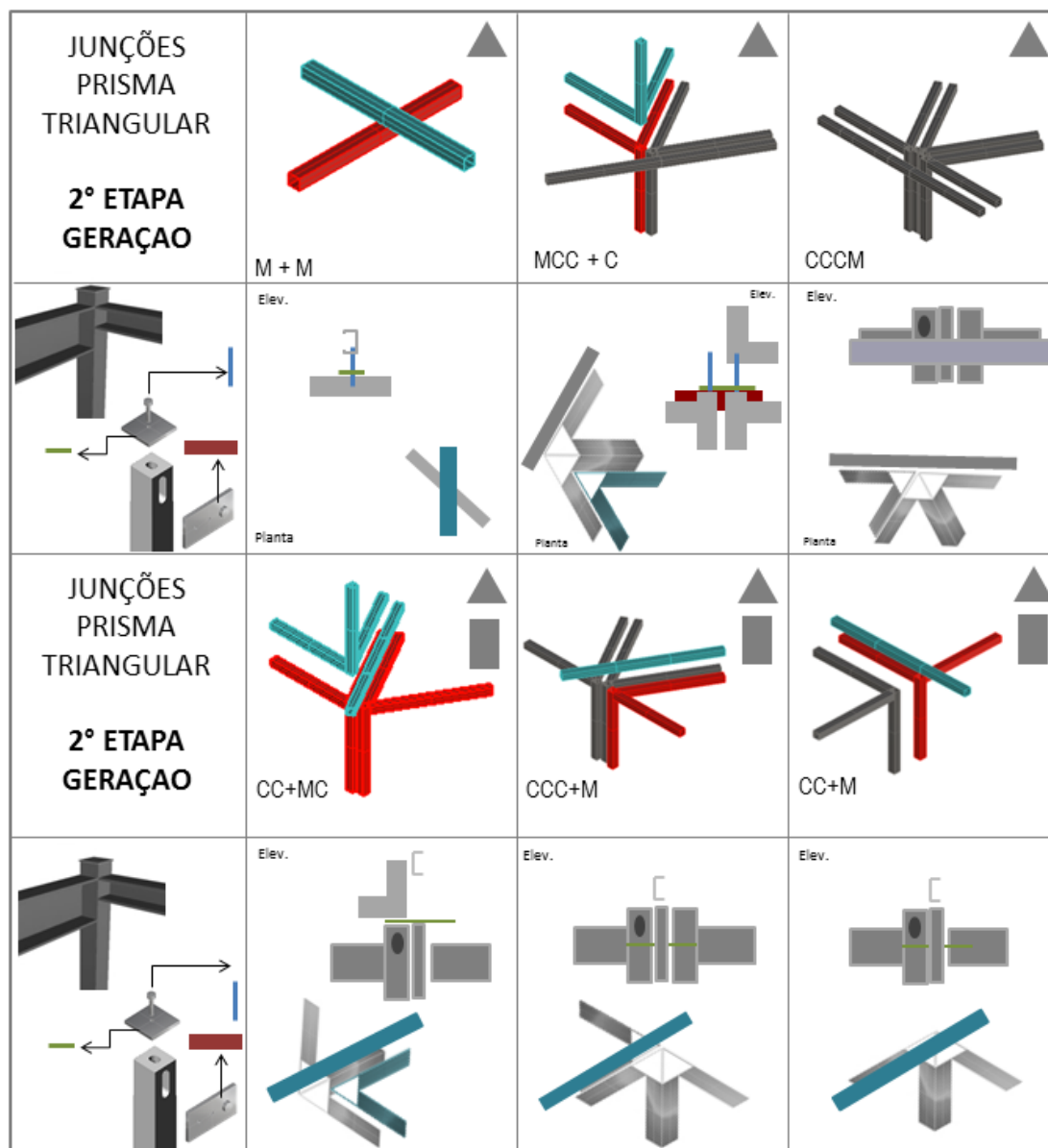
<p>JUNÇÕES PRISMA RETANGULAR 2º ETAPA GERAÇÃO</p>		 <p>MM+C</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p>	 <p>CCM+M</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p>	 <p>MM+CM</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p>	 <p>CC+MM</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p>
<p>JUNÇÕES PRISMA RETANGULAR 2º ETAPA GERAÇÃO</p>		 <p>CM+MM</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p>	 <p>CCC+C</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p>	 <p>MC+MC</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p>	 <p>MM+CC</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p>

Figura 180: Simulação do conjunto conectivo A para prisma triangular.




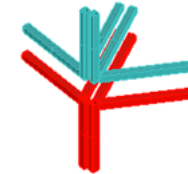

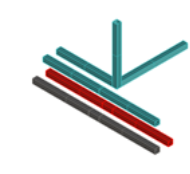
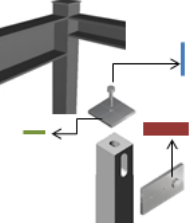
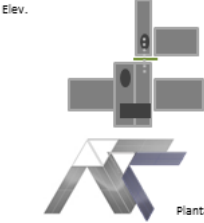
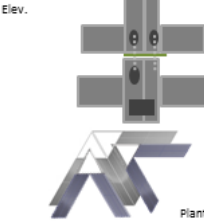
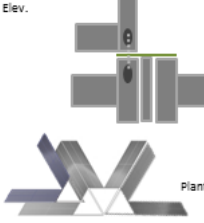
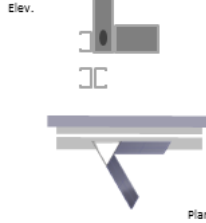


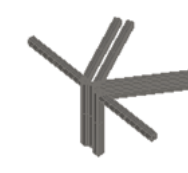

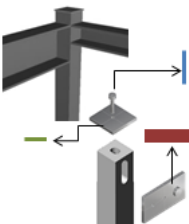
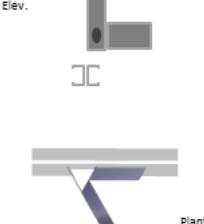

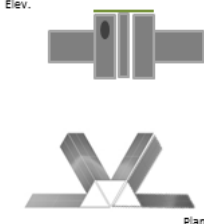
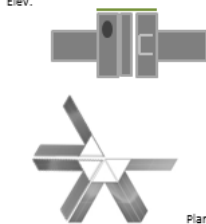
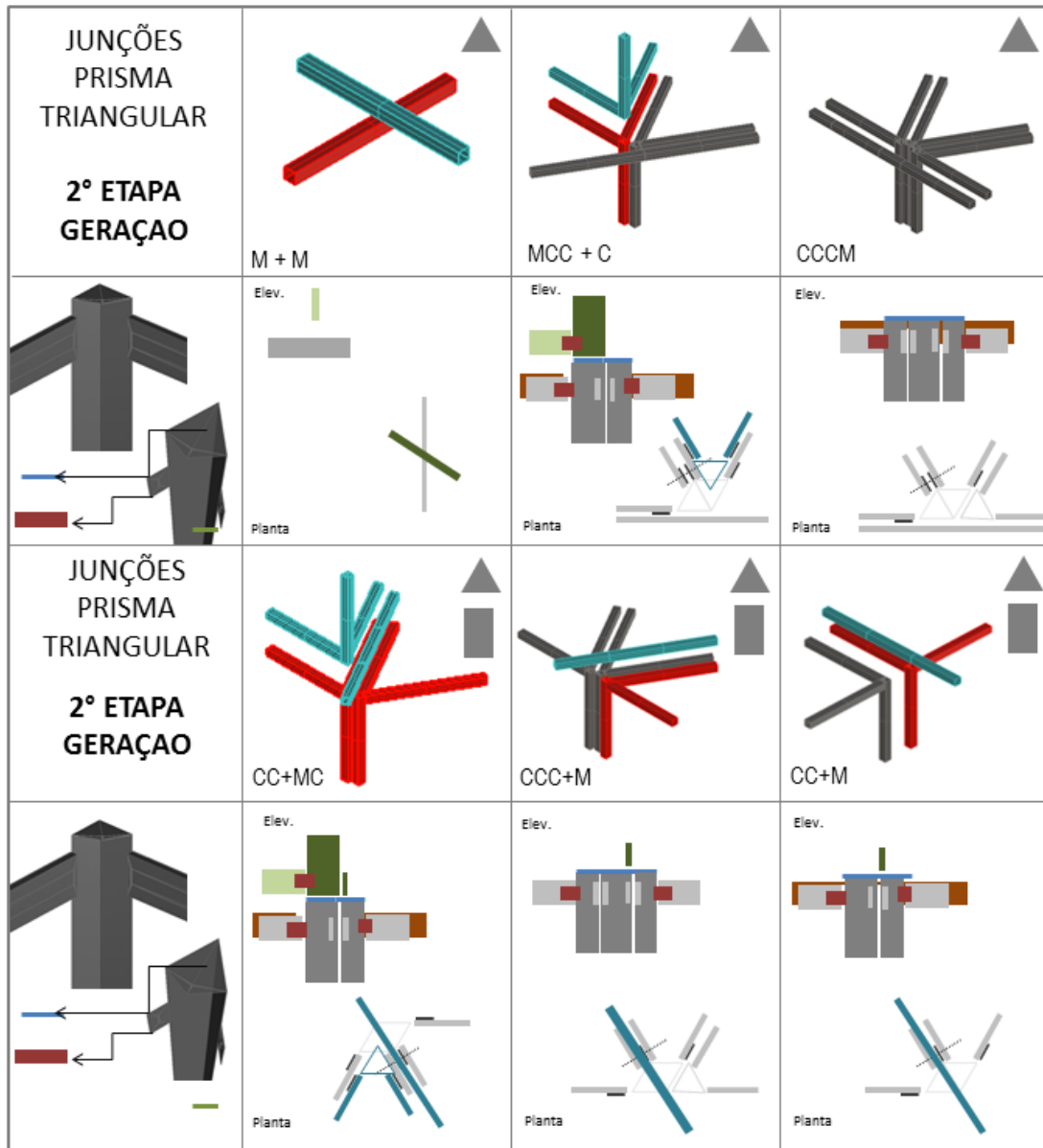
<p>JUNÇÕES PRISMA TRIANGULAR</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>CC + C</p>	 <p>CC+CC</p>	 <p>CCC+C</p>	 <p>MM+CM</p>
	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>
<p>JUNÇÕES PRISMA TRIANGULAR</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>MM+C</p>	 <p>MCC</p>	 <p>CCC.</p>	 <p>CCCC.</p>
	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>

Figura 181: Simulação do conjunto conectivo B para prisma triangular.




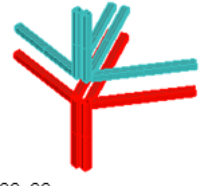


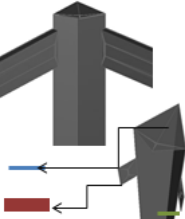
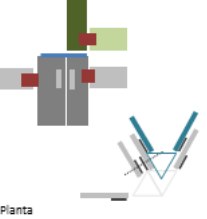
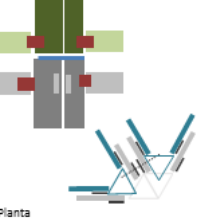
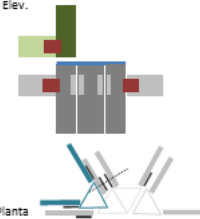
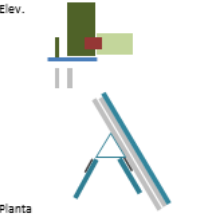




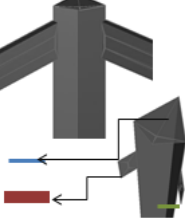
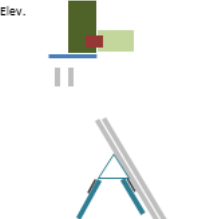
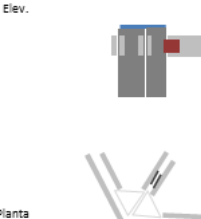
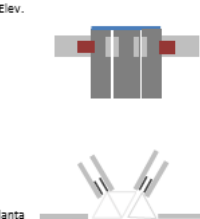
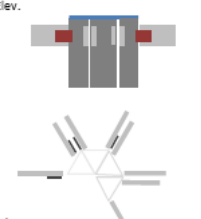
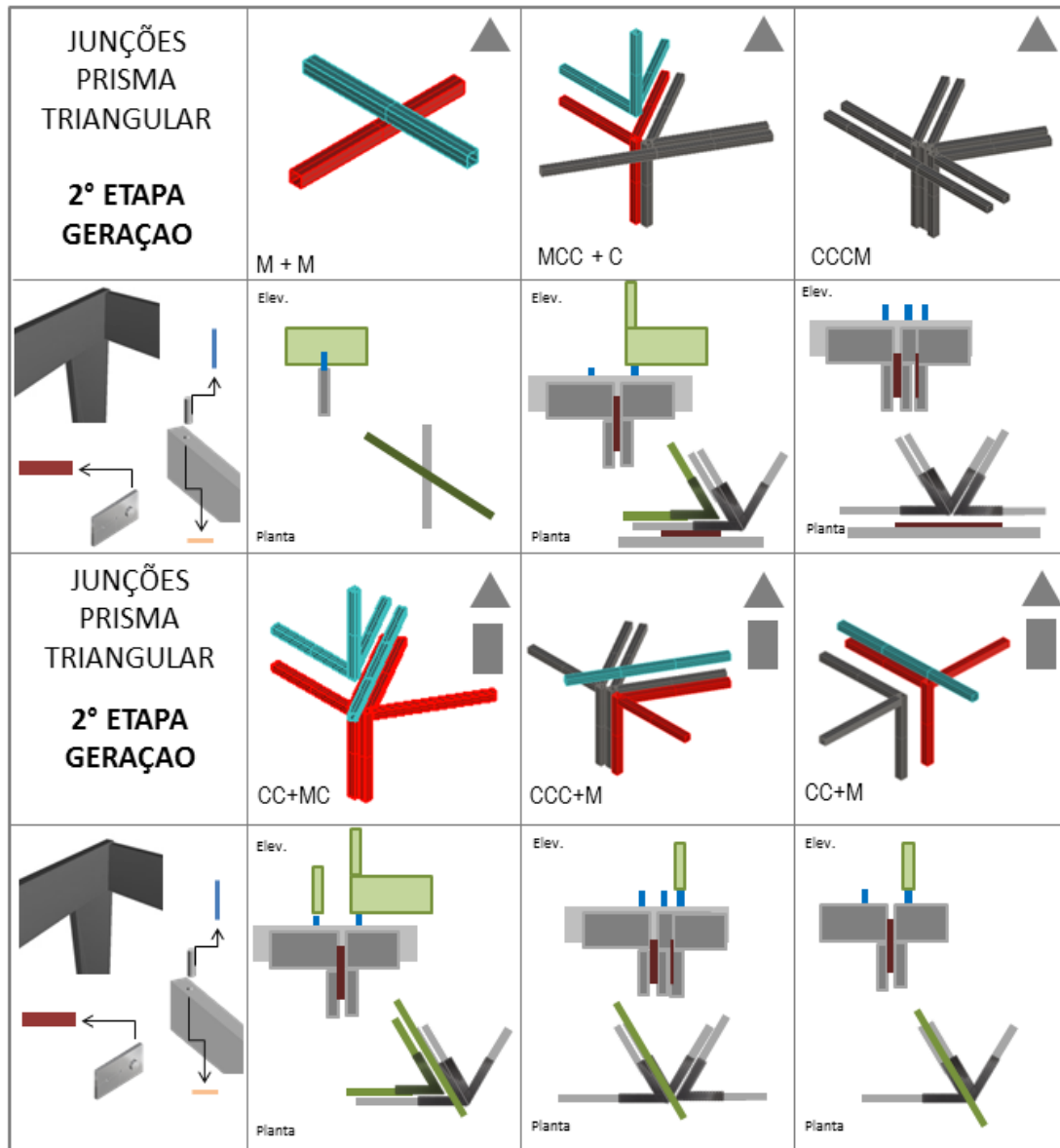
<p>JUNÇÕES PRISMA TRIANGULAR</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>CC + C</p>	 <p>CC+CC</p>	 <p>CCC+C</p>	 <p>MM+CM</p>
	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>
<p>JUNÇÕES PRISMA TRIANGULAR</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>MM+C</p>	 <p>MCC</p>	 <p>CCC.</p>	 <p>CCCC.</p>
	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>

Figura 182: Simulação do conjunto conectivo C para prisma triangular.







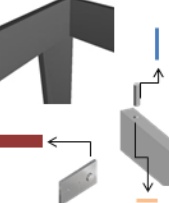
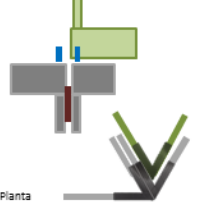
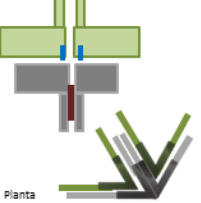
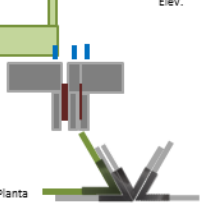
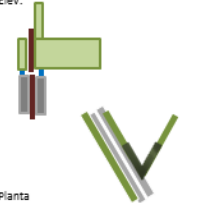




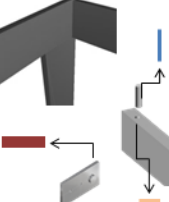
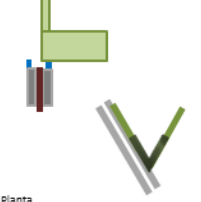
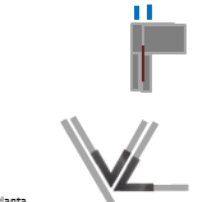
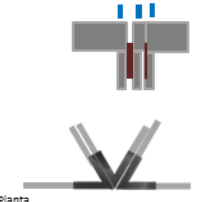
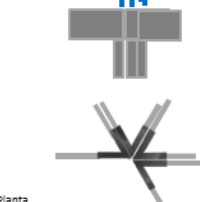
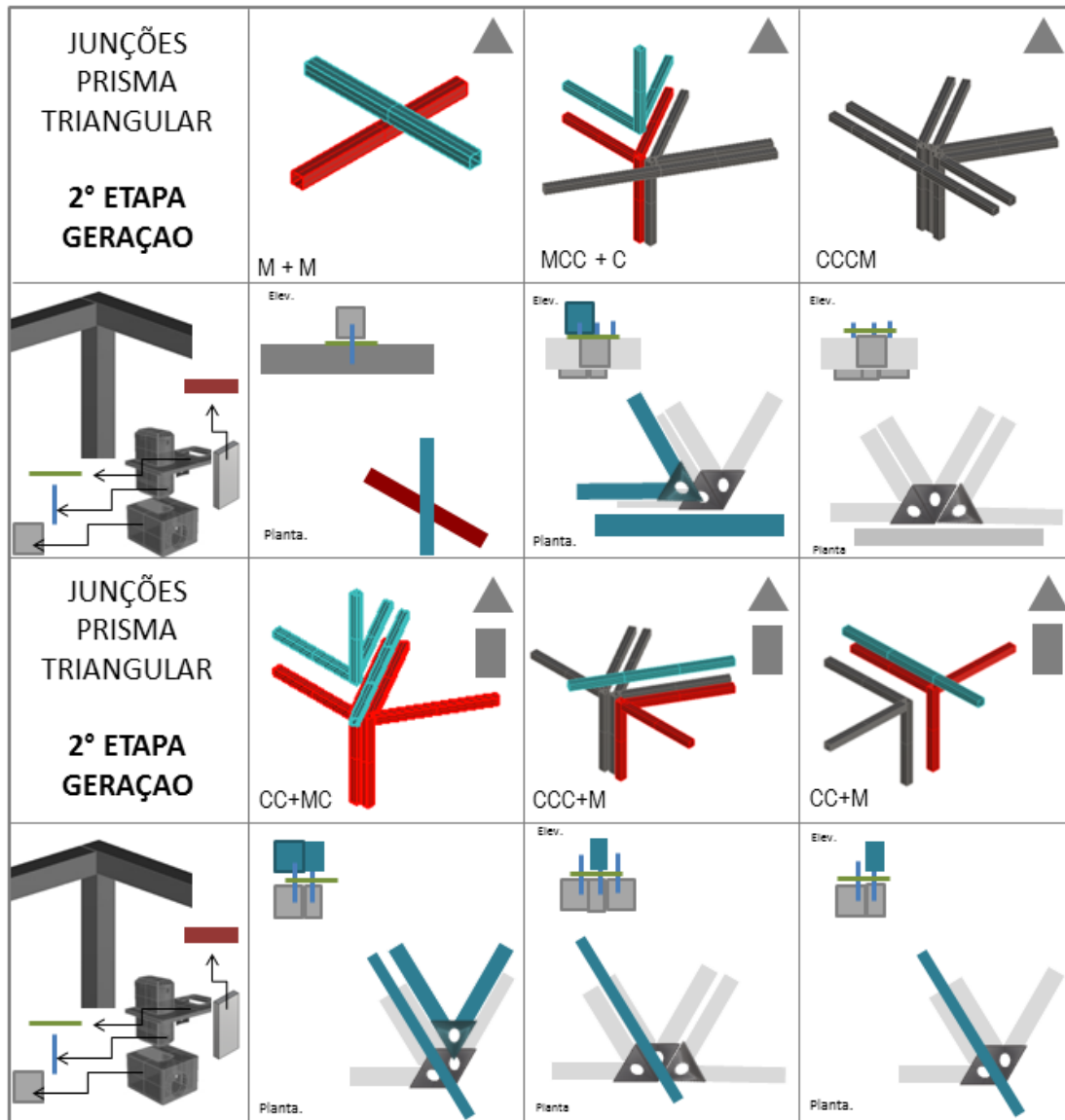
<p>JUNÇÕES PRISMA TRIANGULAR</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>CC + C</p>	 <p>CC+CC</p>	 <p>CCC+C</p>	 <p>MM+CM</p>
	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>	 <p>Planta</p>
<p>JUNÇÕES PRISMA TRIANGULAR</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>MM+C</p>	 <p>MCC</p>	 <p>CCC.</p>	 <p>CCCC.</p>
	 <p>Elev.</p> <p>Planta</p>	 <p>Elev.</p> <p>Planta</p>	 <p>Elev.</p> <p>Planta</p>	 <p>Elev.</p> <p>Planta</p>

Figura 183: Simulação do conjunto conectivo D para prisma triangular.







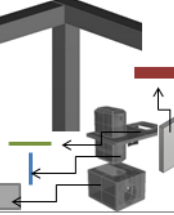












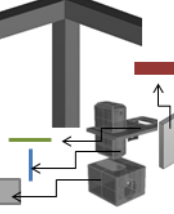








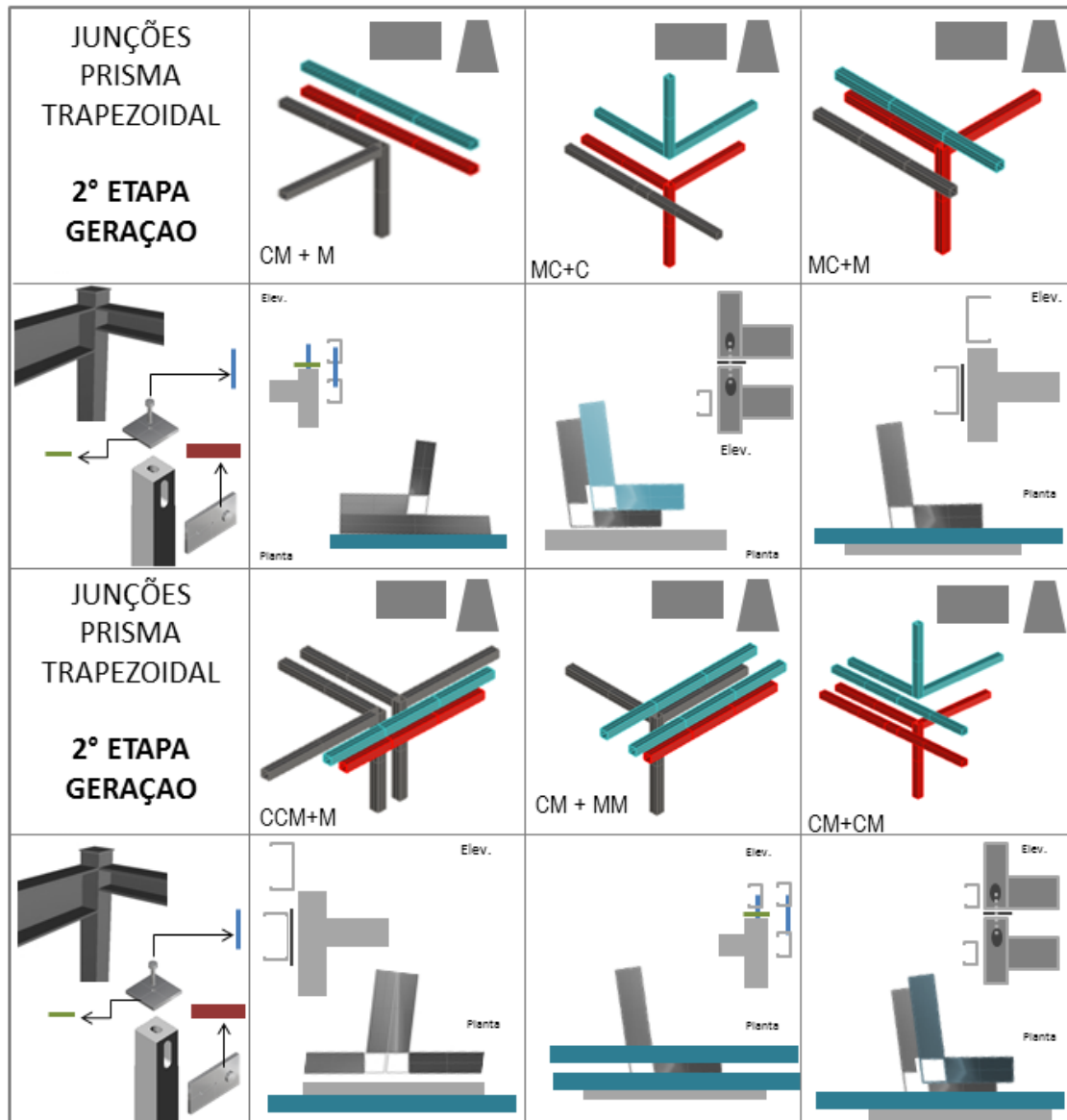
<p>JUNÇÕES PRISMA TRIANGULAR</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>CC + C</p>	 <p>CC+CC</p>	 <p>CCC+C</p>	 <p>MM+CM</p>
	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p> 
<p>JUNÇÕES PRISMA TRIANGULAR</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>MM+C</p>	 <p>MCC</p>	 <p>CCC.</p>	 <p>CCCC.</p>
	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta.</p> 

Figura 184: Simulação do conjunto conectivo A para prisma trapezoidal.



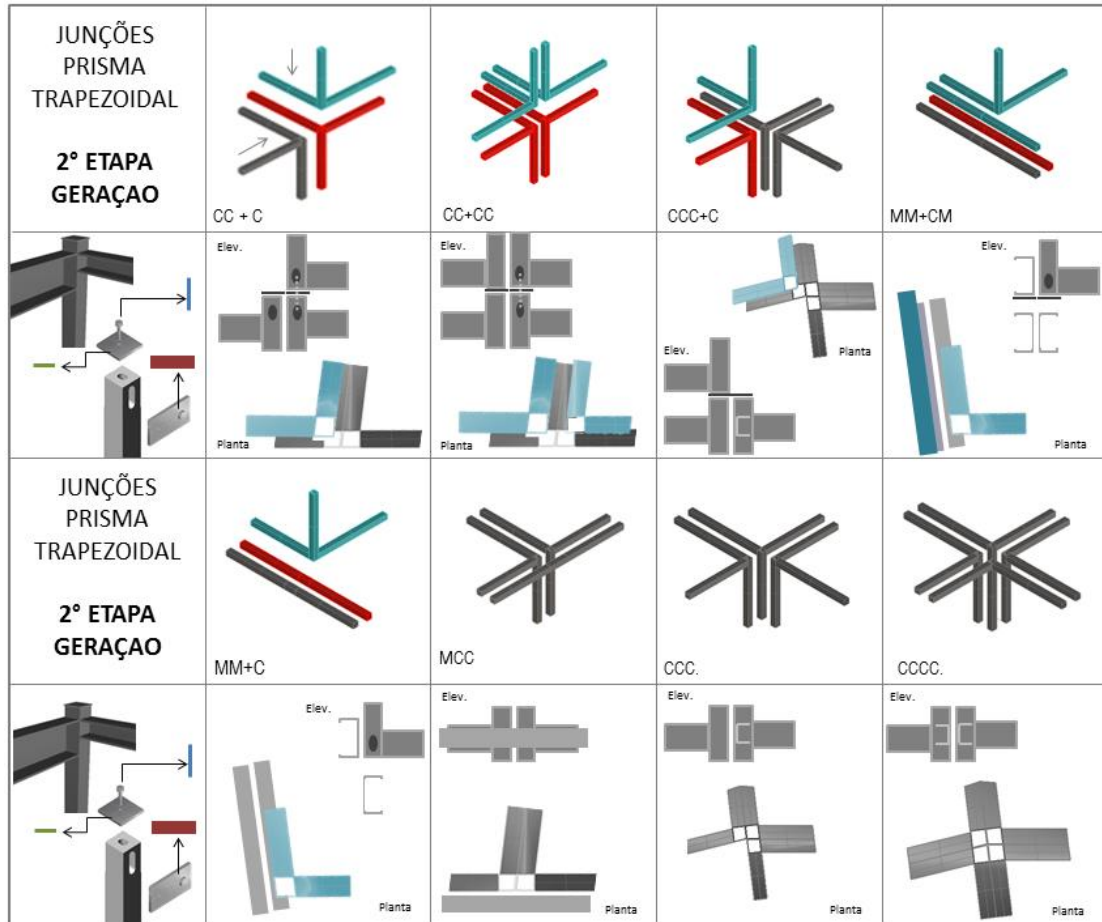
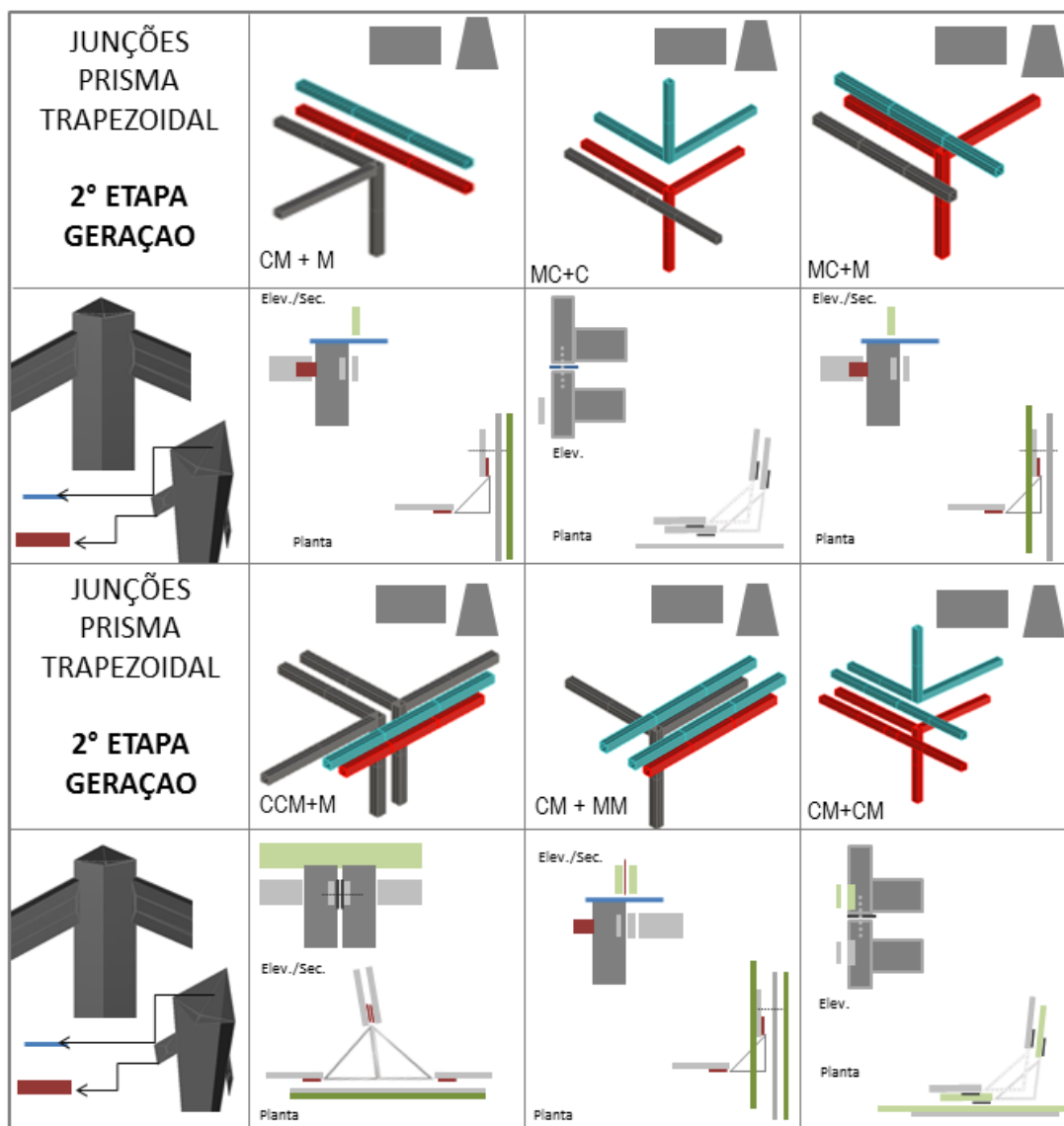


Figura 185: Simulação do conjunto conectivo B para prisma trapezoidal.







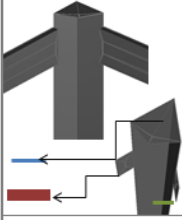
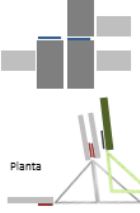
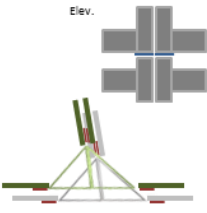
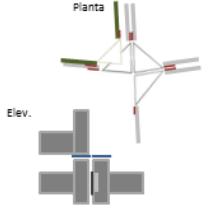

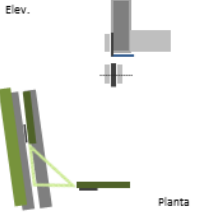




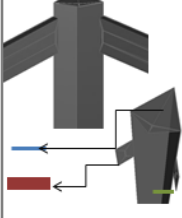
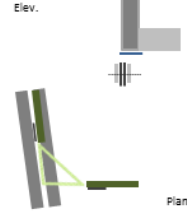
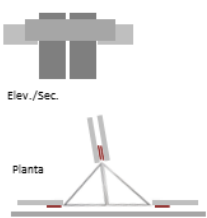
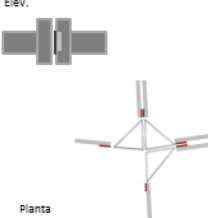
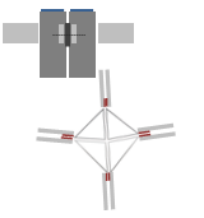
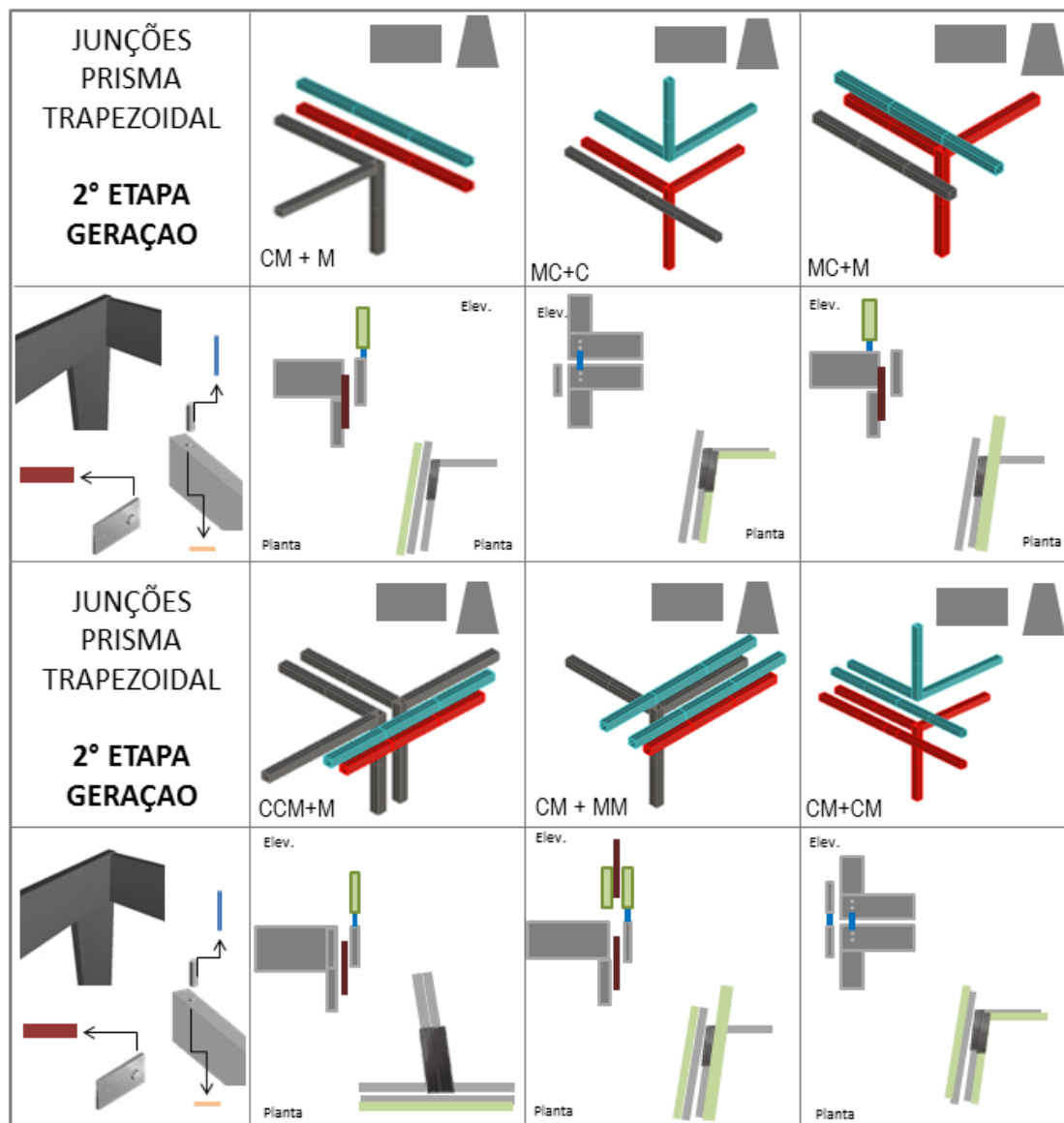
<p>JUNÇÕES PRISMA TRAPEZOIDAL</p> <p>2° ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>CC + C</p>	 <p>CC+CC</p>	 <p>CCC+C</p>	 <p>MM+CM</p>
	<p>Elev./Sec.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev.</p> 	<p>Planta</p>  <p>Elev.</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>
<p>JUNÇÕES PRISMA TRAPEZOIDAL</p> <p>2° ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>MM+C</p>	 <p>MCC</p>	 <p>CCC.</p>	 <p>CCCC.</p>
	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev./Sec.</p>  <p>Planta</p>	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p>	

Figura 186: Simulação do conjunto conectivo C para prisma trapezoidal.







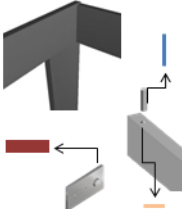
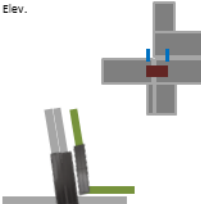

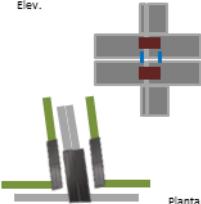

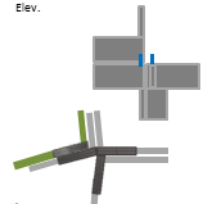

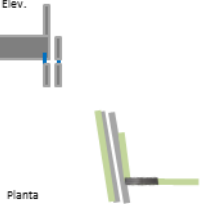





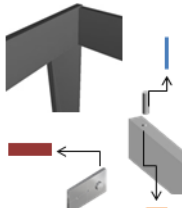



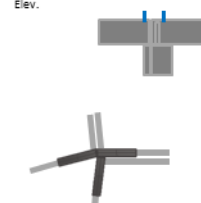

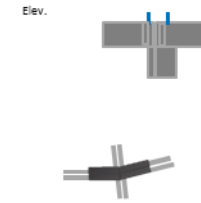
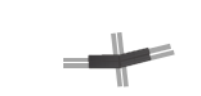
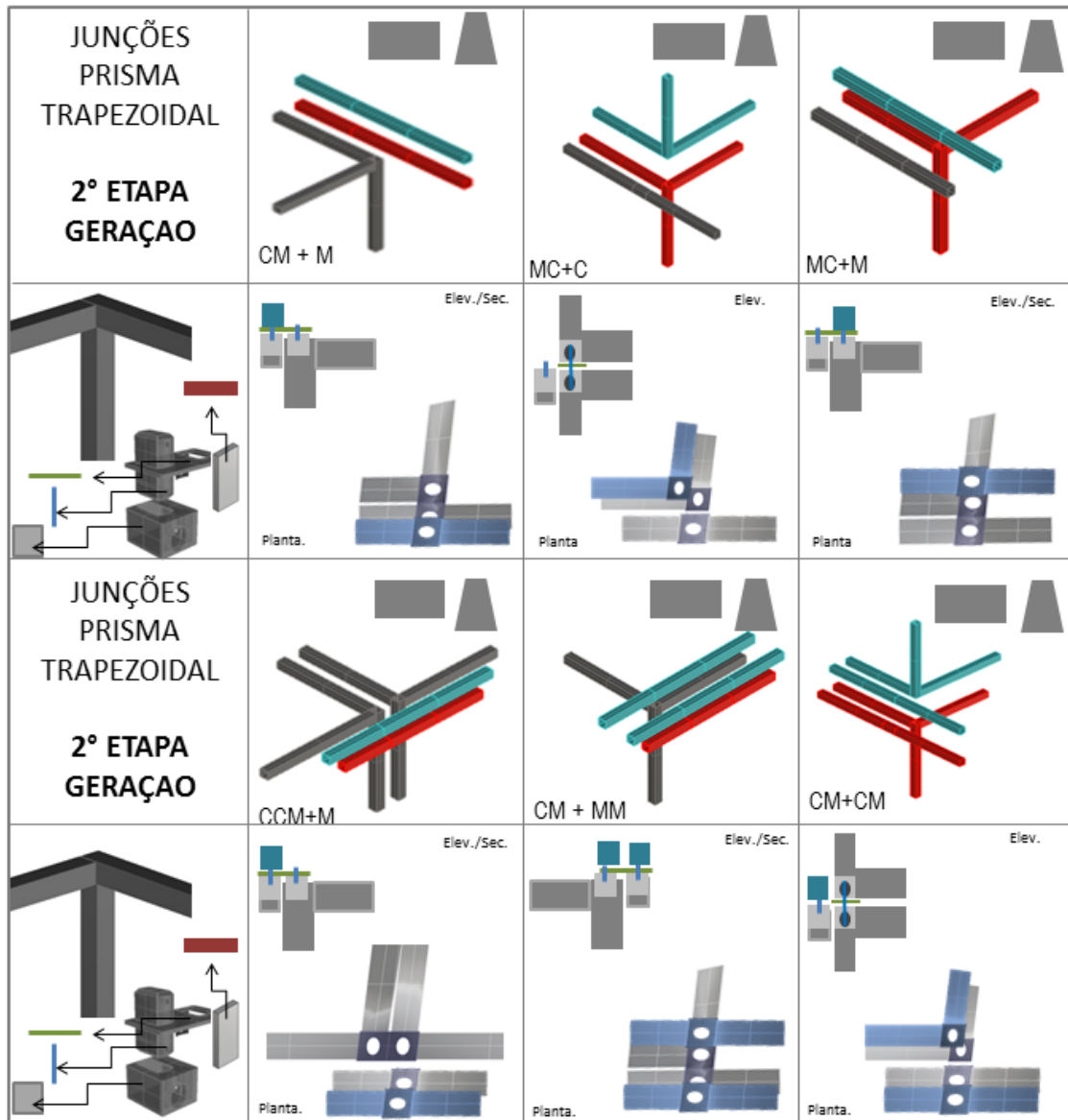
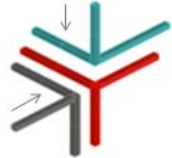



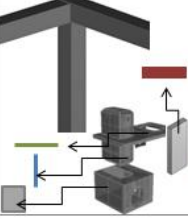
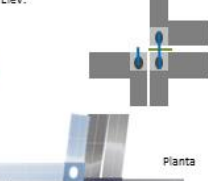





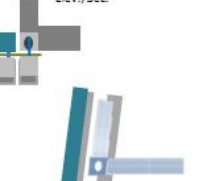





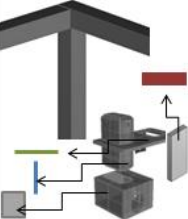
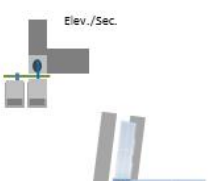

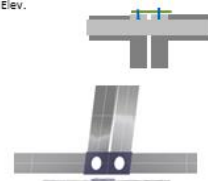

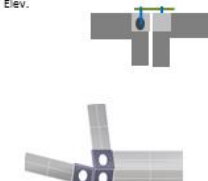

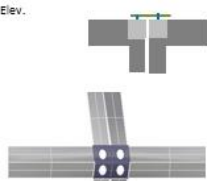

<p>JUNÇÕES PRISMA TRAPEZOIDAL</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>CC + C</p>	 <p>CC+CC</p>	 <p>CCC+C</p>	 <p>MM+CM</p>
	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 
<p>JUNÇÕES PRISMA TRAPEZOIDAL</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>MM+C</p>	 <p>MCC</p>	 <p>CCC.</p>	 <p>CCCC.</p>
	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 

Figura 187: Simulação do conjunto conectivo D para prisma trapezoidal.



<p>JUNÇÕES PRISMA TRAPEZOIDAL</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>CC + C</p>	 <p>CC+CC</p>	 <p>CCC+C</p>	 <p>MM+CM</p>
	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev./Sec.</p>  <p>Planta</p> 
<p>JUNÇÕES PRISMA TRAPEZOIDAL</p> <p>2º ETAPA GERAÇÃO</p>	 <p>MM+C</p>	 <p>MCC</p>	 <p>CCC.</p>	 <p>CCCC.</p>
	<p>Elev./Sec.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 	<p>Elev.</p>  <p>Planta</p> 

APÊNDICE L – DIRETRIZES CONECTIVAS PARA AS JUNÇÕES GERADAS

Figura 188: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: CC; CCM; CCC; CCCC; CCCM.

	CC	CCM	CCC	CCCC	CCCM
A	\square	\square	\square	\square	\square
B	\triangle	\triangle	\triangle	\triangle	\triangle
C	\parallel	\parallel	\parallel	\parallel	\parallel
D	\square	\square	\square	\square	\square

* - quando rotacionado, frente com frente; pouca área contato entre pilares

Figura 189: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: CM; MC+C; CM+CM; MCC+C; CC+MC

	CM	MC+C	CM+CM	MCC+C	CC+MC
A □ □					
B					
C					
D ● ●					

* - quando rotacionado; frente com frente; pouca área contato entre pilares

Figura 190: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: C+C; CCC+C; CC+CC; CC+C

	C+C	CCC+C	CC+CC	CC+C
A □ □				
B				
C				
D ● ●				

* - quando rotacionado; frente com frente; pouca área contato entre pilares

Figura 191: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: M+C; MM+C; MM+MC; MM+CC

	M+C	MM+C	MM+MC	MM+CC
	 P>V EO +Ch C mv _ _mvc	 P>V EO +Ch C mv _ _mvc	 P>V EO +Ch C mv _ _mvc	 P>V EO +Ch F mv _ _mvc
	 P>V EO _ _	 P>V EO _ _	 P>V EO _ _	 P>V EO _ _
	 +Ch mvc F C V F V _ _	 +Ch mvc F C V F V _ _	 +Ch mvc F C V F V _ _	 +Ch mvc F C V F V _ _
	 * L * _ _	 L _ _	 L _ _	 L _ _

* - quando rotacionado; frente com frente; pouca área contato entre pilares / ATF# - quando houver 2 módulos com balanços

Figura 192: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: C+M; MC+M; CM+M; CM+MM; CC+MM

	C+M	MC+M	CM+M	CM+MM	CC+MM
A					
B					
C					
D					

* - quando rotacionado; frente com frente; pouca área contato entre pilares

Figura 193: Diretrizes conectivas para os três tipos de prismas e para os 04 conjuntos conectivos nas junções: CCM+M; CC+M; CCC+M; M+M

	CCM+M	CC+M	CCC+M	M+M
A	<p>1°</p> <p>V V</p> <p>Vm Vc</p> <p>● mv2</p>	<p>1°</p> <p>V V</p> <p>Vm Vc</p> <p>● mv2</p>	<p>1°</p> <p>V V</p> <p>Vm Vc</p> <p>● mv2</p>	<p>P>V</p> <p>E0</p> <p>C</p> <p>+Ch</p>
B	<p>P>V</p> <p>● mv2</p> <p>V V</p> <p>Vm Vc</p> <p>+Ch</p>	<p>P>V</p> <p>F</p> <p>v v</p>	<p>P>V</p> <p>F</p> <p>v v</p>	<p>P>V</p> <p>E0</p> <p>□</p>
C	<p>● mv2</p> <p>V V</p> <p>Vm V</p> <p>+Ch</p>	<p>1°</p> <p>C</p> <p>I V</p> <p>● mvc</p> <p>v v*</p>	<p>1°</p> <p>C</p> <p>I V</p> <p>● mvc</p> <p>v v</p>	<p>● mvmv</p> <p>ATF</p>
D	<p>● L2</p> <p>□ L2</p> <p>— A</p>	<p>□ L</p> <p>— A</p>	<p>□ L</p> <p>— A</p>	<p>ATF</p> <p>□ L</p> <p>— A</p>

* - quando rotacionado; frente com frente; pouca área contato entre pilares

APÊNDICE N – RELAÇÃO PADRÕES E GRAU DE MODIFICAÇÃO NECESSÁRIO

Figura 196: Regras e grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma retangular








































REGRAS	 A	 B	 C	 D	JUNÇÕES	
	R1	OK	OK	OK	OK	CC
	R2	P	OK	P	P	CC
	R3	OK	OK	OK	OK	C4C
	R4	A	P	P	P	CC; CM
	R5	A	P	P	OK	CM
	R6	A	P	P	P	CM
	R7	R	R	P	P	CM; MAC
	R8	R	R	P	P	CM; MAC
	R9	P	OK	P	P	CC; CCM
	R10	A	OK	P	P	CC; CCC
	R11	OK	OK	OK	OK	CC; CC4C
	R12	R	R	P	A	CC; MM4C; CCM; CM; MAC
	R13	A	OK	P	P	CC; CCM; CCC
	R14	P	OK	P	P	CC; CCC; CC4C; CCM
	R15	R	R	P	A	CC; CCM; MM4C; CCM; CM; MAC; CCM
	R16	A	OK	P	OK	CC; CCCC
	R17	A	OK	P	P	CC; CC4C; CCM; CCM; C4C
	R18	R	R	P	A	CC; CCC; CM; MAC; MM4C; CCM
	R19	A	P	P	P	CC; CM; C4C; CCM; CC4C
	R20	OK	OK	OK	OK	CC; CC4C; C4C
	R21	R	R	P	A	CC; MM4C; CM; CM; MAC; CCM
	R22	A	P	P	P	CC; CM; CC4C; MAC
	R23	A	P	P	P	CC; CM; CC4C; CCM; C4C
	R24	R	R	P	A	CC; CM; CC4C; CCM; C4C; CM; MAC; MM4C
	R25	R	R	P	A	CC; CC4C; MM4C; CM; MAC; CCM
	R26	A	P	P	P	CC; CM; CCM
	R27	A	P	P	P	CC; CM; CCM
	R28	A	P	P	P	CC; CM; C4C; MAC; CCM; CM; CCM
	R29	R	R	P	A	CC; CM; CC4C; MM4C; CCM; CM; CM; MAC; CCM
	R30	R	R	P	A	CC; CM; CCM; CCM; CM; MAC
	R31	A	P	P	P	CC; CM; CCC
	R32	R	R	A	A	CC; MM4C; CCM; CM; MAC
	R33	R	R	P	A	CC; CM; MM4C; CCM; CM; MAC
	R34	R	R	A	A	CC; CM; MM4C; CCM; MM4C; CCM
	R35	R	R	P	A	CC; CM; MM4C; CCM; CM; MAC; C4C; CC4C; CCM

Figura 197: Regras classificadas por Grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma retangular

REGRAS	ASPECTOS FORMALIS	REGRAS	B	ASPECTOS FORMALIS	REGRAS	C	ASPECTOS FORMALIS	REGRAS	D	ASPECTOS FORMALIS
R1	OK	R1	OK	Vértices alinhados	R1	OK	Vértices alinhados	R1	OK	Vértices alinhados e desalinhados na união por faces laterais
R3	OK	R2	OK	União faces laterais	R3	OK	União por faces laterais	R3	OK	
R11	OK	R3	OK		R11	OK		R5	OK	
R20	OK	R9	OK		R20	OK		R16	OK	
R2	P	R10	OK	Vértices alinhados na união e no empilhamento	R2	P		R20	OK	Vértices alinhados no empilhamento
R9	P	R11	OK		R4	P		R11	OK	
R14	P	R13	OK	União por qualquer face	R5	P		R2	P	
R4	A	R14	OK		R6	P		R4	P	
R5	A	R16	OK		R7	P		R6	P	
R6	A	R17	OK		R8	P		R7	P	
R10	A	R20	OK		R8	P		R7	P	
R13	A	R4	P		R9	P		R8	P	
R16	A	R5	P		R10	P		R9	P	
R17	A	R6	P		R12	P		R10	P	
R19	A	R8	P	Vértices desalinhados na união	R13	P		R13	P	
R22	A	R19	P		R14	P		R14	P	
R23	A	R22	P		R15	P		R15	P	
R26	A	R23	P		R16	P		R17	P	
R27	A	R26	P		R17	P		R18	P	
R28	A	R27	P		R18	P		R26	P	
R31	A	R28	P		R19	P		R27	P	
R7	R	R31	P		R21	P		R21	P	
R8	R	R7	R		R22	P		R22	P	
R12	R	R8	R		R23	P		R23	P	
R15	R	R12	R		R24	P		R12	A	
R18	R	R15	R		R25	P		R15	A	
R21	R	R18	R		R26	P		R18	A	
R24	R	R21	R		R27	P		R21	A	
R25	R	R24	R	Vértices desalinhados no empilhamento	R28	P		R24	A	
R29	R	R25	R		R29	P		R25	A	
R30	R	R29	R		R30	P		R29	A	
R32	R	R30	R		R31	P		R30	A	
R33	R	R32	R		R33	P		R32	A	
R34	R	R33	R		R35	P		R33	A	
R35	R	R34	R		R32	A		R34	A	
		R35	R		R34	A		R35	A	
										Dois blocos em balanço

Figura 198: Quantidade de ocorrência de junções no modelo prisma retangular e grau de modificação necessária em cada junção

PADRÕES PRISMA RETANGULAR		AJUSTES JUNÇÕES			
		A	B	C	D
■ QTIDADE JUNÇÕES		□□	∩		●●
CC	30	OK*	OK	OK*	OK*
CCC	6	A	OK	P	P
CCCC	1	A	OK	P	OK*
CM	17	A	P	P	OK*
CCM	8	P+	P+	P+	P+
C+C	8	OK*	OK	OK	OK
C+M	13	A	A	P+	P+
M+C	13	R	R	P	P
MC+C	2	A	P	P	OK
CM+M	3	A	P	P	OK*
MC+M	1	A	A	P+	A
MM+C	7	R	R	P+	A
CC+M	3	A	P+	P+	A
CC+C	10	OK*	OK	OK*	P
CCC+C	1	A	OK	P	P
CC+CC	2	OK*	OK	OK*	OK*
CM+CM	2	A	P	P+	P*
CC+MM	1	A	A	A	A
MM+CC	1	R	R	A	A
MM+MC	4	R	R	P+	A
CM+MM	2	A	A	P+	A
CCM+M	4	P+	P+	P+	P+
CCC+M	1	A	A	P+	A
CC+MC	1	A	A	P+	A
_+CM	3	A	P	P	OK*

Figura 199: Regras e grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma trapezoidal, regras 1 à 28

































REGRAS		 A	 B	 C	 D	JUNÇÕES
	R1	P	OK	P	P	CC
	R2	P	OK	P	P	CC
	R3	P	OK	OK	P	CC
	R4	P	OK	OK	P	C+C
	R5	R	R	P	P	C+M; M+C
	R6	A	P	P	P	CM
	R7	A	P	P	P	CC, CM
	R8	A	P	P	P	CM
	R9	A	P	P	P	CC, CM
	R10	A	P	P	P	CC, CM
	R11	P	OK	OK	P	CC
	R12	A	OK	P	P	CC; CCC
	R13	A	OK	P	P	CC; CCCC
	R14	A	OK	P	P	CC; CCCC
	R15	A	OK	P	P	CC; CCC; C+C; CC+C; CCG+C
	R16	A	P	P	P	CC; CM; CCC
	R17	R	R	P	A	CC; CM; C+C; CC+C; CM+MM; MM+MQ +CM
	R18	A	P	P	P	CC; CM; CCC
	R19	A	P	P	P	CC; CM; C+C; CC+C; CM+M
	R20	A	OK	P	P	CC; CCC
	R21	A	OK	P	P	CC; CCC
	R22	A	OK	P	P	CC; CCC; C+C; CC+C; CCG+C
	R23	P	OK	OK	P	CC; C+C; CC+CC
	R24	A	P	P	P	CC; CM; CCC; MC+Q; C+C; CCG+C
	R25	A	P	P	P	CC; CM; CCC; MC+Q; C+C; CCG+C
	R26	P	OK	OK	P	CC; C+C; CC+C
	R27	A	P	P	P	CC; CM; CCC
	R28	A	P	P	P	CC; CM; CCC; C+C; CM+M; CCG+C

Figura 200: Regras e grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma trapezoidal, regras 29 à 56

































REGRAS					JUNÇÕES
	A	B	C	D	
 R29	A	P	P	P	CC; CM; C+C; CC+CC; CM+CM
 R30	A	P	P	P	CC; CM; C+C; CC+C; MG+C
 R31	A	P	P	P	CC; CM; CCC; C+C; CC+Q; CCC+C
 R32	A	P	P	P	CM; CCC; C+C; MC+C; CCC+C
 R33	R	R	P	A	CC; CM; C+M; M+C; MCM; MM+C
 R34	R	R	P	A	CC; CM; CCC; C+M; M+C; MCM; MM+C
 R35	R	R	P	A	CC; CM; CCC; C+M; M+C; MCM; MM+C
 R36	R	R	P	A	CC; CM; C+M; M+C; MCM; MM+C
 R37	R	R	P	A	CC; CM; C+C; CC+C; C+M; M+C; MM+CM; MC+MM; +CM
 R38	R	R	P	A	CM; CCC; C+M; M+C; MM+C; MCM
 R39	A	P	P	P	CC; CM; CCC
 R40	A	P	P	P	CM; CCC
 R41	A	P	P	P	CC; CM; C+C; CC+C; CM+M
 R42	A	P	P	P	CC; CM; CCC
 R43	A	P	P	P	CM; CCC
 R44	A	P	P	P	CC; CM; CCM; C+C; CM+M; CC+C; CCM+M
 R45	A	P	P	P	CC; CM; CCM
 R46	A	P	P	P	CC; CM; CCC; CCM
 R47	A	OK	P	P	CC; CCC
 R48	A	OK	P	P	CC; CCC
 R49	P	OK	OK	P	CC; C+C; CC+C
 R50	A	P	P	P	CC; CM; C+C; CC+CC; CM+CM
 R51	A	P	P	P	CC; CM; CCC
 R52	A	P	P	P	CC; CM; C+C; CC+C; MG+C
 R53	A	P	P	P	CC; CM; CCC; C+C; CC+Q; CCC+C
 R54	P	OK	OK	P	CC; C+C; CC+CC
 R55	A	OK	P	P	CC; CCC; C+C; CC+C; CCC+C
 R56	A	OK	P	P	CC; CCC; C+C; CC+C; CCC+C

Figura 201: Regras classificadas por Grau de modificação necessário em cada conjunto conectivo no modelo prisma trapezoidal

□ □		ASPECTOS FORMALIS	∇		ASPECTOS FORMALIS			ASPECTOS FORMALIS	● ●		ASPECTOS FORMALIS	
REGRAS	A		REGRAS	B		REGRAS	C		REGRAS	D		
R1	F	Vértices alinhados para união e empilhamento	R1	OC	Vértices alinhados na união e no empilhamento	R8	OC	Vértices alinhados	R1	F	Vértices alinhados na união e no empilhamento	
R2	F		R2	OC		R9	OC		R2	F		
R3	F		R3	OC		R10	OC		R3	F		
R4	F		R4	OC		R11	OC		R4	F		
R11	F		R11	OC		R12	OC		R5	F		
R12	F		União por qualquer face	R12		OC	R13		OC	R6		F
R13	F			R13		OC	R14		OC	R7		F
R14	F			R14		OC	R15		OC	R8		F
R15	F			R15		OC	R16		OC	R9		F
R16	F			R16		OC	R17		OC	R10		F
R5	Δ	Vértices desalinhados na união	R17	OC	União por qualquer face	R18	F	Vértices desalinhados na união por qualquer face	R11	F		
R6	Δ		R18	OC		R19	F		R12	F		
R7	Δ		R19	OC		R20	F		R13	F		
R8	Δ		R20	OC		R21	F		R14	F		
R9	Δ		R21	OC		R22	F		R15	F		
R10	Δ		R22	OC		R23	F		R16	F		
R11	Δ		R23	OC		R24	F		R17	F		
R12	Δ		R24	OC		R25	F		R18	F		
R13	Δ		R25	OC		R26	F		R19	F		
R14	Δ		R26	OC		R27	F		R20	F		
R15	Δ	Vértices desalinhados no empilhamento	R27	F	Vértices desalinhados na união	R28	F	Vértices desalinhados empilhamento com 02 blocos na composição	R21	F		
R16	Δ		R28	F		R29	F		R22	F		
R17	Δ		R29	F		R30	F		R23	F		
R18	Δ		R30	F		R31	F		R24	F		
R19	Δ		R31	F		R32	F		R25	F		
R20	Δ		R32	F		R33	F		R26	F		
R21	Δ		R33	F		R34	F		R27	F		
R22	Δ		R34	F		R35	F		R28	F		
R23	Δ		R35	F		R36	F		R29	F		
R24	Δ		R36	F		R37	F		R30	F		
R25	Δ	Vértices desalinhados no empilhamento	R37	F	Vértices desalinhados no empilhamento	R38	F	Vértices desalinhados no empilhamento para composições com mais de 02 blocos	R31	Δ		
R26	Δ		R38	F		R39	F		R32	Δ		
R27	Δ		R39	F		R40	F		R33	Δ		
R28	Δ		R40	F		R41	F		R34	Δ		
R29	Δ		R41	F		R42	F		R35	Δ		
R30	Δ		R42	F		R43	F		R36	Δ		
R31	Δ		R43	F		R44	F		R37	Δ		
R32	Δ		R44	F		R45	F		R38	Δ		
R33	Δ		R45	F		R46	F		R39	Δ		
R34	Δ		R46	F		R47	F		R40	Δ		
R35	Δ	R47	F	R48	F	R41	Δ					
R36	Δ	R48	F	R49	F	R42	Δ					

Figura 202: Quantidade de ocorrência de junções no modelo prisma trapezoidal e grau de modificação necessária em cada junção

PADRÕES PRISMA TRAPEZOIDAL		AJUSTES JUNÇÕES			
		A	B	C	D
	■ QTIDADE JUNÇÕES	□□	∩		●●
CC	48	P	OK	OK*	P
CCC	28	A	OK	P	P
CCCC	1	A	OK	P	P
CM	35	A	P	P	P
CCM	3	P+	P+	P+	P+
C+C	24	P	OK	OK	P
C+M	8	A	A	P+	P+
M+C	8	R	R	P	P
CM+M	4	A	P	P	P
MC+M	5	A	A	P+	A
MM+C	5	R	R	P+	A
MC+C	5	A	P	P	P*
CC+C	15	P	OK	OK*	P
CC+CC	4	P	OK	OK*	P
CCC+C	10	A	OK	P	P
CCM+M	1	P+	P+	P+	P+
CM+CM	2	A	P	P+	P*
MM+MC	2	R	R	P+	A
CM+MM	2	A	A	P+	A
_+CM	2	A	P	P	P