

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

ALEXANDRE DE ALENCAR FERREIRA

**AUTOMATIZAÇÃO DO DETALHAMENTO DE CONSOLOS
EM ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO NA
PLATAFORMA BIM**

**MARINGÁ
2018**

ALEXANDRE DE ALENCAR FERREIRA

**AUTOMATIZAÇÃO DO DETALHAMENTO DE CONSOLOS
EM ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO NA
PLATAFORMA BIM**

Monografia apresentada como parte dos requisitos necessários para aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá.

Orientador(a): Prof. Rafael Alves de Souza

MARINGÁ
2018

ALEXANDRE DE ALENCAR FERREIRA

**AUTOMATIZAÇÃO DO DETALHAMENTO DE CONSOLOS EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO NA PLATAFORMA
BIM**

Monografia apresentada como parte dos requisitos necessários para aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Rafael Alves de Souza (Orientador) - UEM

Prof. Enio Mesacasa (Membro 1) - UEM

Prof. Jeselay dos Reis (Membro 2) - UEM

Aos meus amigos, família e orientador pelo
constante apoio e incentivo ao longo desta
caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Rafael Alves de Souza pelo seu compromisso e dedicação com o ensino e orientação profissional de seus alunos.

Aos meus pais e familiares que dispuseram todo seu apoio para minha formação.

A todos os meus amigos, que foram meus parceiros nos momentos de adversidade e celebração.

"You miss 100% of the shots you don't take"

Wayne Gretzky

RESUMO

A pesquisa tem a finalidade de explorar os recursos dos softwares BIM nos processos de elaboração dos projetos estruturais afim de ganhar produtividade no seguimento. Essa temática é investigada especificamente em estruturas pré-moldadas devido às evidências de carência no aperfeiçoamento dos softwares comerciais dedicadas à essa técnica construtiva. Para alcançar o objetivo citado, foi utilizado o software Autodesk Revit para modelagem dos elementos estruturais e seu aplicativo Dynamo, que trabalha a programação visual para manipular os parâmetros dos componentes representados conforme a lógica elaborada. O produto final da pesquisa deve ser uma rotina em programação visual no Dynamo capaz de automatizar o modelamento das barras de reforço nos consolos de uma estrutura concreto pré-moldado preparada no Revit, que remeta uma baixa quantidade de inserção de dados de entrada e de esforço ao usuário externo. Dessa forma, visa-se expandir as possibilidades no uso tecnologias de modelação paramétrica, programação visual, otimização e geração de opções nas diversas demandas dos projetos estruturais.

Palavras-chave: Automatizar. BIM. Consolos. Dynamo. Pré-moldados. Programação Visual. Revit

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Posicionamento das dimensões (a) e (d) em um consolo típico	15
Figura 2.2	Disposição das bielas e tirantes de forma que os centros de gravidade coincidam com os nós das tensões	17
Figura 2.3	Trajetórias de linhas de tensões principais em consolos com $a/h = 0,5$	17
Figura 2.4	Treliça simples idealizada para o comportamento estrutural do consolo	18
Figura 2.5	Consolo típico	19
Figura 2.6	Detalhamento de tirante ancorado por alça vertical	20
Figura 2.7	Detalhamento do tirante ancorado por alça horizontal	20
Figura 2.8	Detalhamento do tirante por barra soldada	21
Figura 2.9	Detalhe do posicionamento de armadura de costura	22
Figura 2.10	Detalhe de armadura no pilar para consolos	23
Figura 2.11	Exemplo da modelação de armaduras em ambiente BIM	25
Figura 2.12	Extensão do Revit para modelação de armaduras em vigas	26
Figura 2.13	Algoritmo desenvolvido para a automatização da modelação BIM de armaduras	28
Figura 2.14	Criação de armaduras no Dynamo	29
Figura 2.15	Visualização das armaduras no Revit	29
Figura 3.1	Estrutura base de concreto pré-moldado	30
Figura 4.1	Programa visual desenvolvido para detalhamento de consolos trapezoidais	32
Figura 4.2	Grupo de dados de entrada da geometria da barra	34
Figura 4.3	Grupo de dados de entrada das características da barra	36
Figura 4.4	Grupo de coleta dos consolos	37
Figura 4.5	Grupo de coleta dos pilares	38
Figura 4.6	Grupo de coleta das superfícies das faces dos consolos	40
Figura 4.7	Grupo de separação dos pilares (1)	41
Figura 4.8	Grupo de separação dos pilares (2)	42
Figura 4.9	Grupo de separação dos pilares (3)	43
Figura 4.10	Grupo de separação dos consolos (1)	44

Figura 4.11	Grupo de separação dos consolos (2)	45
Figura 4.12	Grupo de separação dos consolos (3)	47
Figura 4.13	Grupo de separação dos comprimentos de ancoragem (1)	48
Figura 4.14	Grupo de separação dos comprimentos de ancoragem (2)	48
Figura 4.15	Grupos da parte final do programa	50
Figura 4.16	Grupo de coleta das superfícies das faces dos consolos	51
Figura 4.17	Grupo de coleta da geometria dos perímetros das faces dos consolos	52
Figura 4.18	Grupo de elaboração da curva do tirante (1)	54
Figura 4.19	Coordenadas curva do tirante (1)	54
Figura 4.20	Grupo de elaboração da curva do tirante (2)	55
Figura 4.21	Grupo de elaboração da curva do tirante dos “consolos duplos” (1)	56
Figura 4.22	Grupo de união das geometrias dos “consolos duplos”	57
Figura 4.23	Grupo de elaboração da curva do tirante dos “consolos duplos” (2)	58
Figura 4.24	Grupo de elaboração da curva do tirante dos “consolos duplos” (3)	58
Figura 4.25	Grupo de operações geométricas (1)	60
Figura 4.26	Grupo de operações geométricas (2)	61
Figura 4.27	Grupo de distribuição das barras	62
Figura 4.28	Grupo de modelagem da armadura	63
Figura 4.29	Dados de entrada da geometria das barras inseridos	64
Figura 4.30	Dados de entrada das características das barras inseridos	64
Figura 4.31	Detalhamento da estrutura (1)	65
Figura 4.32	Detalhamento da estrutura (2)	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.3	METODOLOGIA	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	CONSOLOS	15
2.1.1	Definição	15
2.1.2	Critérios de dimensionamento dos consolos	15
2.1.2.1	Método de bielas e tirantes	16
2.1.2.2	Comportamento de consolos de concreto	16
2.1.3	Disposições construtivas	18
2.2	BIM	23
2.2.1	Conceito	23
2.2.2	BIM aplicado ao projeto de estruturas	24
2.3.3	Softwares de modelação BIM de armaduras	25
2.3.1.1	Autodesk Revit	26
2.3.1.2	Dynamo	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	DADOS DE ENTRADA	33
4.1.1.	Dados de entrada da geometria da armadura	33
4.1.2	Dados de entrada das características da barra de aço	35
4.2	COLETA DOS ELEMENTOS	37
4.2.1	Coleta dos consolos	37
4.2.2	Coleta dos pilares	38
4.3	SEPARAÇÃO DOS ELEMENTOS	39
4.3.1	Coleta das superfícies das faces dos consolos	39
4.3.2	Separação dos pilares	41
4.3.3	Separação dos tipos de consolos	44
4.3.4	Separação dos comprimentos de ancoragem	47
4.4	COLETA DA GEOMETRIA	49

	10
4.4.1 Coleta das superfícies das faces dos consolos	50
4.4.2 Coleta da geometria dos perímetros das faces dos consolos	51
4.5..... ELABORAÇÃO DO DESENHO DO TIRANTE	52
4.5.1 Elaboração da curva do tirante	53
4.5.2 Operações geométricas	60
4.5.3 Distribuição das Barras	61
4.6 MODELAGEM DAS ARMADURAS	62
4.7..... ANÁLISE DOS RESULTADOS	63
5 CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os conceitos, as abordagens e as metodologias que hoje se identificam como BIM têm cerca de trinta anos e a terminologia do *Building Information Model* está em circulação já há pelo menos quinze anos, informa EASTMAN et al. (2014). O mesmo autor ainda relata que o exemplo mais antigo sobre o conceito que conhecemos como BIM, foi um protótipo de trabalho, o “*Building Description System*”, publicado por Charles M. “Chuck” Eastman (1975),

[...] definir elementos de forma interativa [...] derivando seções, planos isométricos ou perspectivas de uma mesma descrição de elementos [...] qualquer mudança no arranjo teria que ser feita apenas uma vez para todos os desenhos futuros. Todos os desenhos derivados da mesma disposição de elementos seriam automaticamente consistentes [...] qualquer tipo de análise quantitativa poderia ser ligado diretamente à descrição [...] estimativas de custos ou quantidades de material poderiam ser facilmente geradas [...] fornecendo um único banco de dados integrado para análises visuais e quantitativas [...] Verificação de código de edificações automatizado na prefeitura ou no escritório do arquiteto. Empreiteiros de grandes projetos podem achar esta representação vantajosa para a programação e para os pedidos de materiais.

Especificamente sobre a geração de desenhos em BIM, Eastman et al. (2014) diz que se uma ferramenta BIM não dá suporte efetivo para extração de desenhos e um usuário tem de fazer muitas edições manuais para gerar cada conjunto de desenhos a partir de cortes, os benefícios do BIM são significativamente reduzidos. Esse autor ainda observa que regras paramétricas estão começando a codificar grandes quantidades de conhecimento especialista dentro de cada domínio de sistema de construção a respeito de como as partes devem ser dispostas e detalhadas, além disso, consórcios de membros de organizações tem trabalhado em conjunto para esboçar especificações padrões para a definição de leiautes e comportamentos dos objetos em projetos de pré-moldado e aço.

De acordo com Vermeulen (2016), nos últimos anos, toda a comunidade na esfera de ação da Engenharia Civil passou pela transição do tradicional *Computer Aided Design* (CAD) para *Building Information Modeling* (BIM). À medida que os projetos se tornam mais complexos e precisam de mais soluções de projeto, o atual fluxo de trabalho focado em BIM é desafiado novamente. Para muitos profissionais, a resposta é o design computacional. Essa nova abordagem de projeto representa uma mudança profunda no pensamento e nos métodos desse processo. A representação está sendo substituída pela simulação, e a criação de objetos está se movendo em direção à geração de sistemas integrados por meio de processos computacionais criados por designers. Embora exista uma história particular de tal abordagem na indústria da

construção, sua relativa novidade requer a progressão contínua de novos modos de *design thinking* para os projetistas e engenheiros do século XXI.

1.2 JUSTIFICATIVA

Parte da motivação do tema dessa pesquisa tem relação com as evidências de aumento de rendimento na utilização de instrumentos de tecnologia BIM e com o descompasso do aperfeiçoamento dos softwares comerciais dedicadas à essa técnica construtiva do pré-moldado em relação à outras mais convencionais. Isso é fundamentado por Eastman et al. (2014), uma vez que narra um conjunto de experiências em larga escala publicadas por Sacks e Barak (2007), que foi realizado para o caso da preparação de desenhos e detalhamento da armadura para estruturas de concreto armado moldadas *in loco* com uma ferramenta BIM usando modelagem paramétrica, rotinas personalizadas para detalhamento automático e preparação automatizada de desenhos. O resultado mostrou que a execução desse serviço para as plantas dos prédios em questão, que haviam sido previamente detalhadas usando CAD 2D e as horas de trabalho registradas, tiveram redução de 21 a 61% no tempo consumido. Esse autor também menciona que a modelagem de informações de concreto pré-moldado é mais complexa que a modelagem de aço estrutural, porque peças de concreto pré-moldadas tem partes internas (armadura, fios de protensão, peças embutidas, etc.), uma liberdade muito maior de formas, uma rica variedade de acabamentos de superfície, exigência de uma transformação geométrica relativamente complexa entre a montagem e as representações do desenho executivo de qualquer parte intencionalmente deformada e a verificação de sua resistência às forças aplicadas durante o descascamento, o levantamento, o armazenamento, o transporte e a montagem, que são diferentes daquelas aplicadas durante o seu serviço na vida útil de um edifício. Estas foram algumas das razões por que softwares BIM adaptados às necessidades de concreto pré-moldado se tornaram disponíveis comercialmente muito mais tarde do que para aço estrutural.

Complementando os argumentos que justificam a pesquisa, Vermeulen (2016) afirma que a indústria do concreto armado está se tornando um padrão criar modelos prontos para a fabricação, já que as abordagens centradas na fabricação estão entrando no mundo da arquitetura, engenharia e construção (AEC). Nesse contexto de industrialização, cada vez mais, os projetos de *Building Information Modeling* (BIM) exigem a entrega de modelos detalhados, o que se faz fundamental extrair a total capacidade do projeto computacional no detalhamento das estruturas em função de ganhar maior produtividade e riqueza de informações no processo. Portanto, a utilização do Dynamo, uma ferramenta de código aberto desenvolvida para estender

as funcionalidades do Autodesk Revit, permite que projetistas e engenheiros criem lógica visual para explorar projetos paramétricos e automatizar tarefas, podendo ajudar a resolver desafios mais rapidamente ao projetar fluxos de trabalho que orientam a geometria e o comportamento dos modelos de design.

Pires (2017) reforça essa visão ao relatar que hoje em dia, as exigências e os prazos de entrega dos projetos são cada vez mais curtos e com a mudança do paradigma em relação à forma das estruturas o design paramétrico permite uma panóplia de opções de geometria. Este tipo de modelagem está ligado ao desenvolvimento de algoritmos, o que permite a alteração da forma da geometria em qualquer fase do projeto. A utilização de algoritmos para gerar geometrias torna possível desenvolver geometrias cada vez mais complexas que seriam impraticáveis através das metodologias tradicionais de design. Um dos softwares mais utilizados neste tipo de modelação é o Rhinoceros que permite gerar e representar curvas e superfícies. A modelação paramétrica neste ambiente é facilitada através de plugins como o Grasshopper 3D. No Revit, o plugin que contém a interface gráfica de programação é o Dynamo.

Além disso, o mesmo autor ainda conta que a modelação de armaduras em ambiente BIM é um processo que ainda se encontra em fase de desenvolvimento e ainda há muito trabalho por desenvolver para se conseguir uma automatização da modelação de armaduras. Atualmente, o software BIM para modelação de armaduras está longe de estar totalmente automatizado. Para a obtenção das peças desenhadas ainda se segue o fluxo de trabalho tradicional, recorrendo às ferramentas de desenho CAD 2D. Por essa razão, existe alguma resistência a mudar do desenho assistido por computadores para o BIM, apesar das inúmeras vantagens que esta metodologia traz face ao método tradicional tanto a nível de redução de erros, custos e o tempo.

1.3 OBJETIVOS

Investigar a capacidade da programação visual no aplicativo Dynamo para automatizar o detalhamento das barras de reforço nos consolos de uma estrutura em concreto pré-moldado modelada no Revit. Com isso, visa-se expandir possibilidades no uso de novas ferramentas para o detalhamento dos elementos da estrutura de concreto pré-moldado na plataforma BIM, de maneira a tornar o processo mais produtivo.

Especificamente, almeja-se elaborar uma rotina que remeta uma baixa quantidade de inserção de dados de entrada e de esforço ao usuário externo, crie a representação dos elementos de armaduras no interior da estrutura conforme a realidade desejada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONSOLOS

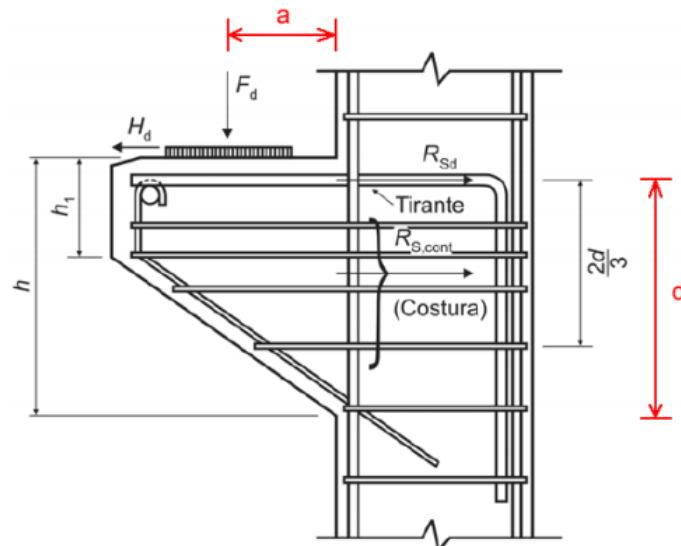
2.1.1 Definição

Os consolos são elementos estruturais que se projetam de pilares ou paredes para servir de apoio para outras partes da estrutura ou para cargas de utilização (EL DEBS, 2000).

De acordo Naegeli (1997), consolos são elementos estruturais prismáticos utilizados frequentemente em estruturas de concreto armado, servindo de apoio para outros elementos estruturais ou para equipamentos pesados.

Conforme a NBR 6118:2014, são considerados consolos os elementos em balanço nos quais a distância (a) da carga aplicada à face do apoio é menor ou igual à altura útil (d) do consolo, conforme a Figura 2.1.

Figura 2.1 – Posicionamento das dimensões (a) e (d) em um consolo típico



Fonte: Luizetto et al. (2014)

Segundo a NBR 9062:2017, para cada tipo de consolo, dependendo de sua classificação em função da razão entre a distância de aplicação da força à face do pilar (a) e a altura útil do consolo (d), deve-se adotar uma forma de dimensionamento:

- Para $a/d > 1$, trata-se o elemento como uma viga em balanço, aplicando-se o disposto na NBR 6118 para flexão e força cortante.

- Para $0,5 < a/d \leq 1$, são ditos consolos curtos e o processo de dimensionamento indicado pela norma é o modelo matemático de bielas e tirantes.
- Para $a/d < 0,5$, onde o elemento é dito consolo muito curto: o dimensionamento se faz supondo a ruptura ao longo do plano de ligação do consolo com seu suporte (modelo de atrito-cisalhamento).

2.1.2 Critérios de dimensionamento dos consolos

Os critérios de dimensionamento dos consolos são fundamentais para se compreender o detalhamento dos elementos estudados. Esses são baseados em métodos que são diferentes do dimensionamento de uma viga curta em balanço, por esse motivo, será apresentado o modelo de bielas e tirantes, sendo os critérios de dimensionamento e os critérios construtivos extraídos das normas NBR 6118:2014 e NBR 9062:2017.

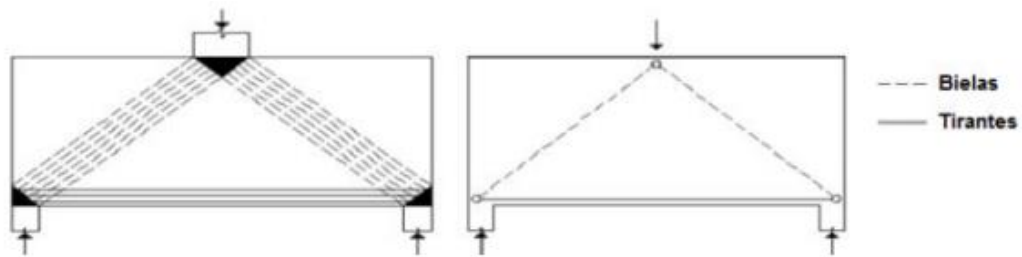
2.1.2.1 Modelo de bielas e tirantes

Segundo El Debs (2000) o modelo de biela e tirante, também denominado de treliça, consiste em idealizar o comportamento do concreto, nos trechos de descontinuidade, através de bielas e tirantes, com suas respectivas posições escolhidas a partir do fluxo de tensões na região. Os elementos são interconectados nos nós, resultando na formação de uma treliça idealizada. Esse modelo é o mais empregado para o cálculo de consolos curtos.

Bongatti (2008) diz que esse método nada mais é que uma representação discreta dos campos de tensão nos elementos estruturais, sendo que as bielas representam os campos principais de compressão e os tirantes os campos principais de tração, que podem ser absorvidos por determinada área de armadura, através de uma ou várias camadas e em função da tensão de escoamento do aço.

Quanto ao posicionamento dos elementos, é necessário que a direção das bielas e tirantes coincida com a direção das tensões médias de compressão e tração, ou seja, sendo posicionados no centro de gravidade dos diagramas de tensão. (LUIZETTO et al. 2014), como demonstrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Disposição das bielas e tirantes de forma que os centros de gravidade coincidam com os nós das tensões

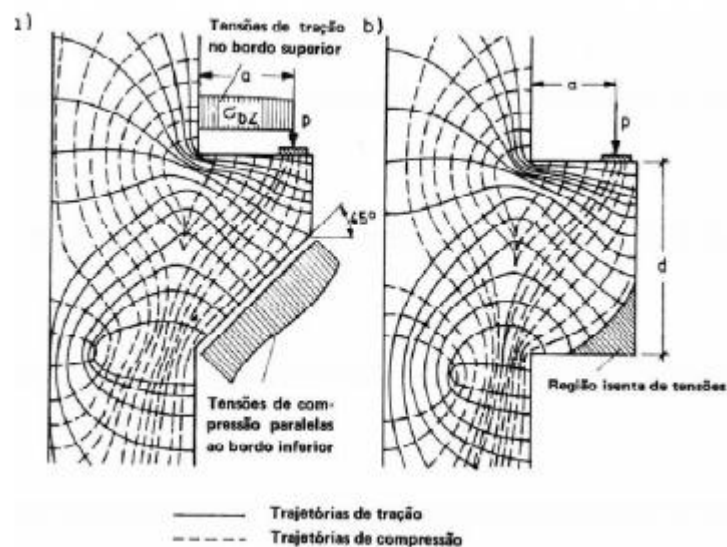


Fonte: Bongati (2008)

2.1.2.2 Comportamento dos consolos de concreto

De acordo com Franz (1963), os consolos e vigas curtas, cujas alturas são maiores que seus comprimentos, têm um comportamento estrutural diferenciado em relação aos esforços internos normalmente observados em vigas. Neste caso, não vale a teoria clássica de flexão. A distribuição linear de tensões na seção transversal não é válida para este tipo de peça. As trajetórias de tensões para consolos com $a/h = 0,5$, com base nos estudos experimentais de fotoelasticidade realizados por Franz e Niedenhoff (1963 apud LEONHARDT; MÖNNING, 1978, p. 51), revelam que em consolos retangulares o canto inferior é livre de tensões, sendo, portanto, dispensável. Por isso têm comportamento semelhante ao dos consolos chanfrados como mostra a Figura 2.3.

Figura 2.3- Trajetórias de linhas de tensões principais em consolos com $a/h = 0,5$



Fonte: Leonhardt e Mönning (1978)

Nos dois tipos de consolos mostrados na Figura 2.3, a resultante das tensões principais de compressão é oblíqua. As tensões principais de tração são perpendiculares às de compressão e de valor muito pequeno no corpo do consolo, podendo ser absorvidas por armaduras em forma de estribo ou por fibras acrescidas ao concreto, devidamente dosadas. As tensões de tração no bordo superior, entretanto, são maiores que as determinadas pela teoria da distribuição linear de tensões, e são praticamente constantes desde a seção de engastamento até o ponto de aplicação da força. Por isso Leonhardt e Mönning (1978) indicam que deve haver uma armadura horizontal para resistir a essas tensões, distribuída até uma altura de $d/4$ a partir do bordo superior, sendo “ d ” a altura útil do consolo. (CAMPOS, 2010)

Ainda conforme o mesmo autor, as tensões de tração no bordo superior, praticamente horizontais, e as tensões de compressão inclinadas sugerem que o consolo resiste à força solicitante como uma treliça simples, conforme apresentada na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Treliça simples idealizada para o comportamento estrutural do consolo



Fonte: Leonhardt e Mönning (1978)

Campos (2010) ainda relata que direção do fluxo das tensões de tração no bordo superior é levemente inclinada em relação à face superior. Entretanto, por motivo de simplificação, o tirante é idealizado como sendo horizontal, assim como a armadura utilizada para resistir a essas tensões. O fluxo das tensões de compressão tem uma direção que vai do ponto de aplicação da força até a base do consolo. Nesta mesma direção, portanto, é idealizada uma biela de compressão com a resistência do concreto.

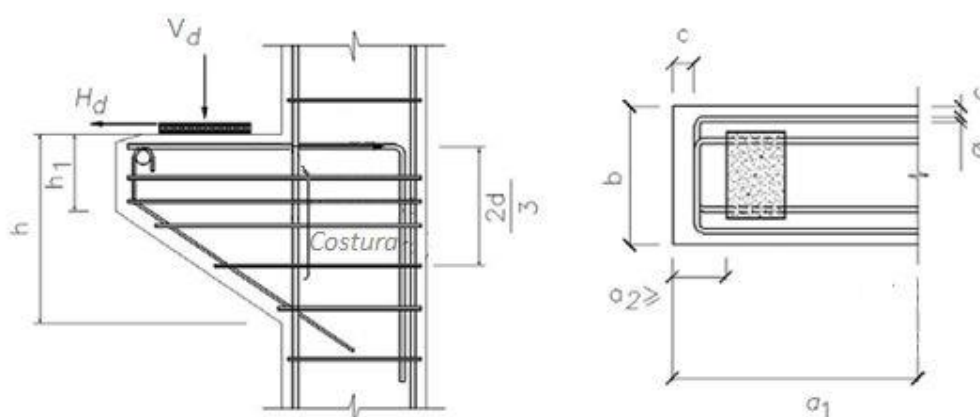
A armadura do tirante principal deve ser dimensionada para resistir aos esforços verticais sobre o consolo, predominantes, e também aos esforços horizontais. Os esforços horizontais podem surgir por causa do impedimento da variação de comprimento da peça

estrutural que está apoiada sobre o consolo, devido à variação de temperatura ou à retração. (CAMPOS, 2010). O autor ainda acrescenta que o comportamento idealizado na Figura 2.4, entretanto, não representa de forma adequada os consolos em que o comprimento é da ordem da metade da altura, ou menor, uma vez que a diagonal comprimida se aproxima da vertical e o esforço cortante atuando na interface entre o consolo e o pilar se torna predominante. Para este caso, o melhor modelo a ser utilizado é o baseado na teoria de atrito-cisalhamento.

2.1.3 Disposições construtivas

A NBR 9062 (ABNT, 2017) apresenta algumas disposições construtivas que devem ser observadas no dimensionamento dos consolos de concreto. Os valores das constantes apresentados nos itens a seguir são dispostos conforme a Figura 2.5:

Figura 2.5 – Consolo típico



Fonte: NBR 9062:2017

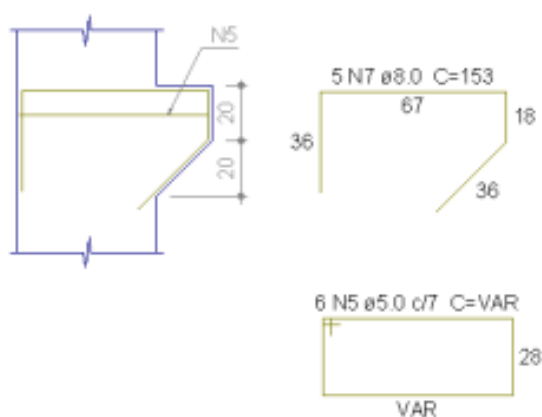
Essas disposições são:

- a) Os valores do comprimento do consolo (a_1) e a largura (b) são valores especificados por fatores construtivos.
- b) A altura da face externa do consolo (h_1) não deve ser menor que metade da altura do consolo no engastamento, deduzido o afastamento da almofada de apoio à borda externa,
- c) A distância a_2 da face externa da almofada de apoio à face externa do consolo deve ser no mínimo igual a:
 - $a_2 \geq c + \emptyset$, para o tirante ancorado por barra transversal soldada de mesmo diâmetro;

- $a_2 \geq c + 3,5 \varnothing$, para o tirante ancorado por alças horizontais ou verticais com $\varnothing < 20$ mm;
- $a_2 \geq c + 5 \varnothing$, para o tirante ancorado por alças horizontais com $\varnothing \geq 20$ mm.
- $a_2 \geq c + 3,5\varnothing + 2\text{cm}$ para o tirante ancorado por alças verticais com $\varnothing \leq 16\text{mm}$

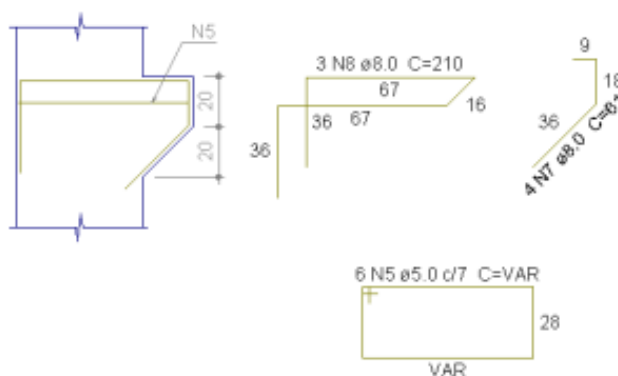
Alguns exemplos de esquemas de ancoragem para o cálculo de a_2 são observados nas Figuras 2.6, 2.7 e 2.8

Figura 2.6 - Detalhamento de tirante ancorado por alça vertical



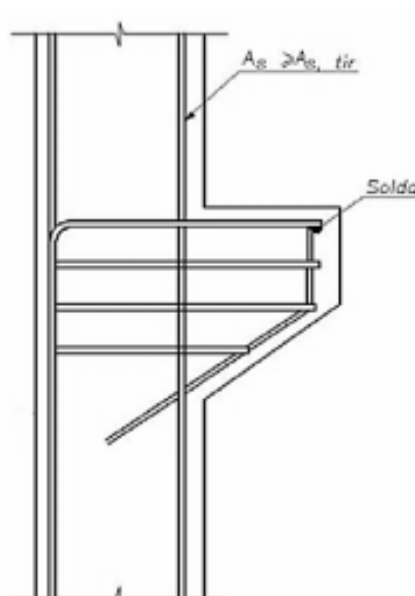
Fonte: AltoQi (2018)

Figura 2.7 – Detalhamento do tirante ancorado por alça horizontal



Fonte: AltoQi (2018)

Figura 2.10 – Detalhe de armadura no pilar para consolos



Fonte: NBR 9062:2006

2.2. BIM

2.2.1 Conceito

Azhar, S. et al (2008) cita que o “BIM representa o desenvolvimento e utilização de modelos, gerados por computador, n-dimensionais (n-D) para simular o planejamento, concepção, construção e operação de uma instalação”. Novais (2015) complementa que a implementação do BIM no setor da construção é, pois, considerada como um impulsionador de desenvolvimento. O BIM, como metodologia, baseia-se nos seguintes conceitos:

- Interoperabilidade e padronização;
- Modelação paramétrica.

O conceito de interoperabilidade se define como a capacidade de os sistemas computacionais permitirem a troca de informação de um modo eficaz. As várias ferramentas BIM desenvolveram, assim, uma grande capacidade de interoperabilidade. A capacidade de interoperabilidade entre sistemas influencia o modo de os projetistas colaborarem; neste contexto, o BIM veio trazer a necessidade de criar espaços físicos ou plataformas tecnológicas, onde as várias especialidades possam analisar, verificar e melhorar os seus projetos de um modo colaborativo. (NOVAIS, 2015)

O processo de modelação paramétrica do BIM permite ao utilizador acrescentar as características que achar essenciais para um determinado objeto, para que possa ser consultado e manipulado posteriormente. O modelo pode ser atualizado e enriquecido em qualquer fase do projeto. Um modelo com estas características é, então, um modelo paramétrico. Não é um modelo simplesmente geométrico, passando a ser um modelo que engloba diversos parâmetros (NOVAIS, 2015).

O mesmo autor adiciona ainda que outra inovação do BIM é a capacidade de modelação e a subsequente obtenção automática de desenhos sempre atualizados e sem erros de inconsistência, como plantas, elevações e cortes. Esta exatidão nos desenhos acontece, porque o desenhista, arquiteto ou engenheiro, trabalha sempre sobre um mesmo modelo tridimensional e qualquer alteração efetuada no projeto é realizada diretamente no modelo 3D, a partir do qual são obtidos os desenhos.

2.2.2 BIM aplicado ao projeto de estruturas

Tradicionalmente, no projeto de estruturas, a concepção e a preparação das peças desenhadas são auxiliadas por ferramentas de desenho CAD 2D, não existindo nenhuma interligação com os modelos 3D de cálculo que as suportam, sendo por isso necessário uma forte componente humana na sincronização entre as diferentes plataformas (FERREIRA et al., 2012)

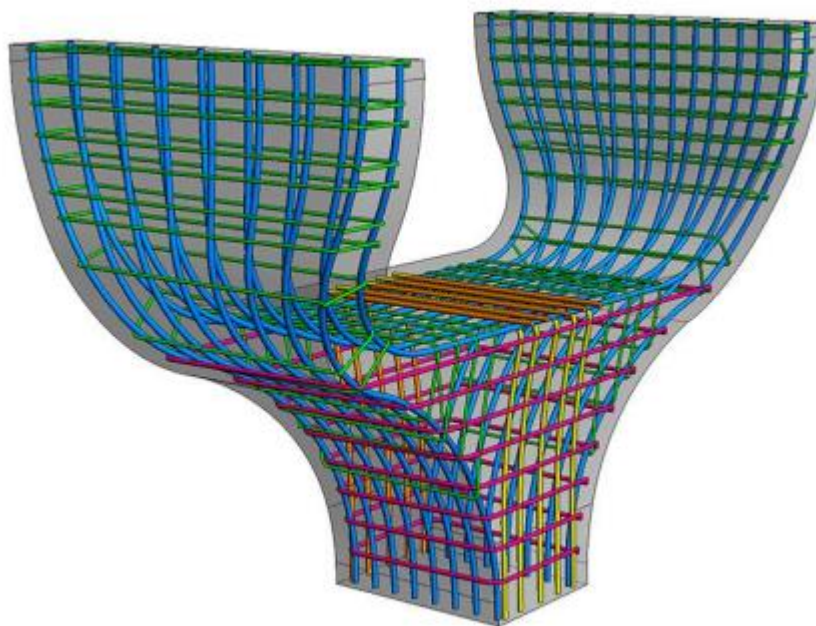
Ferreira et al., 2015, ainda explica que a metodologia prevê que a concepção do projeto passe agora a ser realizada em equipe, com base num modelo de informação. Relativamente ao projeto de estruturas, esta nova forma de trabalho tem um papel fundamental na organização e partilha de informação necessária na definição estrutural. A estrutura é modelada parametricamente, ou seja, todos os objetos possuem um conjunto de propriedades e características que o envolvem com os restantes elementos estruturais. Está inerente ao modelo paramétrico o modelo analítico. Este modelo digital vai apoiar os arquitetos, os engenheiros, e os construtores no projeto e no planeamento da construção. Face as abordagens tradicionais, uma das vantagens desta metodologia é a visualização da estrutura em ambiente 3D, bem como a produção automática de desenhos (cortes, plantas, elevações e detalhamento), as respectivas atualizações, produção automática de mapas de quantidades e a estimativa orçamental.

2.2.3 Softwares de modelação BIM de armaduras

A modelagem é feita com recurso de bibliotecas ou famílias que podem ser criadas e/ou editadas conforme a necessidade. A modelação BIM permite ainda a criação de novos objetos que podem ser parametrizados e posteriormente adicionados à biblioteca. (PIRES, 2017)

No campo da modelagem de estruturas, existem vários softwares BIM com capacidade de modelação de armaduras como o Autodesk Revit Structures, apresentada na Figura 2.11, Tekla Structures, Autodesk Advance Concrete, proCocrete, proRebar e o PowerPack. (PIRES, 2017)

Figura 2.11 - Exemplo da modelação de armaduras em ambiente BIM



Fonte: Fudala (2017)

Alguns programas de dimensionamento, como o Robot Structural Analysis, detêm módulos para a produção e detalhamento de modelos 3D de armaduras. No caso de elementos estruturais planos, este apresenta algumas limitações, não sendo possível um correto posicionamento dos vergalhões de aço que se pretende introduzir. Os modelos de armaduras não apresentam qualidade suficiente para serem usados num modelo BIM muito menos para uso técnico em obra. Hoje em dia, as empresas que desenvolvem software de análise e dimensionamento procuram incluir estes módulos que permitem modelar e detalhar armaduras nos próprios programas, conta o mesmo autor.

Serão aprofundados, nos subcapítulos seguintes, a funcionalidades de modelação do Autodesk Revit.

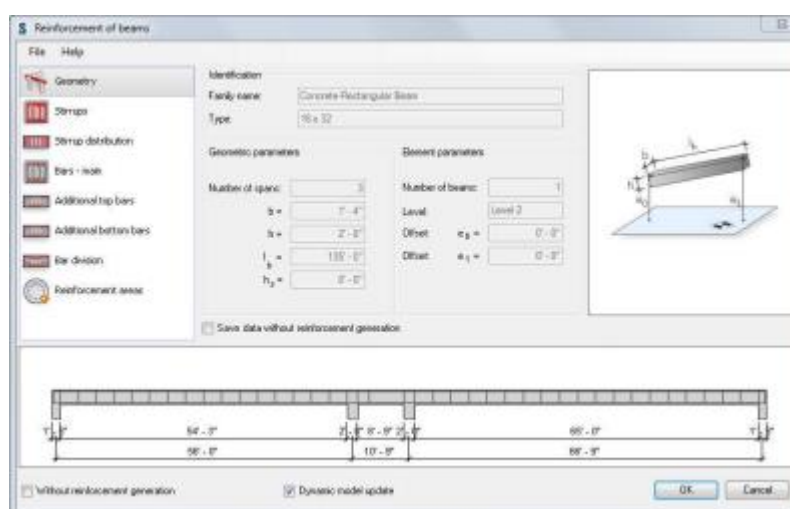
2.2.3.1 Autodesk Revit

O software Revit foi desenvolvido especificamente para o modelo de construção BIM e possui funcionalidades para a engenharia de estruturas e construção. É uma ferramenta que serve de plataforma no processo de colaboração de equipas. Neste software, é possível modelar diferentes tipos de materiais, como concreto armado, alvenaria, madeira e aço. (PIRES, 2017)

A troca de informação entre o Revit e o Robot é facilitada devido a estas ferramentas pertencerem ao mesmo fabricante. (PIRES, 2017)

O autor acima expõe ainda que a modelação de armaduras, recorrendo ao programa de modelação Revit, não é intuitiva e requer bastante trabalho, por essa razão a Autodesk disponibiliza aos utilizadores um conjunto de extensões de modo a facilitar a modelação de armaduras nos elementos estruturais. As que estão disponíveis não possuem ferramentas para definição de armaduras em lajes, apenas para elementos estruturais como pilares, vigas e sapatas, como mostra a Figura 2.12.

Figura 2.12 - Extensão do Revit para modelação de armaduras em vigas



Fonte: Estupe Engineering Solutions (2007)

De acordo com o mesmo autor, é possível também aplicar armaduras em elementos de concreto armado de uma forma manual, sendo que só é permitida a modelação numa vista bidimensional como um corte ou em planta. Numa visualização 3D a opção encontra-se

desativada. Em elementos planos como lajes e paredes, com a opção “*Area*” ou “*Path*” do separador “*Reinforcement*” é permitido a modelação de armaduras em ambiente tridimensional.

Em suma, modelar armaduras no Revit recorrendo a extensões ou de uma forma manual ainda é um processo bastante lento que apresenta dificuldades, ajudando a que a implementação deste processo ainda se arraste até aos dias de hoje, conclui Pires (2017).

São várias as ferramentas desenvolvidas com o objetivo de aperfeiçoar o processo de detalhamento de Concreto armado. A maior parte destas aplicações não apresenta qualquer custo para o utilizador. O Revit disponibiliza na sua página estas aplicações com o objetivo de melhorar as ferramentas deste software, como o Dynamo, que tem capacidade de modelar objetos 3D. Outra dessas aplicações é a SOFISTIK Reinforcement Detailing 2018, *add-in* compatível com o Revit, que apresenta várias ferramentas para a elaboração de desenhos de detalhamento de armaduras. (PIRES, 2017)

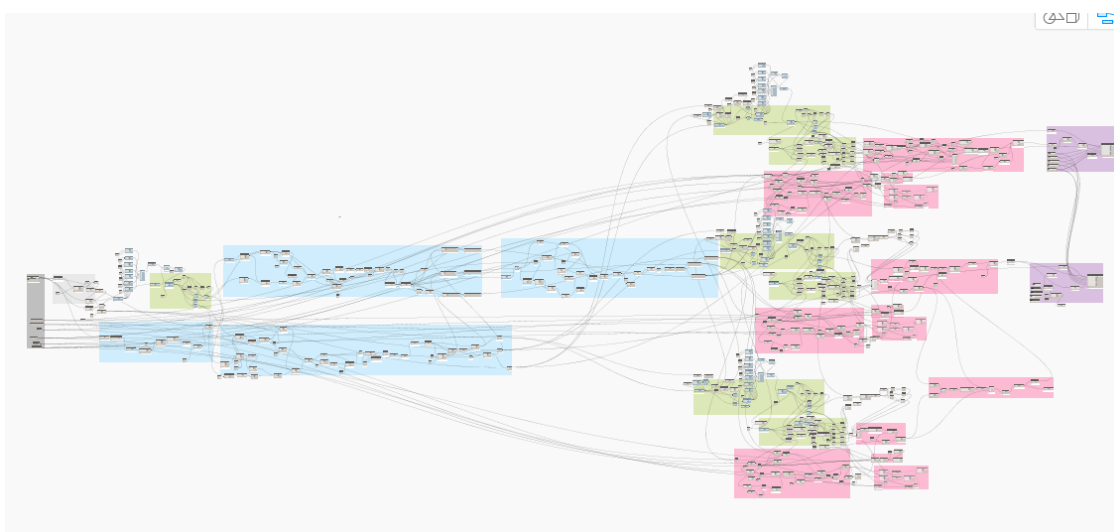
2.2.3.2 Dynamo

O Dynamo é um software de programação visual que permite criar rotinas. Em comparação com outros softwares, tem a vantagem de não ser necessário proceder à escrita de dezenas ou centenas de linhas de código sendo a interface gráfica com o utilizador muito mais iterativa. A programação no Dynamo é realizada recorrendo a “nós”. O Dynamo é uma extensão ao Revit, o que facilita a ligação e a interoperabilidade entre estas duas ferramentas. (PIRES, 2017). No site Dynamoprimer.com, explica-se que os “nós” são definidos como os objetos que você os conecta para formar um Programa Visual. Cada nó realiza uma operação, às vezes pode ser simples como armazenar um número ou talvez uma ação mais complexa como criar uma geometria.

É possível com “nós” próprios, no Dynamo, fazer importação de dados a partir de folhas pré-definidas em Excel. (PIRES, 2017).

Uma das desvantagens deste software é o seu aspeto gráfico, pois à medida que os programas crescem, estes se tornam difíceis de compreender e manipular. (PIRES, 2017). Um exemplo disso é o algoritmo que foi desenvolvido no presente trabalho ilustrado na Figura 2.13.

Figura 2.13 Algoritmo desenvolvido para a automatização da modelação BIM de armaduras



Fonte: Autor

Pires, 2017, diz que existem vários pacotes disponíveis para download na página dynamobim.org com uma vastidão de utilidades. A ferramenta dá a opção ao utilizador de produzir os seus próprios nós personalizados através da criação de *Custom Nodes*.

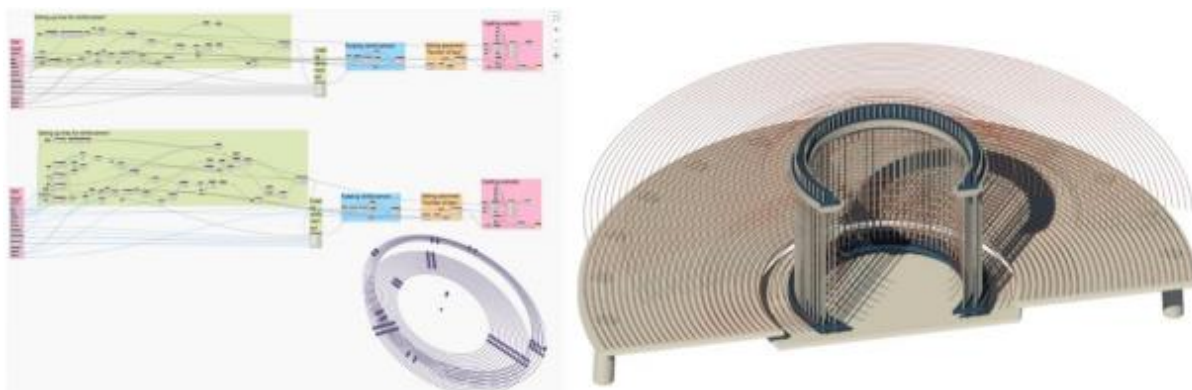
Para a realização deste trabalho foram utilizados dois pacotes, Dynamo for rebar, desenvolvido pela CORE studio de Thornton Tomasetti, e Bim4struc.Rebar, desenvolvido por Dieter Vermeulen, engenheiro da Autodesk. A biblioteca destes pacotes contém um conjunto de “nós” que ajudam a criar armaduras no Revit .

Existem vários métodos para a criação de modelos paramétricos de armaduras em Revit, através do Dynamo. Um dos métodos baseia-se na criação de elementos paramétricos tridimensionais representativos de armaduras que poderão ser importados para Revit como elementos de armaduras. (FERNANDES,2016)

O que torna este método inexequível é que toda a informação relativa a comprimentos, coordenadas, diâmetro e tipo de aço são geradas numa folha de Excel. O Revit não reconhece estas informações. Torna-se num método muito pouco produtivo, sendo que poderão existir centenas de armaduras, e a leitura desses elementos torna-se uma tarefa quase impossível e muito pouco produtiva. (PIRES, 2017).

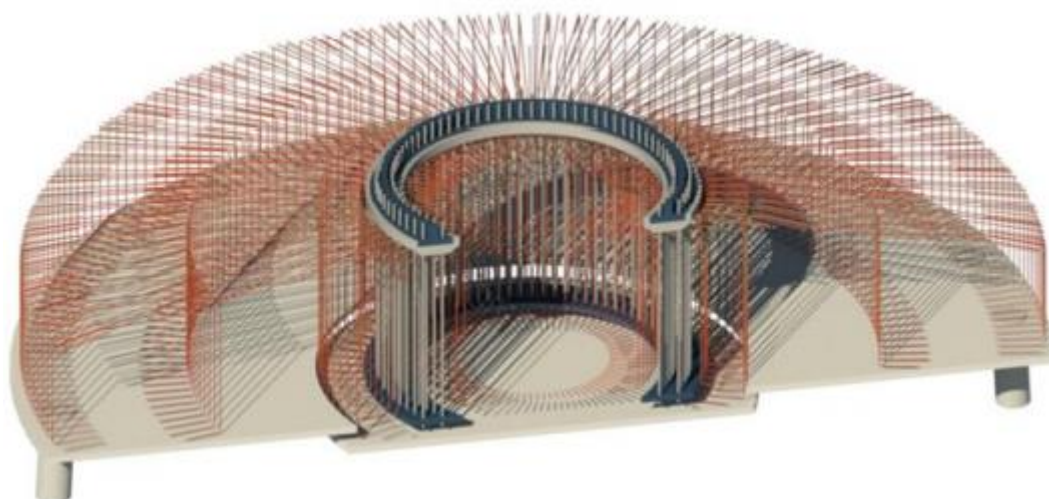
A utilização destes pacotes abre muitas portas para a automatização da modelação de armaduras, como apresentado nas Figuras 2.14 e 2.15. Ao contrário do método mencionado acima, todas as informações relativas ao elemento ficam guardadas no Revit, relata o mesmo autor.

Figura 2.14 - Criação de armaduras no Dynamo



Fonte: Vermeulen (2015)

Figura 2.15 - Visualização das armaduras no Revit



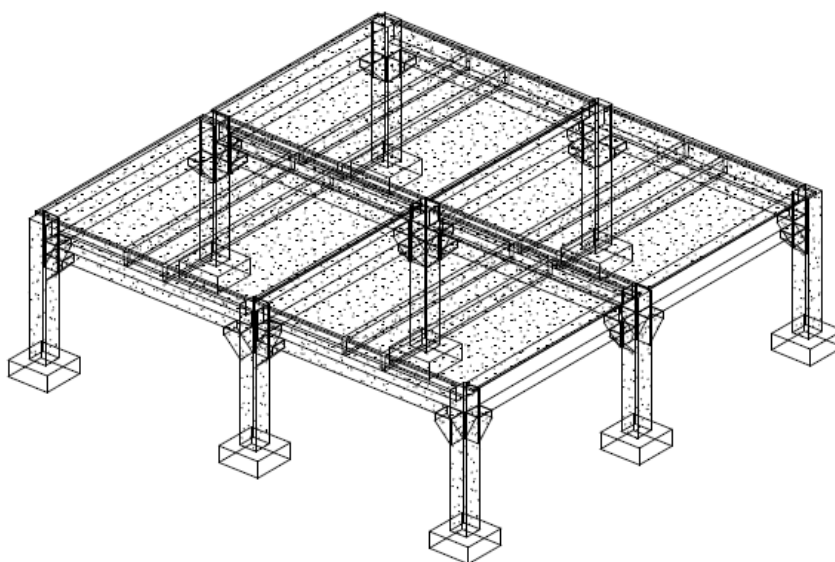
Fonte: Vermeulen (2015)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa em questão tem natureza exploratória, cujo objetivo é explorar um problema para fornecer informações para uma investigação mais precisa, visando uma maior aproximação com o tema.

A amostra da pesquisa é uma estrutura base de concreto pré-moldado, com determinado grau de variabilidade dos componentes estruturais e de seus parâmetros, com pilares de consolos trapezoidais, modelada no software Autodesk Revit, apresentada na Figura 3.1 a seguir.

Figura 3.1 – Estrutura base de concreto pré-moldado



Fonte: Autor

Para a coleta de dados será utilizado o software Dynamo, que trabalha dentro do Autodesk Revit, para desenvolver a rotina de programação que contenha lógica do desenho paramétrico das barras de reforço nos consolos específicos. O programa proua especificamente ser capaz de discriminar os consolos dos outros componentes selecionados, extrair a geometria da face lateral do consolo para desenhar a geometria das barras de reforço, tirantes ancorados por alça vertical, identificar consolos em faces opostas ao pilar e detalhar o reforço adequado a esse tipo de situação, construir e locar as barras de aço dentro do consolo no Autodesk Revit respeitando condições de cobrimento, ancoragem, espaçamento, diâmetro entre outros parâmetros adequados ao detalhamento em conformidade com a NBR 6118 e a NBR 9062.

Os dados de saída do programa serão analisados qualitativamente de acordo com o resultado intencionado perante aos dados inseridos pelo usuário externo.

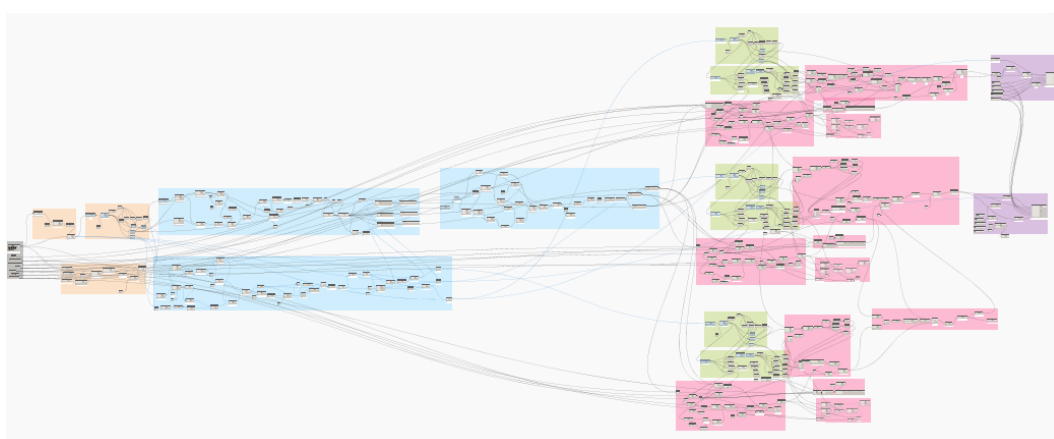
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proposta da rotina para solução do detalhamento dos consolos da estrutura pré-moldada citada acima é apresentada e pormenorizada a lógica de sua estrutura nos parágrafos a seguir. Além disso, muitas das escolhas estruturais do programa foram determinadas com o intuito de suprir as demandas e alcançar as qualidades citadas nos itens 1.2 e 1.3 dessa monografia, dessa forma as justificativas dessas alternativas são explicitadas quando se julga válido.

Ressalta-se que a maioria dos “nós” utilizados no programa estão disponíveis nos pacotes da configuração padrão do Dynamo para o Revit ou foram construídos através dos chamados “*code blocks*”, janela que te dá acesso à programação seu “nó”. Caso haja elementos apresentados no detalhamento do programa que fuja às ferramentas de referência do software, isso será destacado no texto. Salienta-se ainda que os “nós” de cada grupos serão muitas vezes referenciados com números, ilustrados sobre as imagens deles, para resumir o processo descritivo do programa.

Em resumo, o Programa Visual desenvolvido segue um processo em que os “nós” que o compõe são agrupados de acordo com sua função no sistema, e esses grupos, por sua vez, recebem diferentes cores que representam cada atividade do processo, que é descrito abaixo e também ilustrado na figura 4.1:

Figura 4.1 – Programa visual desenvolvido para detalhamento de consolos trapezoidais



Fonte: Autor

- Cinza: Dados de Entrada.
- Laranja: Coleta dos Elementos.

- Azul: Separação dos Elementos.
- Verde: Coleta da Geometria.
- Rosa: Elaboração do Desenho do Tirante.
- Roxo: Modelagem das Armaduras.

4.1 DADOS DE ENTRADA

O critério relacionado a quantidade de dados entrada desse programa tem o intuito de minorar o esforço do usuário, e, portanto, seu tempo de trabalho e sua perda de produtividade, embora, ao mesmo, também se buscou balancear o critério anterior com flexibilidade, ou seja, ofertar uma maior versatilidade de soluções para o problema, e com menor esforço processamento, uma vez que a rotina tem a tendência de se estender para absorver toda energia que seria gasta pelo utilizador ou que é usada para disponibilizar maior abrangência de resultados e a converter em esforço de processamento, ou seja, maior consumo de tempo, conflitando com a finalidade do primeiro critério. Resumindo, o número de dados entrada é um reflexo de toda a estrutura da lógica contida no programa, que tenta encontrar um equilíbrio entre esses e outros parâmetros para aumentar a qualidade da solução ofertada.

4.1.1 Dados de entrada da geometria da armadura

A figura 4.2. mostra o grupo de “nós” responsável por fornecer as informações necessárias à rotina para elaborar o desenho do tirante.

Figura 4.2 – Grupo de dados de entrada da geometria da barra

Dados de Entrada da Geometria da Barra

Select Model Elements

Change	Elements
Elements : 303796 303847 303900	
303953 304022 304065 304248	
304305 304438 304583 304761	
304796 304875 304912 304963	
305088 305261 305306 307031	
307088	

Diâmetro dos estribos verticais (mm)
0.000 >

Diâmetro estribos horizontais (mm)
8.000 >

Cobertura (cm)
3.000 >

Comprimento de Ancoragem no tirante
700.000 >

Comprimento de Ancoragem na biela (opcional)
400.000 >

Ancoragem total na biela
☒ True ☐ False >

Nº de barras
4.000 >

Fonte: Autor

O programa necessita de 8 dados de entrada, função desempenhada pelos “nós” da figura acima na seguinte ordem numérica:

1. A seleção dos elementos que fazem parte da estrutura modelada no Revit;
2. Diâmetro do estribo vertical;
3. O diâmetro dos estribos horizontais;
4. Cobrimento
5. Comprimento de ancoragem no tirante;
6. Comprimento de ancoragem na biela;
7. Condição de ancoragem total na biela;
8. Número de barras de reforço no consolo.

Vale a pena ressaltar que os dados de entrada do item 1 acima podem, ou não, ser todos elementos da estrutura pré-moldados previamente modelados, desde que os consolos

façam parte do campo de seleção. Essa opção foi concedida sobre a justificativa de tornar a inserção de dados ao programa menos laboriosa. Contudo, transferiu-se maior esforço ao programa para processar os elementos selecionados e diferenciar os consolos e pilares entre si e entre as outras peças do modelo. Portanto, aumentou-se tempo de processamento à rotina e se estendeu o número de atividades processo, representados pelos grupos de “nós” que se apresentam item que vem a seguir.

Os dados inseridos nos itens 2 e 3 são necessários a deslocar, conforme a distância inserida, o desenho da armadura tirante ancorado por alça vertical nas direções verticais e horizontais, respectivamente, em relação ao seu centro geométrico, para respeitar a condição de cobertura inserida no item 4. Os itens 5 e 6 são dados necessários para quantificar prolongamento das coordenadas nas extremidades do desenho da barra de reforço no bordo tracionado, superior, ou comprimido, inferior. No item 7 se tem uma variável do tipo “boolean”, que só pode armazenar dois tipos de variáveis, verdadeiro ou falso, cuja a sua função nesse sistema é oferecer ainda uma opção de ancorar totalmente o tirante na região da biela comprimida, descartando o dado do item 6, ou seja, estender a região inferior da barra até face oposta do pilar onde o consolo está locado, respeitando as condições de cobertura. O último dado de entrada necessário para o desenho das barras será o número de tirantes ancorado por alça vertical que serão distribuídos no consolo na direção transversal ao plano da armadura.

4.1.2 Dados de entrada das características da barra de aço

A figura 4.3 apresenta o grupo de “nós” que têm como função inserir as características da barra de aço que será modelada no Revit e que formará armadura do tirante no interior dos consolos selecionados.

Figura 4.3 – Grupo de dados de entrada das características da barra

Dados de entrada das características da barra

Rebar Style	
Standard	Rebar Style

Rebar Bar Type	
16M	Rebar Bar Type

Rebar Hook Orientation	
	Rebar Hook Orientation

Rebar Hook Type	
None	Rebar Hook Type

Fonte: Autor

O dado “Rebar Bar Style” indica o tipo da família da barra que será modelada no Revit ao longo de sua geometria, representando o diâmetro da armadura. Destaca-se aqui que segundo o item “k” da seção 2.1.3 dessa monografia “É proibida a execução de consolos com tirantes ancorados com alças verticais para diâmetro de barras maiores que 16 mm, ficando à cargo da responsabilidade do usuário respeitar a normatização na entrada dessa informação. Já o “nó” “Rebar style” pede para que o usuário escolha entre a configuração padrão, “Standard”, ou estribo, “StirrupTie”, que influenciará no raio de curvatura e no estilo de gancho da armadura. Por fim, “Rebar Hook Type” faz referência à opção de gancho na extremidades da armadura, técnica normalmente utilizada para diminuir o comprimento de ancoragem das armaduras em regiões de tração na peça específica, podendo também decidir entre a configuração padrão, “Standard”, ou estribo, “StirrupTie”, e também entre a angulação do gancho na direção

determinada pela direção orientada no “nó” “*Rebar Hook Orientation*”, optando por esquerda, “*left*”, ou direita, “*right*”.

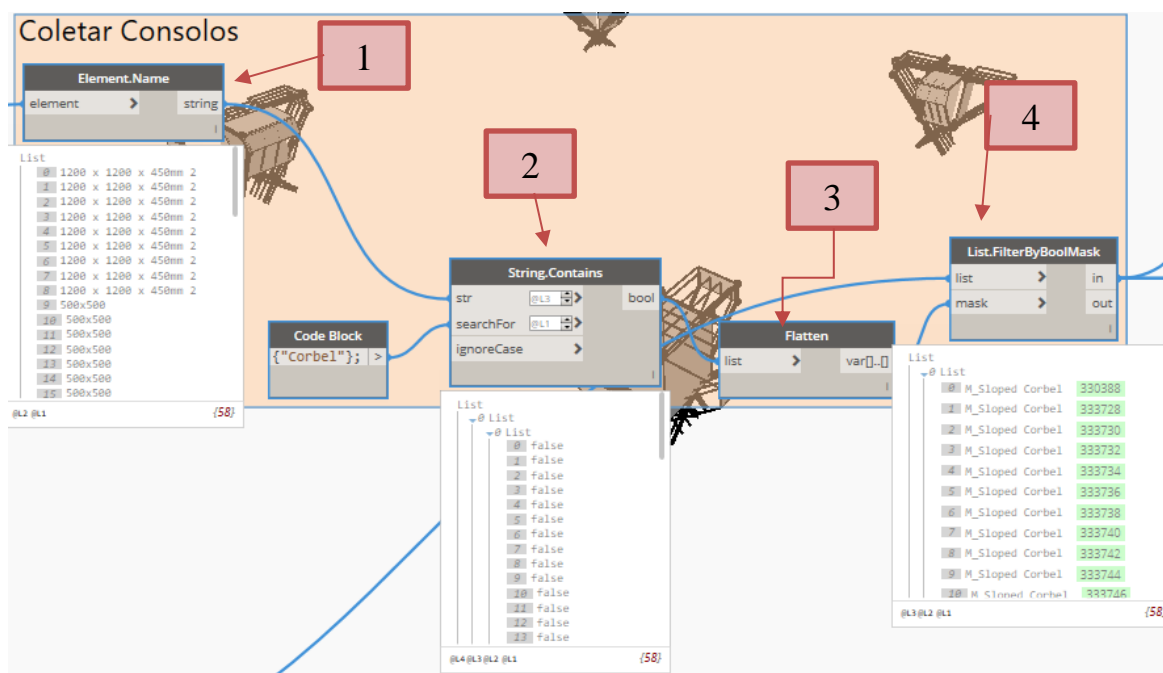
4.2 COLETA DOS ELEMENTOS

Como foi explanado e justificado acima, a rotina contempla um grupo de “nós” cuja a função é coletar os pilares e os consolos daqueles elementos selecionados no campo de dados de entrada. Segue então os comandos e a lógica para solucionar essa etapa do processo.

4.2.1 Coleta dos consolos

O primeiro grupo da atividade da seção, ilustrado na figura 4.4, é destinado à função específica de separar os consolos da estrutura.

Figura 4.4 – Grupo de coleta dos consolos



Fonte: Autor

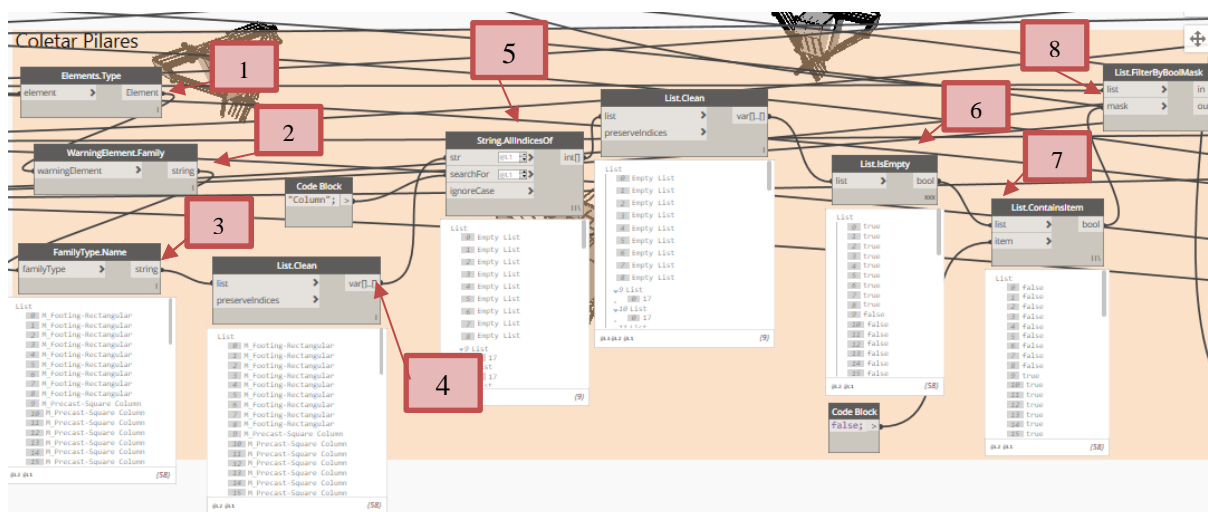
O “nó” apontado como número 1 na figura 4.4 é responsável por retirar os nomes da lista de elementos selecionados em um tipo de variável chamado “*string*”. Em seguida o “nó” número 2 recebe os nomes dos elementos e verifica aqueles contém a palavra “*corbel*”, consolo em inglês, em seus nomes. Este “nó” tem como dado de saída uma lista de variáveis

do tipo “boolean”, “true” e “false”, sendo “true” aqueles itens da lista que contém a palavra em questão em seus nomes. Esses dados passam para o “nó” 3, que serve para transformar a lista de variáveis em um quadro unidimensional, seu objetivo é corrigir ou prevenir “bugs” dos “nós” anteriores ou para os posteriores. Por fim, a função indicada pelo “nó” número 4 é de filtrar os elementos do Revit selecionados nos dados de entrada seguindo a informação do “nó” número 2, ou seja, mantendo os itens a qual possuem uma variável “true” no mesmo índice da lista inserida. Dessa forma, foi possível coletar somente os elementos estruturais que fossem consolos pré-moldados.

4.2.2 Coleta dos pilares

O grupo a seguir, mostrado na figura 4.5, tem a função de coletar os elementos que são pilares em meio aos elementos estruturais previamente selecionados.

‘Figura 4.5 – Grupo de coleta dos pilares



Fonte: Autor

Visto que os nomes desses elementos não contêm a palavra “column” ou outra palavra em comum para que se pudesse utilizar da mesma lógica do grupo de coleta dos consolos, utilizou-se do comando “element type”, número 1, que informa o tipo dos elementos, cujo seus nomes, para os pilares, inclui a palavra “column.” Para transformar o tipo de variável “element”, dado de saída do “nó” 1, em uma variável do tipo “string”, emprega-se o “nó” 2, necessário para dar entrada no “nó” 3 e, então, de fato, conseguir retirar o nome do tipo dos elementos selecionados. Utiliza-se do “nó” 4 para limpar qualquer “bug” no comando anterior ou que

interfira no posterior. A função do “nó” nessa lógica é mesma apresentada no grupo anterior, embora seus dados de saída contenham “*Empty list*”, “lista vazia”, ou seja, devido a forma de “laço” desse nó, isso ocasionou itens vazios em determinados índices da lista de dados de saída. Dessa forma, o comando 6 do programa identifica onde há “*Empty list*” e gera uma lista de “*boolean*”, onde há “*true*” nos índices que contêm itens vazios e “*false*”, onde possui algo elemento, no caso a palavra “*column*” no nome. Como há a necessidade de haver a variável “*true*” nos índices que contêm o nome, então o “nó” 7 utiliza de uma lógica para “inverter” a lista anterior e trocar de posição o “*true*s” e os “*false*s”. Desse modo, assim como no grupo citado anteriormente, o mesmo “nó”, número 8, pode operar para coletar os pilares dentre os elementos selecionados.

4.3 SEPARAÇÃO DOS ELEMENTOS

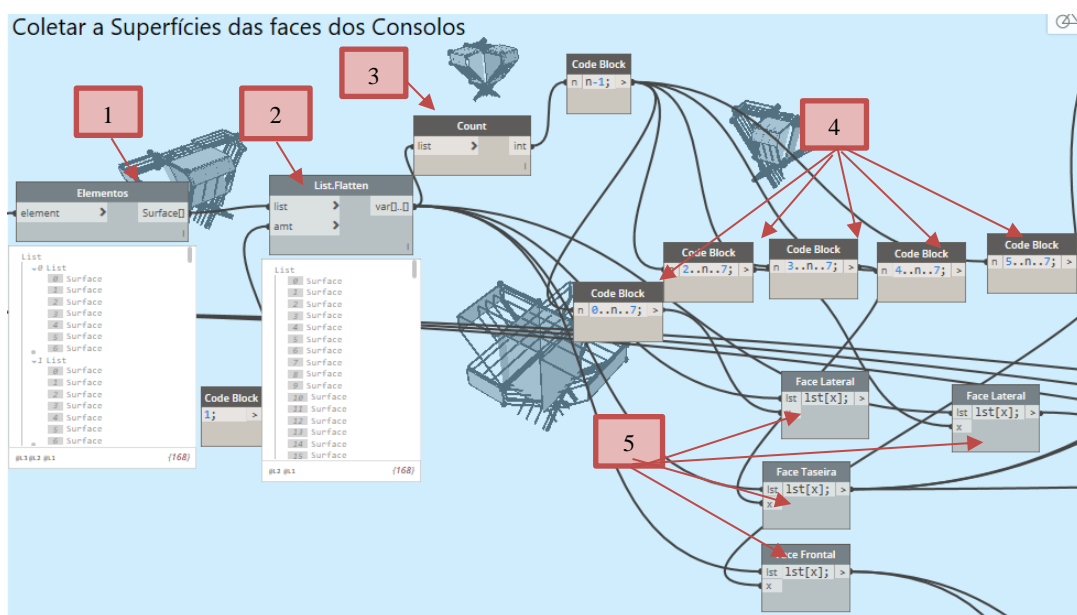
Devido a necessidade organização lógica dos elementos que serão processados pela rotina. Os consolos modelados necessitam ser devidamente “localizados” em relação à seus respectivos pilares e aos consolos ao redor deles. Essa organização será fundamental para as próximas etapas do processo, como, por exemplo, para identificar quais consolos serão destinados à rotina de desenho da armadura de “consolos duplos” e para determinar quais serão seus comprimentos de ancoragem relativo a face do pilar que eles estão locados.

Para se separar os elementos estruturais previamente coletados, antes é necessário coletar a geometria deles. Uma vez que somente com ela será possível realizar as operações cruciais para a discriminação desses elementos.

4.3.1 Coleta das superfícies das faces dos consolos

Segue então, ilustrado na figura 4.6, o grupo responsável por coletar a geometria dos consolos trapezoidais.

Figura 4.6 – Grupo de coleta das superfícies das faces dos consolos



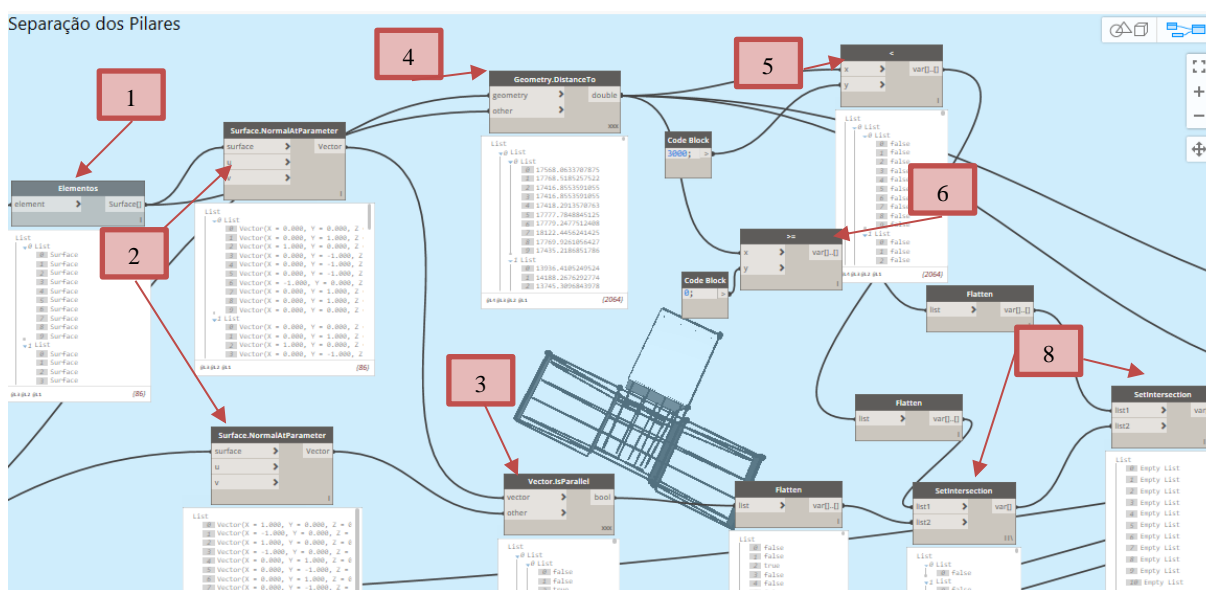
Fonte: Autor

Primeiramente o “nó” número 1, extrai todas as superfícies que formam o elemento do console trapezoidal. Em seguida, o “nó” 2 unidimensionaliza a lista anterior para tornar os “nós” subsequentes operáveis. O “nó” 3 é responsável por contabilizar o número de itens da lista de entrada. A seguir, os “nós” foram construídos a partir de “Code Blocks”, já comentados anteriormente, esses, que contém um ambiente personalizável, foram elaborados com uma lógica particular para extrair determinada face do console. Os “nós” representados pelo número 4 irão gerar uma lista que partirá do primeiro número da sentença, e irá até número “n”, que será o dado de entrada e também o dado de saída do “nó” 3 decrescido uma unidade, e no passo de 7 unidades, visto que esse é o número de faces que o console específico possui e também o número de itens na lista que separa o mesmo elemento de superfície de objetos diferentes. Assim sendo, essas listas serão a informação de entrada dos “nós” 5, que irão coletar os itens da lista de superfícies do console unidimensionalizada nos índices indicados por essas listas e, desse modo, cada lista irá representar um grupo de determinada superfície. Por isso, cada um dos “nós” 5 foram nomeados com a face do console que a representa para melhor visualização.

4.3.2 Separação dos pilares

O grupo a seguir, figura 4.7, irá se responsabilizar por distinguir os pilares que cada um dos consolos está locado e aqueles pilares que contêm “consolos duplos” ou que possuem “consolos simples” a partir do processamento de suas geometrias seguindo alguns critérios lógicos propostos.

Figura 4.7 – Grupo de separação dos pilares (1)



Fonte: Autor

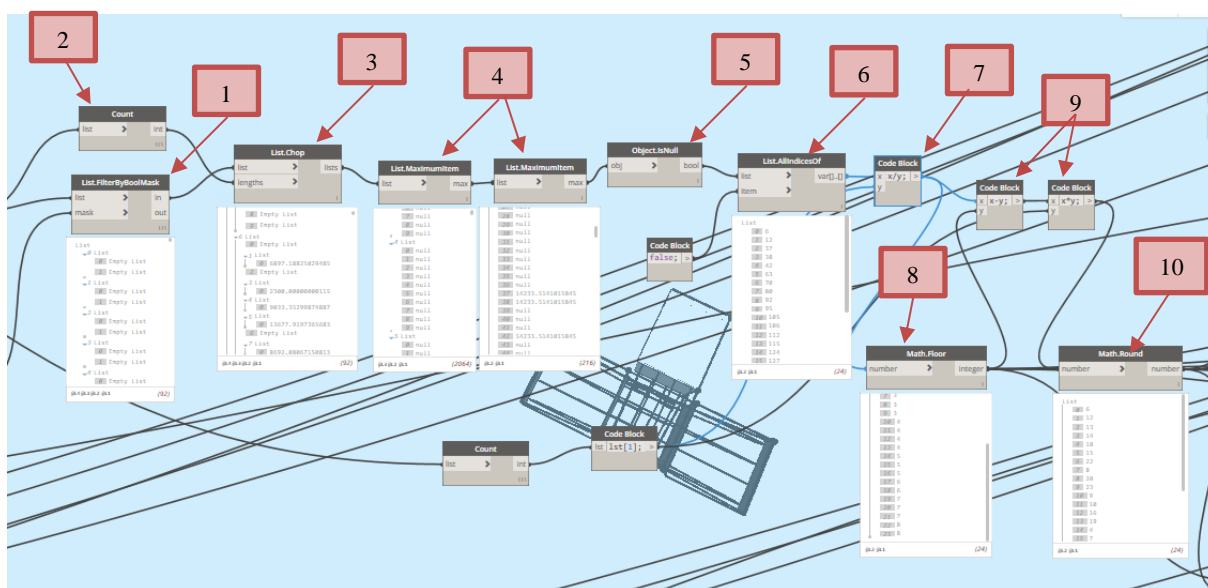
Para o fim intencionado, inicia-se extraindo as superfícies que serão analisadas, uma delas são as superfícies da face traseira dos consolos, coletada no grupo anterior, e outra são as faces dos pilares, coletadas pela operação realizada no “nó” 1. Dessa maneira, as faces desses objetos serão tratadas perante dois critérios, distância e paralelismo, portanto, as superfícies dos pilares que manterem uma certa distância e um paralelismo com a face externa de um consolo específico, significará para o programa que esse consolo está localizado naquela região. Portanto é necessário, que, para o critério de paralelismo das superfícies, determina-se o vetor normal a elas, atividade a cargo dos “nós” número 2. Esses vetores serão dados de entrada da operação indicada no número 4, onde verifica se existe paralelismo entre esses elementos. Já para se analisar o distanciamento das superfícies dos objetos o “nó” 5 cumpre essa função e informa a distância entre todos as faces inseridas.

Aqui se abre espaço para falar do tipo do “laço”, excepcional nos dois últimos “nós” apresentados, que seria a maneira como o operador irá interagir as listas elementos inseridos

entre si, e é indicado por um ícone no canto esquerdo da sua “caixa”, podendo ser do tipo “*Short List*”, em que a operação conecta os itens de mesmo índice um a um, “*Longest List*”, onde essa conexão se prolonga reutilizando os últimos dados de uma lista para interagir com outra de maior dimensão, ou “*Cross Product*”, na qual todas as possíveis ligações entre os elementos os elementos de cada uma das listas são executadas, e são representados pelos símbolos “|”, “||” e “xxx”, respectivamente.

Dando seguimento, os dados das distâncias entre todos os elementos são avaliados por dois critérios, os “nós” 5 e 6, que são operadores lógico matemáticos para determinar quais dos elementos estão dentro de um limite de espaço estabelecido como limite para que uma face de um console esteja distanciada da face de seu pilar, nesse caso, menor que 3 metros e maior que zero. Em 8, realiza-se o conjunto intersecção dos resultados que passaram nos critérios anteriores, portanto seu resultado final será o grupo de faces dos pilares em que cada console está localizado na ordem foram inseridos.

Figura 4.8 – Grupo de separação dos pilares (2)

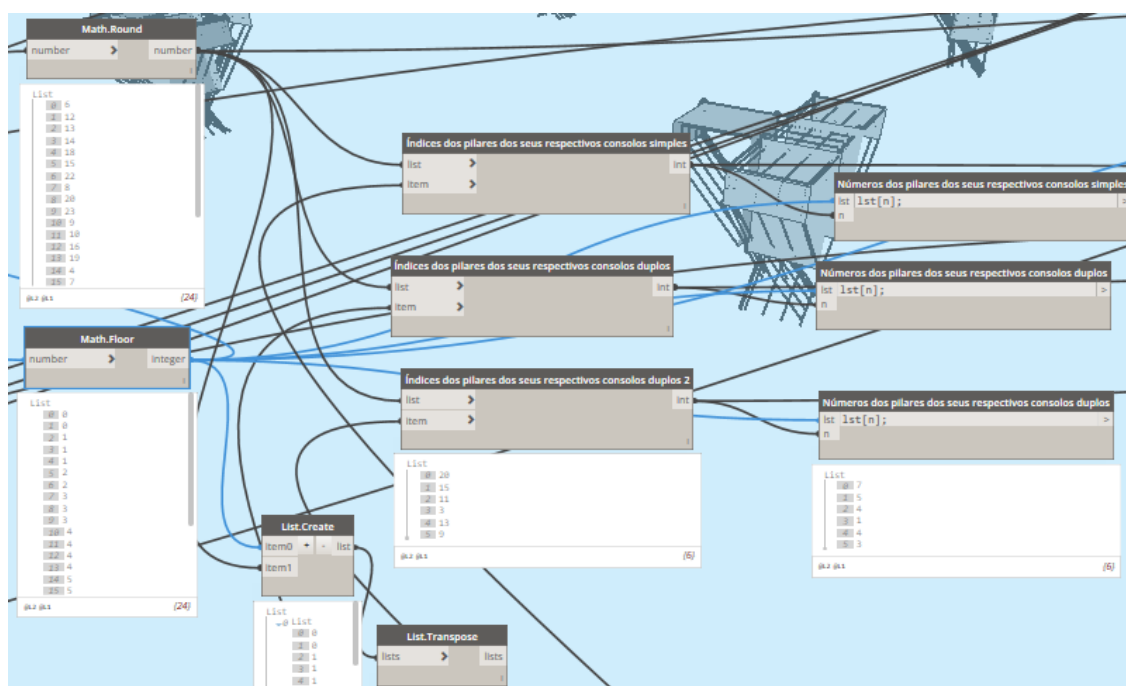


Fonte: Autor

Em prosseguimento, conforme apresentado na figura 4.8, o conjunto de “booleans”, resultantes da função anterior, serve como a informação de filtro no “nó” 1, que selecionará quais daquelas distâncias coletadas previamente estão adequadas aos critérios para ser considerada o local de cada console específico. Em 3, executa-se a seção da lista, que foi antecipadamente unidimensionalizada para melhor desempenho dos “nós” que vieram antes. Essa divisão ocorre a cada quantidade de faces de cada pilar na mesma ordem inserida

anteriormente, cuja a lista é reunida pela função 2 no “laço” “*Longest List*”, que contabiliza o número de itens de uma lista. E, então, essa segmentação irá mostrar a interação resultante de cada pilar com cada consolo, explicitamente separados. No item 4 e 5, busca-se apanhar o máximo valor de cada seção da lista anterior, e marcar como “*false*” as seções que contém uma distância dentro dos critérios, e “*true*” aquelas que não. Essa organização realçará os índices da lista em que há consolos correspondentes a um determinado pilar. O “nó” 6 então recolhe esses índices, divide-se pelo número de consolos em 7 e se retira sua parcela inteira no item 8, o resultado será uma lista referência de pilares. Os “*Code Blocks*” de 9 foram estruturados para retirar a porção parcial da divisão resultante do “nó” 7 e multiplicar pelo número de consolos. Uma vez que se arredonda esse resultado no item 10, obtêm-se a ordem de consolos que se refere à lista de pilares previamente concebida.

Figura 4.9 – Grupo de separação dos pilares (3)



Fonte: Autor

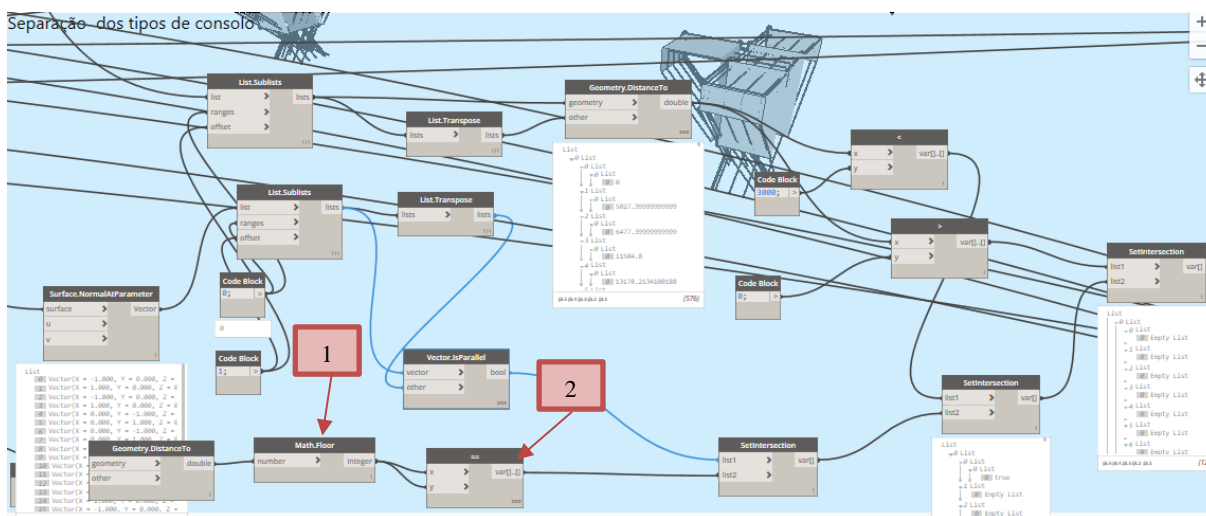
Por fim, a figura 4.9 mostra que, quando separados os números referentes à cada tipo de consolos, apresentado no grupo a seguir, pode-se determinar os índices e os números dos pilares referentes a cada consolo em específico. Isso será fundamental quando chegar a hora de determinarmos o comprimento de ancoragem das suas armaduras de tirante.

4.3.3 Separação dos tipos de consolos

O grupo em questão objetivará selecionar os consolos que terão reforço de “console duplo”, ou seja, aqueles que terão um elemento semelhante do lado oposto à face do pilar que estão locados e que sejam compatíveis para compartilharem a mesma barra de tirante ancorado por alça vertical, e os que receberão uma armação de “Console Simples”, todos aqueles que não têm as mesmas características dos “Consolos Duplos”. Para esse fim, recolhe-se, manipula-se e se analisa os parâmetros geométricos dos elementos perante os critérios adotados para caracterizar cada console, semelhante ao processo já apresentado para discriminar os pilares.

Os critérios adotados para essa determinação serão o paralelismo entre as faces traseiras dos consolos trapezoidais, um intervalo de distância entre elas e o nível de sua face superior. Os “nós” que inicialmente cumprem essa finalidade são mostrados na figura 4.10 e esmiuçados nos parágrafos seguintes.

Figura 4.10 – Grupo de separação dos consolos (1)



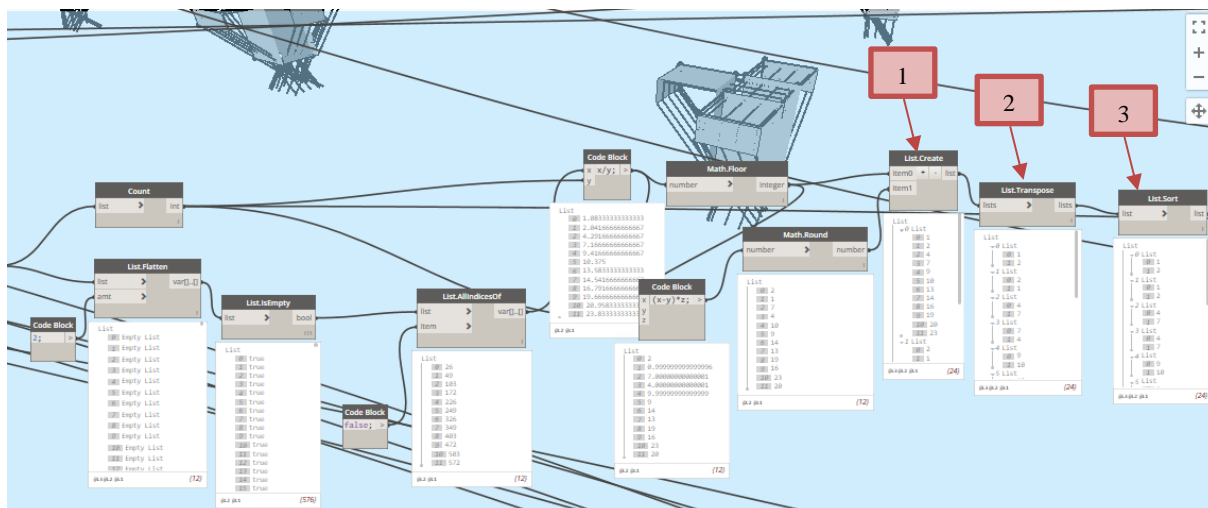
Fonte: Autor

Visto que a lógica da figura acima é basicamente a mesma que foi descrita no início da seção anterior, não se analisará a fundo essa estrutura. Ressalta-se somente que são os mesmos critérios utilizados, só que nesse caso, ao invés de interagir as superfícies dos pilares com a dos consolos, as geometrias de todos os consolos interagem entre si. Além disso, o critério referente às alturas dos elementos foi adicionado, referenciado com os números 1 e 2, pois somente os consolos que estão no mesmo nível podem ser considerados “Consolos Duplos”,

segundo o raciocínio do sistema. O “nó” número 1 coleta as distâncias dos itens inseridos em relação ao nível 0 no plano XY e o número 2 marca como “true”, verdadeiro, aqueles que possuem elevações semelhantes. O resultado ao fim dessa parte apresentada na figura será o conjunto interseção daqueles resultados que passaram nos critérios anteriores, ou como o programa interpreta, possuem um detalhamento armadura de tirante diferenciada em relação aos outros consoles trapezoidais.

Como visto na lógica da seção prévia, e apresentada agora na figura 4.11, os itens que foram aprovados pelos critérios devem ser referenciados e separados dos demais. Para isso são utilizados os mesmos “nós” anteriores para retirar os índices desses elementos na lista unidimensionalizada, coletar a parte inteira e decimal da sua divisão pela quantidade de objetos. O resultado disso significa a referência de cada console específico que é um “Console Duplo”, já ordem dessa sua lista expressa a que console o elemento interagiu para ser aprovado nos critérios anteriores, isto é, com qual objeto o console específico faz dupla no detalhamento de sua armadura. Como se observa na figura

Figura 4.11 – Grupo de separação dos consoles (2)



Fonte: Autor

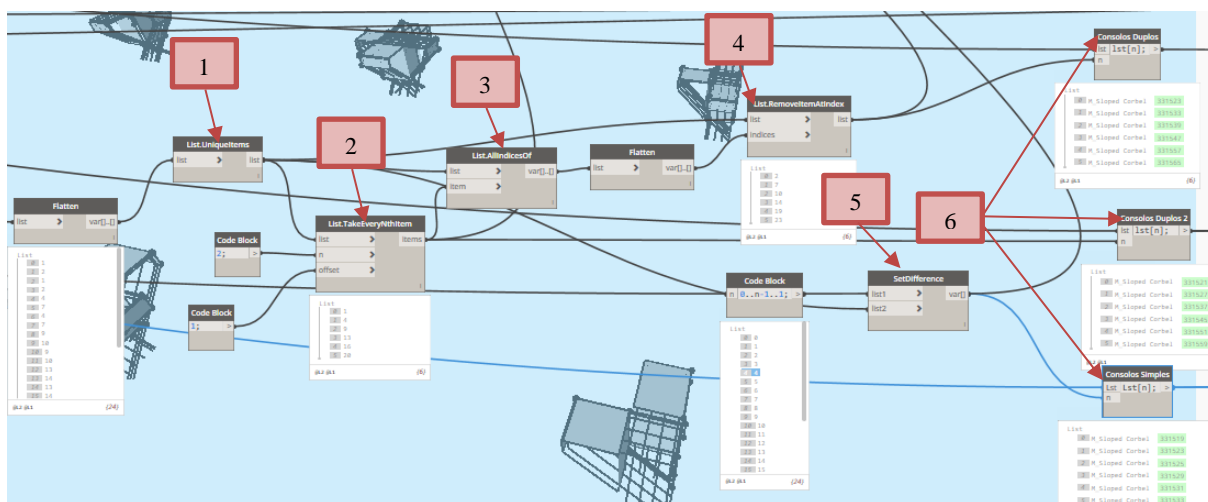
O resultado citado no parágrafo acima é inserido “nó” 1, que cria uma lista única para ambas as listas dos números de referência dos “Consoles Duplos”, ou seja, uma lista de duas seções com “n” itens. Em 2, obtêm-se a transposta dessa lista, ou matriz, como preferir, transformando-a em uma lista de “n” seções com dois itens cada, sendo cada um o par de seu

consolo duplo. E por fim, organiza-se o resultado em ordem crescente se utilizando da função 3. Dessa maneira, acomodou-se os elementos de “Consolos Duplos” de forma mais lógica.

Acompanhando a figura 4.12, objetiva-se retirar os elementos duplicados da lista resultante do processo anterior, pois ocorreram resultados simultâneos quando os objetos foram simulados entre si. Dessa maneira, insere-se a lista dos números de referência “Consolos Duplos” organizada em ordem crescente e também unidimensionalizada, para obter desempenho esperado do “nó” subsequente, em 1, onde se lista só aqueles itens que são únicos na lista, retirando aqueles elementos repetidos. Depois disso, recolhe-se somente metade das referências, ou melhor, apenas um dos consolos da dupla de “Consolos Duplos”. Nesse ponto, o “nó” 2 é útil selecionando uma à cada duas unidades da lista na ordem prévia. Logo após, apanha-se os valores dos índices que esses elementos possuem na lista do “nó” passado, processo desempenhado por 3, e então, retira-se as referências listadas nessas localidades em 4, isto é, formando uma lista que contém exclusivamente os outros números referentes aos pares de “Consolos Duplos” restantes.

Nesse ponto, pode-se visualizar na imagem da figura 4.12, que os dados de saída dos “nós” 2 e 4, são ambos as referências, ou os índices na lista de elementos coletados, se preferir, dos “Consolos Duplos” identificados. Para coletar os “Consolos Simples”, cria-se uma lógica dentro do “*Code Block*” que origina uma lista de números de 1 até o valor inserido, “n”, menos uma unidade, no passo de uma unidade, e, então, o “nó” representado pelo número 5 na figura abaixo, determina o conjunto diferença entre esta lista e aquela exibida pelo número 1, resultando nos consolos excedentes, isto é, os “Consolos Simples”. Logo em seguida, ilustrado com o número 6, sentenças nos “*Code Blocks*” exibidos, cujo os dados de entrada são os elementos de consolos trapezoidais do selecionados no Revit e a lista de índices discriminados nos nós 2, 4 e 5, resulta na separação dos itens consolo de acordo com suas características de detalhamento demandadas, ou seja, conforme o objetivo do grupo inicialmente citado na seção. Retoma-se também que esses mesmos três resultados farão parte da lógica final do grupo de separação de pilares, uma vez que os números dos índices dos tipos de consolo serão necessários para resgatar o local de cada um deles na lista de pilares preparada, que estará ordenada conforme as referências dos consolos.

Figura 4.12 – Grupo de separação dos consolos (3)



Fonte: Autor

4.3.4 Separação dos comprimentos de ancoragem

O grupo seguinte buscará separar os comprimentos dos elementos que influenciarão o desenho da região de ancoragem das armaduras de tirante ancorado por alças verticais para cada consolo específico. Essa dimensão possui vínculo com as medidas dele próprio e com as dos pilares onde os elementos estão locados, visto que, apesar do comprimento de ancoragem ser um dado de entrada, o detalhamento do tirante precisará de ambas as informações para criar a geometria da barra de reforço corretamente.

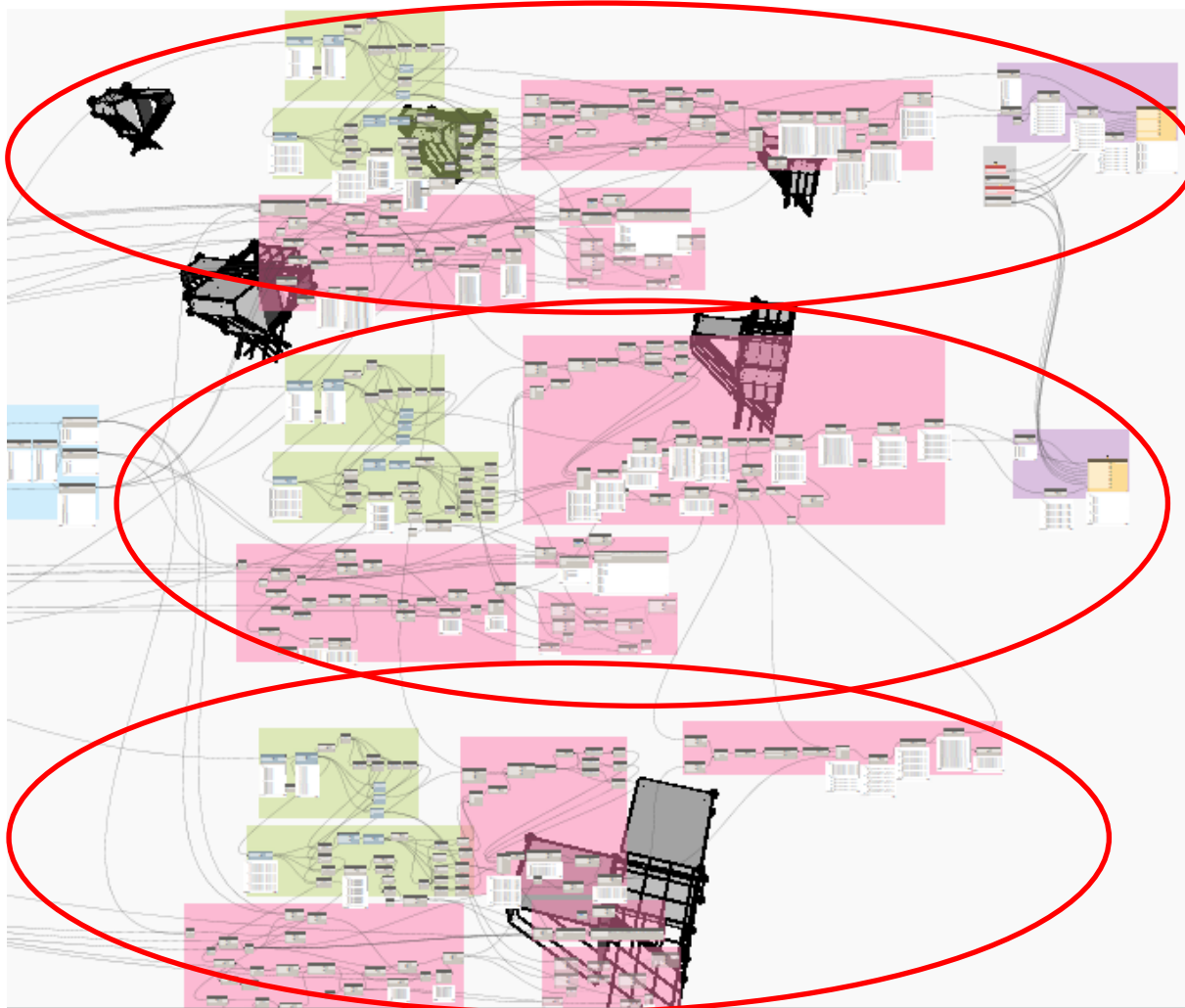
há uma distância inferior a 3 metros. Em 2, usa-se a função para retirar o máximo valor de cada lista, isto é, a máxima distância entre a face traseira dos consolos e as faces dos pilares onde estão os pilares estão localizados. Aqui, frisa-se que não necessariamente o critério de distanciamento de entre um pilar e um consolo que não está locado nele será sempre maior que 3 metros, embora esse foi parâmetro determinado para que a lógica funcione como o esperado. Logo depois, no item 3, as distâncias coletadas entre as faces são divididas por 10, em um “*Code Block*”, arredondado seu valor, e multiplicado por 10 novamente, para se obter a medida exata da distância entre os pilares na direção ortogonal ao plano das faces traseiras de seus consolos, visto que a mensuração desse espaço é, muitas vezes, demasiadamente precisas, pois as funções captam minúsculas medidas entre os elementos. No término desse grupo, tem-se os comprimentos necessários para o desenho da região de ancoragem da armadura discriminados por tipo de consolo e ordem relativa ao seu número de referência de cada consolo. Esse resultado é indicado pelo número 4, onde cada “*Code Block*” tem a responsabilidade de resgatar a distância no índice coletado no fim do grupo de separação dos pilares referente a cada consolo.

4.4 COLETA DA GEOMETRIA

A partir desse ponto da rotina, os diferentes “tipos de consolos” e suas respectivas informações, separadas na seção anterior, serão distribuídos para três lógicas diferentes, indicadas na figura 4.15. Aquela que é circulada nessa figura acima das outras é atribuída da função de desenhar e modelar as barras de reforço dos “Consolos Simples”, já ambas as inferiores desempenharão a mesma atividade para os “Consolos Duplos”, sendo que cada uma recebe metade desses elementos. Muitos dos grupos dentro de cada uma dessas rotinas são iguais ou muitos parecidos entre si, por esse motivo, serão explanados, muitas vezes, somente uma vez, e outras, apenas destacadas suas diferenças fundamentais.

A atividade exercida pelos grupos dessa divisão é a de iniciar o desenho dos tirantes ancorados por alças verticais. A referência para o desenho dessas barras é a geometria da face lateral dos consolos trapezoidais. Portanto, propõe-se nessa seção uma lógica capaz de extrair as superfícies dos elementos, buscar as faces nas referências corretas, organizar cada uma, retirar o traçado do perímetro dos planos relevantes e apanhar as coordenadas que necessárias para dar sequência na modelagem das barras de reforço. Os grupos que exercem essa atividade são os mesmos para os três segmentos dessa parte do programa.

Figura 4.15 – Grupos da parte final do programa



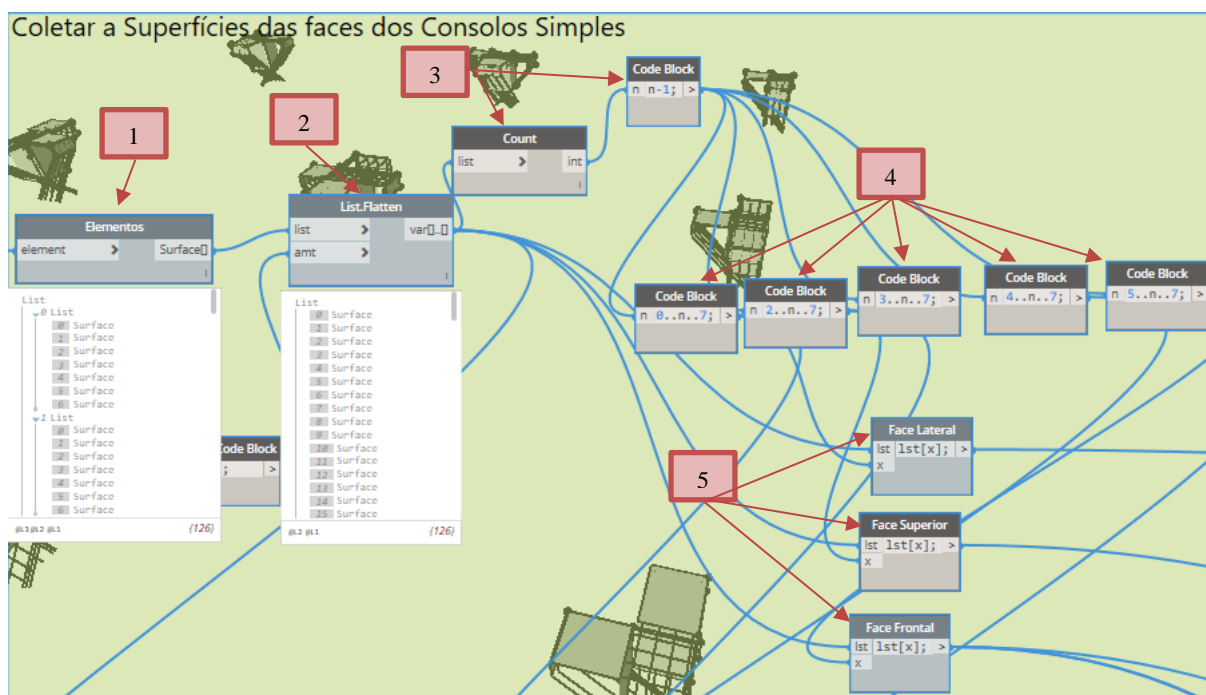
Fonte: Autor

4.4.1 Coleta das superfícies das faces dos consolos

Esse grupo, ilustrado na figura 4.16, busca colher e discernir as faces dos consolos separados. Então, o mesmo se inicia extraindo as superfícies dos elementos inseridos com o suporte do “nó” 1 e, em sequência, unidimensionalizando essa lista de dados em 2. Logo depois, visto que a família desses consolos possui 7 faces, busca-se estruturar um raciocínio para orientar a separação dos planos. Para isso, recolhem-se os índices de referência das áreas desejadas e, quando somados 7 unidades, tem-se a referência da face de interesse do elemento seguinte, ou seja, se somado até a quantidade máxima de itens da lista, extrai-se portanto todas as superfícies de interesse de cada consolo. Desse modo, nos “nós” 3, é estipulado a quantidade de faces dos objetos que foram inseridos. Isso é necessário para que, o código inserido nos “Code Blocks” marcados com o número 4, gere uma lista de algorismos até essa quantidade

determinada no passo de 7 unidades, sendo que o número inicial da lista será o índice da face do elemento que se deseja e que também estabelecerá a qual plano dos consolos a listagem fará referência. Assim, os “nós” indicados com número 5 utilizam esses dados como informações para localizar e coletar as superfícies que lhes interessam de cada consolo que deu entrada nesse grupo. Em 5, cada “nó” foi nomeado com a face que foi retirada dos consolos.

Figura 4.16 – Grupo de coleta das superfícies das faces dos consolos



Fonte: Autor

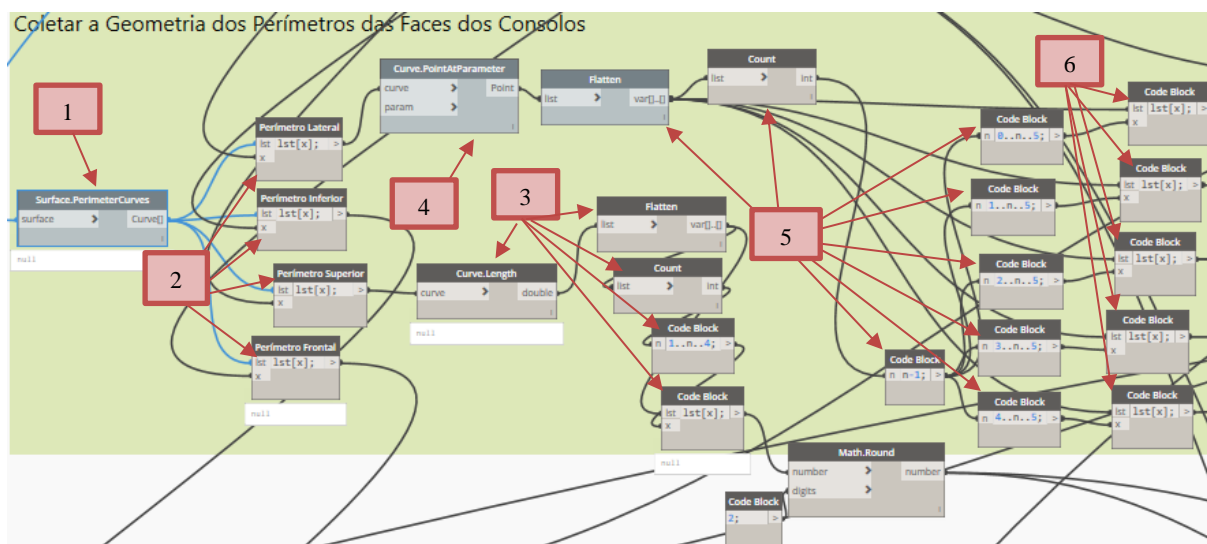
4.4.2 Coleta da geometria dos perímetros das faces dos consolos

O grupo seguinte, figura 4.17, almeja desconstruir as superfícies das faces laterais dos consolos em curvas e coordenadas e utilizar dessas para formar a curva de modelagem do tirante.

A lista de superfícies dos consolos unidimensionalizada, proveniente do “nó” 2 da figura 4.16, é dado de entrada do “nó” 1 da figura 4.17, a partir disso, retira-se a curva referente ao perímetro das áreas dos elementos. Logo depois, os códigos indicados pelo número 2 extraem a lista dos contornos das faces relativas as mesmas referências que foram recolhidas nos “Code Blocks” marcados com o número 4 no grupo de coleta das superfícies das faces dos consolos. Uma vez tendo separado cada lista de contorno de cada face pertinente do consolo, cada uma é destinada à uma parte do programa para servir de parâmetro para determinada função. No caso

da lista de curvas que formam o perímetro superior, é determinado o comprimento de cada um dos itens e, então, separado a medida da curva paralela à face onde o consolo está locado, ou seja, a largura dele. Essa informação é importante para determinar o espaçamento entre as barras do consolo e os nós responsáveis por apanhar esses dados estão indicados com o número 4 na figura abaixo. As geometrias dos planos inferiores e frontais são destinadas ao grupo de compensação do “*offset*” da curva do tirante. E já área lateral tem seu desenho desmontado nas coordenadas de seus vértices pelo “nó” 4. Em 5, usa-se, mais uma vez, o raciocínio para tirar aqueles itens desejados de uma lista unidimensionalizada, isto é, gera-se uma lista de números referentes aos índices de a cada uma das seis coordenadas e depois são apanhadas e separadas nos “*Code Blocks*” mostrados pela indicação 6.

Figura 4.17 – Grupo de coleta da geometria dos perímetros das faces dos consolos



Fonte: Autor

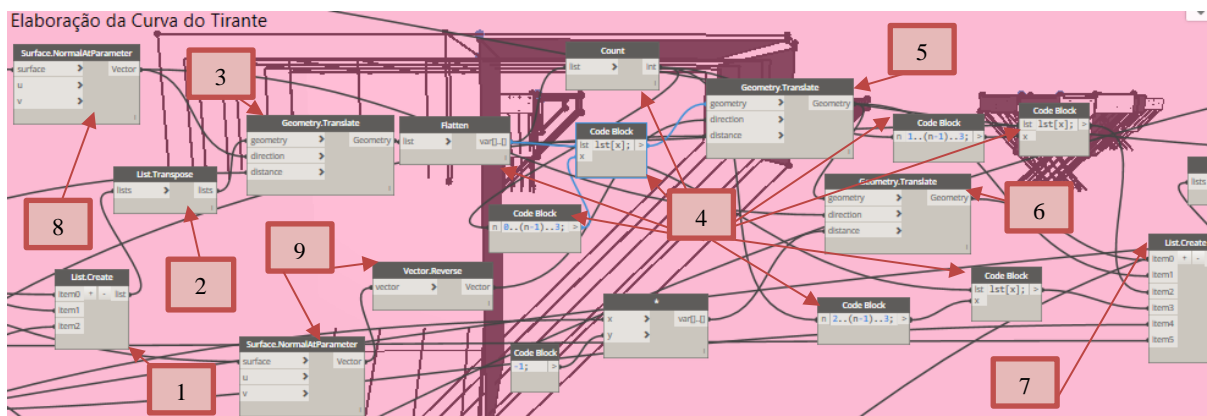
4.5 ELABORAÇÃO DO DESENHO DO TIRANTE

É neste ponto do programa onde todos os dados que foram coletados e devidamente separados são processados para formar a curva que servirá de orientação para modelagem da barra de tirante ancorando por alças verticais dentro de cada consolo no Revit. Os “Consolos Simples” terão uma lógica diferente daquelas utilizadas para formar a curva das barras dos “Consolos Duplos”, por esse motivo cada uma será explanada em particular.

4.5.1 Elaboração da curva do tirante

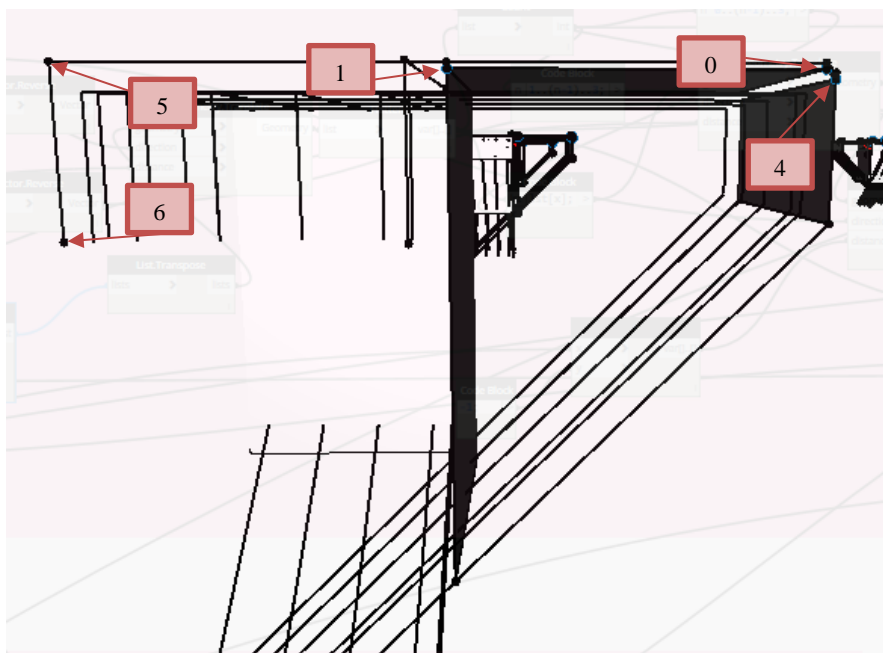
O grupo tratado nessa seção, apresentado na figura 4.18, é responsável por processar as informações anteriormente coletadas para desenhar a geometria que servirá de base para a criar o elemento das barras de reforço. Para isto, no “nó” 1, figura 4.18, inicia-se coletando as listas de coordenadas do contorno da face lateral dos consolos que foram separadas no último grupo apresentado. Nesse “nó”, entra-se com 3 listas, as coordenadas 0, 1 e 4, indicadas na figura 4.19, do desenho do plano lateral do consolo. Em 2, obtêm-se a matriz transposta da matriz formada pelas listas de dados, ou seja, têm-se listas formadas pelas 3 coordenadas de seus consolos específicos, e não mais listas de cada uma das coordenadas. Dessa maneira, o “nó” indicado com o número 3 na figura 4.18 irá transladar essas coordenadas na direção do vetor perpendicular ao plano superior do consolo, dado de saída do “nó” 8, e na distância referente ao estribo horizontal subtraído o diâmetro do estribo vertical, isso acontece porque todo o desenho irá ser deslocado posteriormente em direção ao seu interior para respeitar as condições de cobrimento do tirante somados o diâmetro do estribo horizontal, operação chamada “offset”, assim, a parte superior do contorno da armadura não sofre influência do deslocamento referente ao estribo horizontal, portanto deve ser compensada. Dando seguimento, todos os “nós” que estão indicados pelo número 4 fazem parte da mesma lógica já detalhada em outros grupos, cuja a função é retirar e separar dados específicos de uma lista em seus índices de referência. A coordenada número 1, mostrada na figura 4.19, é dado de entrada no “nó” 5, figura 4.18, que a desloca na direção do vetor perpendicular à face frontal do consolo e à distância da face do pilar onde o consolo se localiza até a face oposta à ela decrescida a medida de cobrimento e o diâmetro do estribo horizontal. Esse ponto resultante ainda é inserido no “nó” 6, que o move na direção do vetor perpendicular ao plano da superfície superior do consolo, invertido, resultante da operação que ocorre nos “nós” 9, e na quantidade necessária para completar o comprimento de ancoragem na região tracionada que foi dado entrada. Os dados de saída dos dois últimos “nós” citados são ilustrados na figura 4.19 com os números 5 e 6 para melhor visualização do resultado. Ambos esses pontos, mais as coordenadas 0 e 5, que foram separadas em 4, e as excedentes, 2 e 3, são colocadas no “nó” 7 na ordem em que será desenhada a curva desejada.

Figura 4.18 – Grupo de elaboração da curva do tirante (1)



Fonte: Autor

Figura 4.19 – Coordenadas curva do tirante (1)

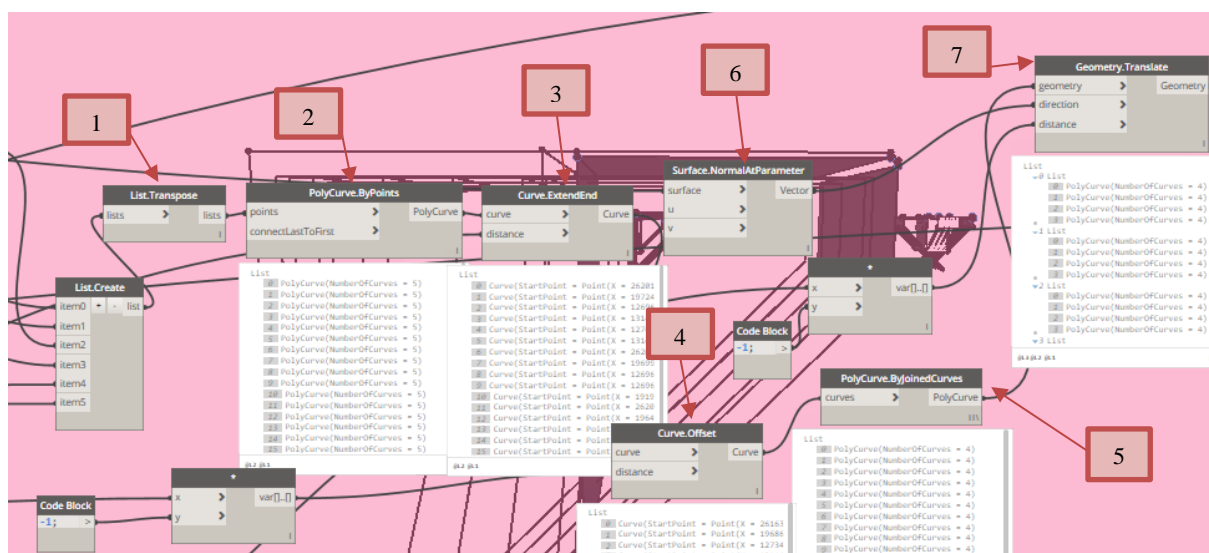


Fonte: Autor

Para finalizar o desenho da armadura necessita, primeiramente, unir as coordenadas que foram elaboradas. Então listas de cada coordenada das curvas na devida sequência são transpostas para se tornarem as listas de coordenadas de cada curva com o suporte da função indicada pelo com o número 1 na figura 4.20. Em seguida, esses itens dão entrada “nó” 2, que os ligará ponto a ponto por um conjunto curvas retas, chamada “*polycurve*”. Para finalizar a forma da armadura se necessita criar o traçado da barra na região da biela comprimida, para isso, utiliza-se do item 3 para estender a última coordenada da curva que foi dado entrada até o comprimento de ancoragem inserido ou até a face oposta do pilar respeitando as condições de

cobrimento, dependendo da opção escolhida. E então, com a ajuda da operação indicada com o número 4, finaliza-se a curva que servirá de orientação para modelagem da barra de reforço deslocando todo o conjunto de toda sua geometria em direção ao seu interior, ou seja, operando um chamado “*offset*” na direção interna, no valor da soma da distância de cobertura e do diâmetro do estribo horizontal inserido na rotina. É necessário utilizar o “no” apontado como número 5 para resgatar o formato de “*polycurve*”, que foi perdido no resultado de saída do “nó” anterior. Esse formato é fundamental para o “nó” seguinte, número 6, exerça sua função conforme o desejado, isso é, distribua uniformemente a curva produzida, respeitando a condição de cobertura, ao longo do console na direção do vetor perpendicular ao plano da superfície lateral dele, dado de saída do “nó” 6, e no número de barras que foi dado entrada.

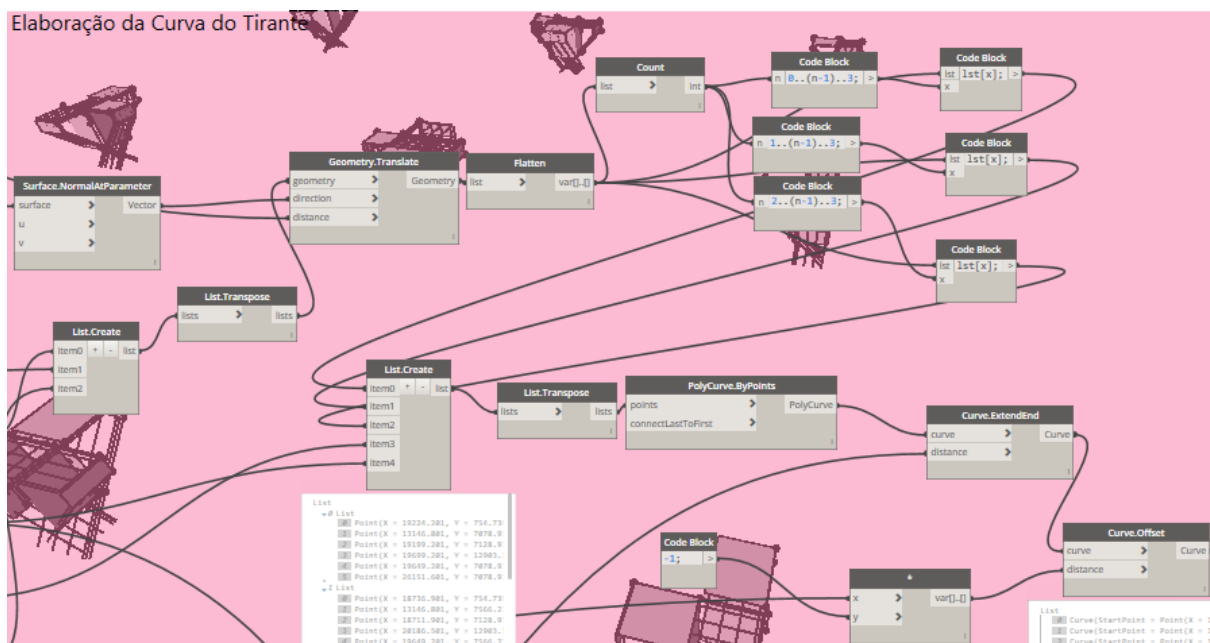
Figura 4.20 – Grupo de elaboração da curva do tirante (2)



Fonte: Autor

A partir desse ponto da seção, visa-se pontuar as diferenças entre a rotina à qual os “Consolos Simples” são destinados e aquela na qual os “Consolos Duplos” participam. Como pode ser observado na figura 4.20, a lógica da elaboração da curva que representa a armadura do “Consolo Duplo” é uma versão simplificada daquela que retrata o desenho do tirante do “Consolo Simples”, ou seja, com a ausência dos “nós” 5 e 6 da figura 4.18, uma vez que, separadamente, cada elemento de reforço do “Consolo Duplo” necessitará de menos deslocamentos para montar o contorno de sua armadura. Entretanto, ela necessitará de um novo grupo para exercer a função de unir ambas as geometrias dos “Consolos Duplos”, ilustrado na figura 4.22.

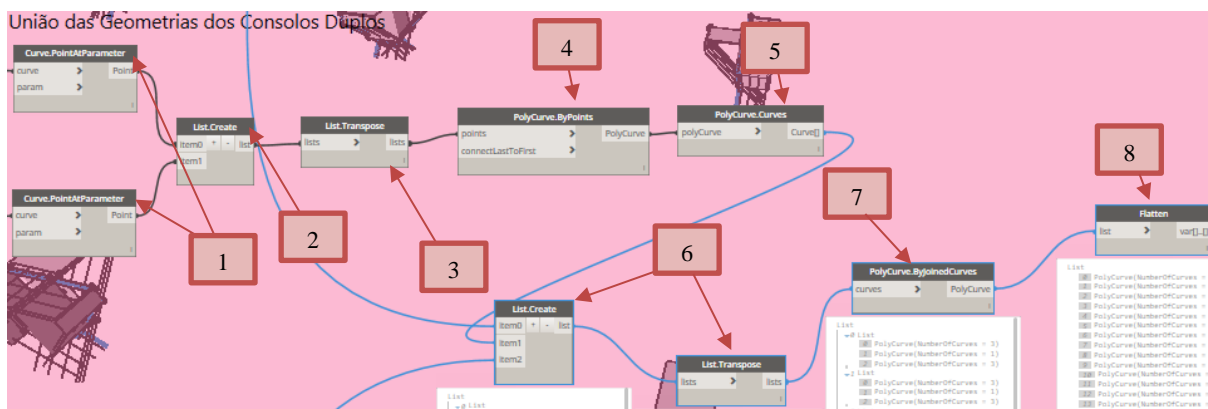
Figura 4.21 – Grupo de elaboração da curva do tirante dos “consolos duplos” (1)



Fonte: Autor

Continuando o detalhamento da lógica da elaboração dos elementos dos “Consolos Duplos”, o grupo apresentado na imagem abaixo, figura 4.22, recebe ambas as listas de curvas de cada consolo no “nó” 1, a qual retira a coordenada inicial dela, isso é, aquela que se localiza na ponta superior e do desenho e a destina ao “nó” 2, que cria uma lista das listas de ambas. A matriz resultante é então transposta pelo “nó” 3, formando uma lista de listas com ambos os pontos que fazem parte de cada “Consolo Duplo”. Dessa maneira, em 4, a lista de dupla de coordenadas tem seus itens ligados por uma reta, resultando em uma lista de retas que ligam ambas as curvas que configuram o contorno da armadura de cada “Consolo Duplo”. Esses dados de saída possuem formato de “*polycurve*” e necessitam ser convertidos para o formato de “*curve*” no “nó” 5 para o funcionamento correto das funções seguintes. É então, novamente, no item apontado com o número 6, utilizada da lógica para criar uma lista de elementos e depois coletar a transposta dessa matriz para agrupar todos elementos que fazem parte de cada “Consolo Duplo”, nesse caso, os elementos são as curvas que representam ambas as barras de reforço dos consolos e a reta que as unem. Em seguida, essas curvas são transformadas todas em “*polycurves*” pela ação da função 7 e, depois, a lista de elementos é unidimensionalizada em 8 para torna-la trabalhável para as funções seguintes.

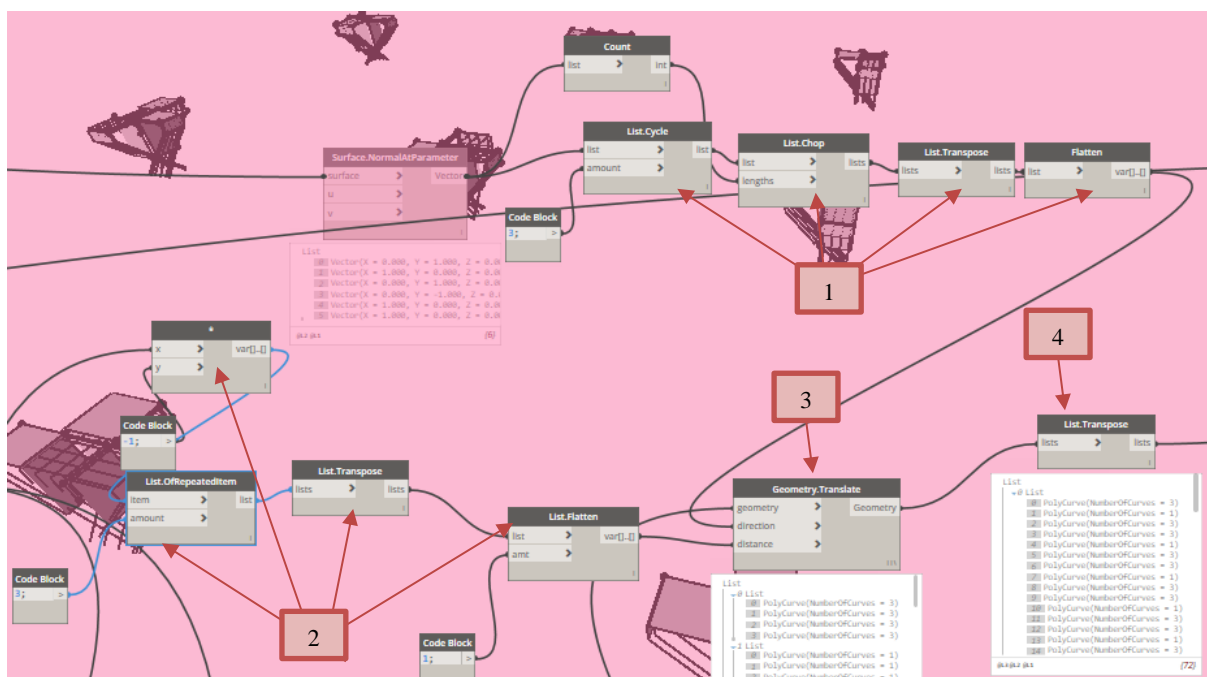
Figura 4.22 – Grupo de união das geometrias dos “consolos duplos”



Fonte: Autor

Para finalizar o contorno definitivo a distribuição do que será a armadura de tirante ancorado por alças verticais ao longo dos elementos de “Consolos Duplos”, tem-se o restante da lógica responsável por elaborar a curva do tirante para esse tipo de consolo ilustrada na figura 4.23. Os “nós” apontados com os números 1 e 2 mostrados na imagem abaixo cumprem o objetivo de triplicar os vetores que direcionam a distribuição e as distâncias que mensuram o espaçamento, respectivamente, de cada uma das 3 curvas de cada “Consolo Duplo” no “nó” 3, que têm como dado de saída uma lista de cada uma das curvas distribuídas ao longo da direção, na quantidade e na ordem inserida. Portanto, em 4, extrai-se a transposta dessa matriz, obtendo a lista de curvas discriminadas por cada “Consolo duplo” e na ordem de elaboração delas.

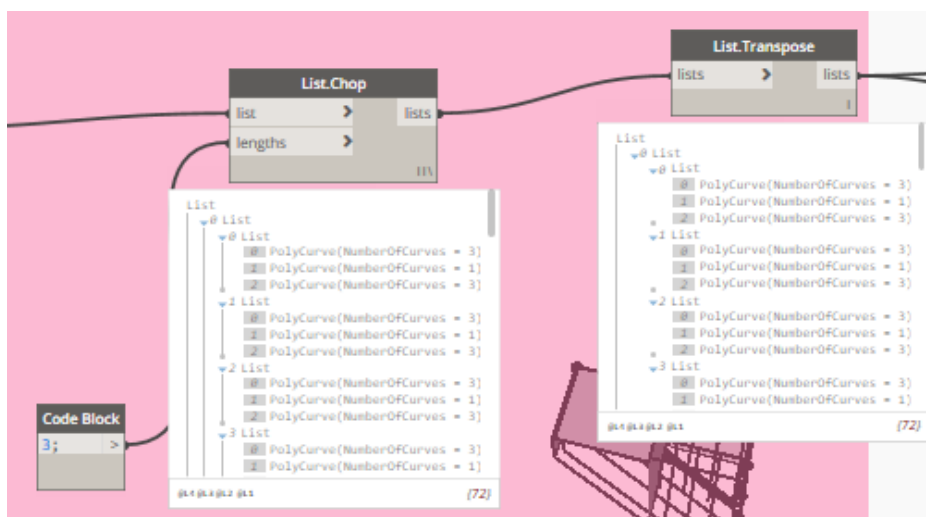
Figura 4.23 – Grupo de elaboração da curva do tirante dos “consolos duplos” (2)



Fonte: Autor

Para finalizar a geometria da armadura de tirante, a parte final do grupo de elaboração da curva do tirante, mostrada na imagem da figura 4.24, cria-se uma segmentação a cada três elementos de cada lista de curvas produzidas para cada “Consolo Duplo”, e, logo depois, retira-se a matriz transposta a ela para, por fim, obter a lista devidamente separada pelos contornos definitivos do que será a armadura de tirante ancorado por alças verticais ao longo dos elementos de cada “Consolo Duplo”.

Figura 4.24 – Grupo de elaboração da curva do tirante dos “consolos duplos” (3)



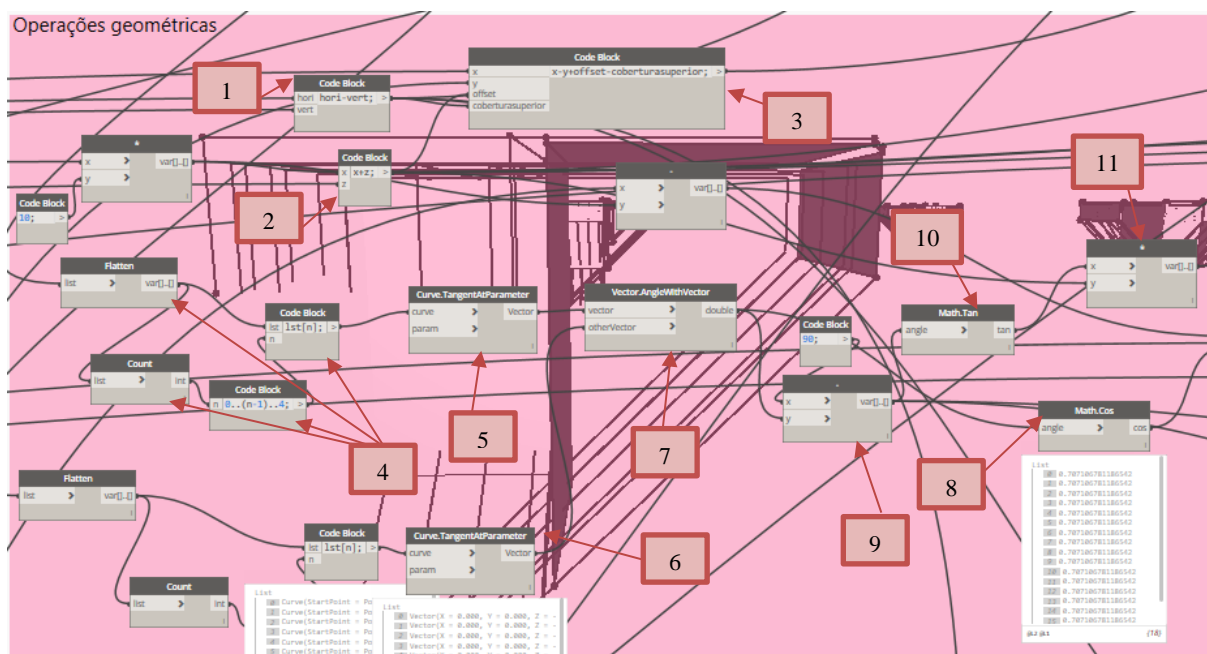
Fonte: Autor

4.5.2 Operações geométricas

O grupo de operações geométricas cumpre o ofício de determinar os deslocamentos que as coordenadas dos perímetros das faces laterais dos consolos separadas e a curva que as unem necessitam ter para produzir o desenho do tirante. Optou-se pela apresentação desses cálculos após mostrar os procedimentos que elaboram o desenho da armadura para melhor compreensão do que os resultados a seguir mesuram de fato. Ressalta-se que a lógica em questão é idêntica para ambos os tipos de consolos.

Seguindo a figura 4.25, o “nó” 1 efetua a subtração entre diâmetro do estribo horizontal e o estribo vertical, o valor resultante é entrado no “nó” 3 e “nó” 3 da figura 4.18, responsável por deslocar as coordenadas superiores para compensar o “*offset*” que vem em seguida. Já em 2, opera-se a soma do valor de cobertura, em milímetros, com o diâmetro do estribo horizontal, a medida de saída da operação será utilizada para quantificar do deslocamento efetuado pela função “*offset*”. O “*Code Block*” indicado com o número 3 efetua o cálculo do distanciamento realizado pelo “nó” 6 da figura 4.18 para completar o comprimento de ancoragem da região tracionada, portanto, a lógica contabiliza o valor de ancoragem no tirante somado ao valor de “*offset*”, que precisa ser compensado, subtraído os comprimentos de ancoragem no eixo horizontal ao plano da face lateral dos consolos, separados no “nó” 4 da figura 4.14, e o valor da compensação superior, dado de saída do “nó” 1. Outra linha de cálculo desse grupo é a estipulação do comprimento de ancoragem na região da biela comprimida, que será inserido no “nó” 3 da figura 4.19. Para isto, em 4, usa-se do mesmo raciocínio para coletar itens de uma lista, e se retira da listagem de curvas do perímetro inferior, indicado com o número 2 na figura 4.17, a aresta que possui dimensão no plano face lateral do consolo, e, logo depois, o “nó” 5 obtêm o vetor tangente à essa curva. O mesmo processo é efetuado para a face frontal do consolo em 6, e, então, afere-se o ângulo entre ambos os vetores no “nó” 7 e o cosseno dele no 8. Em 9, subtrai-se este ângulo a noventa unidades, para se colher o ângulo complementar a ele, e, em seguida, determina-se a tangente deste valor obtido no “nó” 10 e se multiplica pela dimensão do “*offset*” que será aplicado no “nó” 11.

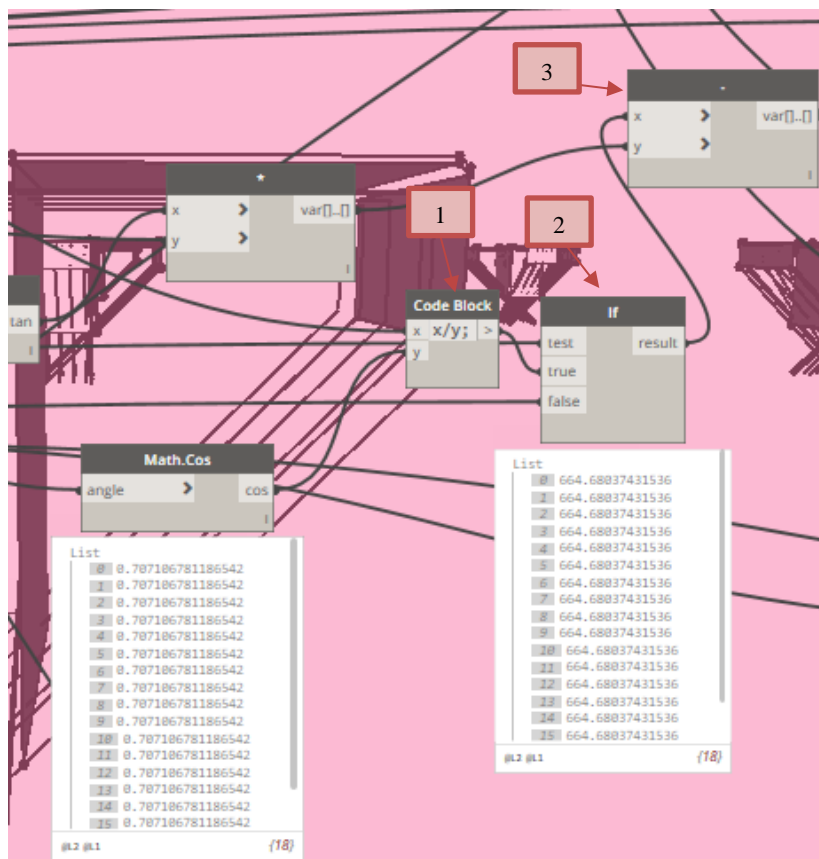
Figura 4.25 – Grupo de operações geométricas (1)



Fonte: Autor

Completando a lógica do grupo em questão, o “Code Block” indicado com o número 1 da figura 4.26 opera a divisão do comprimento entre a face onde o consolo está locado e a face oposta a ela, subtraído o cobrimento inserido, pelo valor do cosseno, estipulado no “nó” 8 da figura 4.25. Logo após, é utilizado uma operação condicional com o suporte do “nó” 2, este possui como dado de entrada um teste, cujo o formato é do tipo “boolean”, que, neste caso, é inserido pelo usuário do programa e faz referência a opção de ancoragem total da armadura na região da biela, isto é, ancoragem até a face oposta do pilar onde o consolo está locado. Dessa forma, caso a ancoragem total da armadura seja entrada como opção verdadeira, “true”, então o resultado do “nó” 1 será o dado de saída do “nó” 2, caso falso, “false”, será utilizado o comprimento de ancoragem na região da biela introduzido pelo usuário como o produto da operação. A medida selecionada em “2” é, assim, subtraída pelo resultado do “nó” 10 da figura 4.25, tornando-se o comprimento de ancoragem da armadura de tirante ancorado por alças verticais na região da biela comprimida do consolo e, também, dado de entrada do “nó” 3 da figura 4.20, cuja a função é estender a coordenada final do desenho da barra de reforço elaborada.

Figura 4.26 – Grupo de operações geométricas (2)



Fonte: Autor

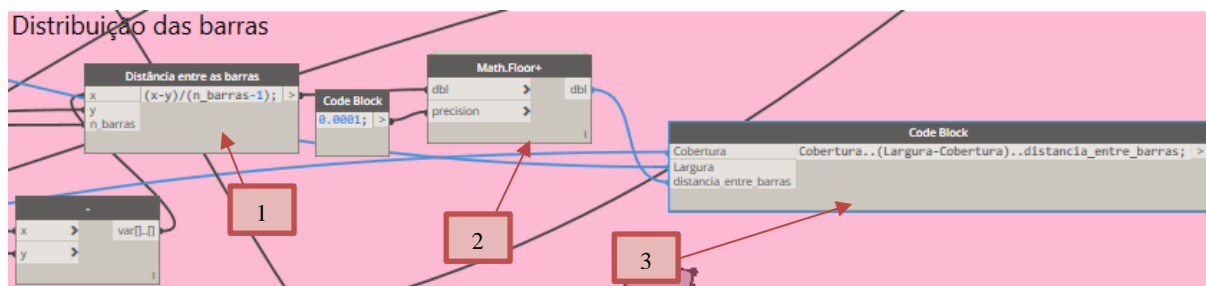
4.5.3 Distribuição das Barras

O grupo a seguir busca determinar o espaçamento entre cada barra de cada consolo em específico. Esse grupo pertence de maneira idêntica às rotinas dos diferentes tipos de consolo.

O código inserido no “nó” apontado como número 1 na figura 4.27 calcula a distância entre cada barra de reforço. A formula nele contido recebe a largura do consolo, extraída no item 3 da figura 4.17, desconta o valor cobrimento somado ao diâmetro do estribo horizontal duas vezes e divide o resultado pelo número de espaçamentos entre as barras, ou melhor, pelo número de armaduras decrescido uma 1 unidade. Em 2, o dado de saída do “nó” 1 é arredondo na precisão de 4 casas decimais para não acarretar falhas na operação das funções e, logo depois, o “Code Block” apontado com o número 3 gera uma lista de distâncias entre as barras de reforço a partir da face lateral dos consolos na ordem inserida. Essa listagem parte do valor de cobertura somado ao estribo horizontal e se prolonga até valor de largura do consolo, novamente procedente do item 3 da figura 4.13, subtraído o valor inicial e no passo do espaçamento

mensurado no “nó” 1. A lista dos valores de distanciamento entre as armaduras de tirante são inseridas posteriormente no “nó” 7 da figura 4.20, já apresentada.

Figura 4.27 – Grupo de distribuição das barras

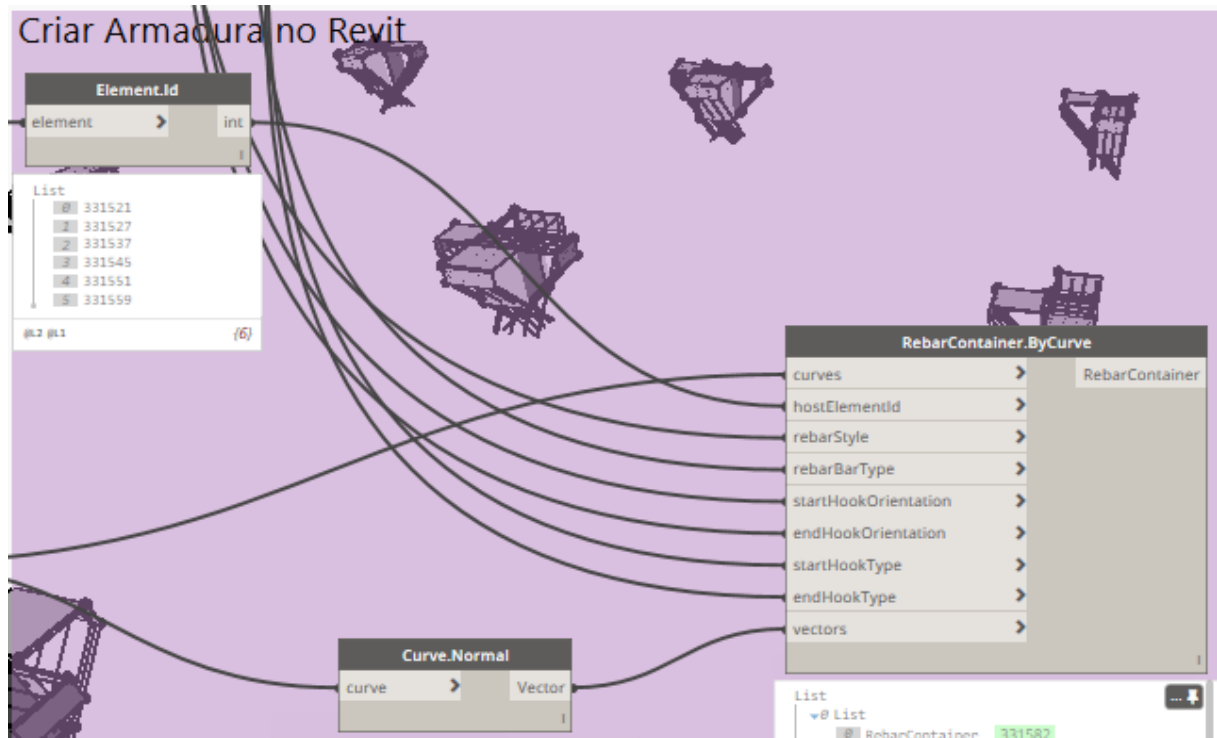


Fonte: Autor

4.6 MODELAGEM DAS ARMADURAS.

A última atividade do programa conta com apenas dois grupos idênticos, apresentado na figura 4.24 abaixo, um para cada tipo de consolo. O principal “nó” que compõe esse grupo, “*RebarContainer.curve*” faz parte do pacote “*Dynamo for rebar*”, desenvolvido pela CORE studio de Thornton Tomasetti, disponível para download gratuito no servidor do próprio programa. A missão dessa atividade é, criar o modelo de um grupo de armaduras de tirante ancorado por alças verticais dentro dos elementos de Consolo no Revit. Para isso, o “nó” principal utiliza dos dados de entrada das características da barra, figura 4.2, dos números de identificação que será dado a cada conjunto de armadura, é utilizado o mesmo número de identificação de cada consolo, as curvas previamente concebidas e devidamente organizadas e os vetores normais ao plano delas.

Figura 4.28 – Grupo de modelagem da armadura



Fonte: Autor

4.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A rotina que foi apresentada nos capítulos anteriores foi testada na estrutura de concreto pré-moldada modelada no Revit, previamente discutida no capítulo 3. Os dados de entrada utilizados na pesquisa estão ilustrados na figura 4.29 e 4.30, já o detalhamento da armadura de tirante ancorado por alças verticais dos consolos da estrutura são apresentadas nas figuras 4.31 e 4.32.

Figura 4.29– Dados de entrada da geometria das barras inseridos

Dados de Entrada da Geometria da Barra

Select Model Elements

Change Elements

Elements : 303796 303847 303900
303953 304022 304065 304248
304305 304438 304583 304761
304796 304875 304912 304963
305088 305261 305306 307031
307088

Diâmetro dos estribos verticais (mm)
0.000

Diâmetro estribos horizontais (mm)
8.000

Cobertura (cm)
3.000

Comprimento de Ancoragem no tirante
700.000

Comprimento de Ancoragem na biela (opcional)
400.000

Ancoragem total na biela
☒ True ☐ False

Nº de barras
4.000

Fonte: Autor

Figura 4.30– Dados de entrada das características das barras inseridos

Dados de entrada das características da barra

Rebar Style
Standard Rebar Style

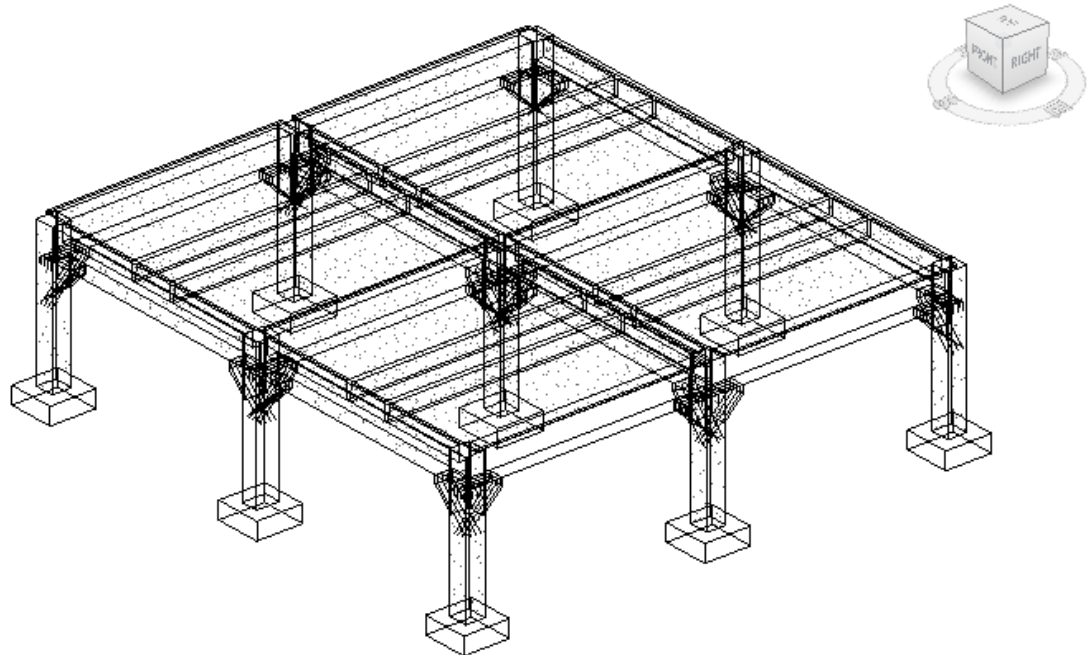
Rebar Bar Type
16M Rebar Bar Type

Rebar Hook Orientation
Left Rebar Hook Orientation

Rebar Hook Type
None Rebar Hook Type

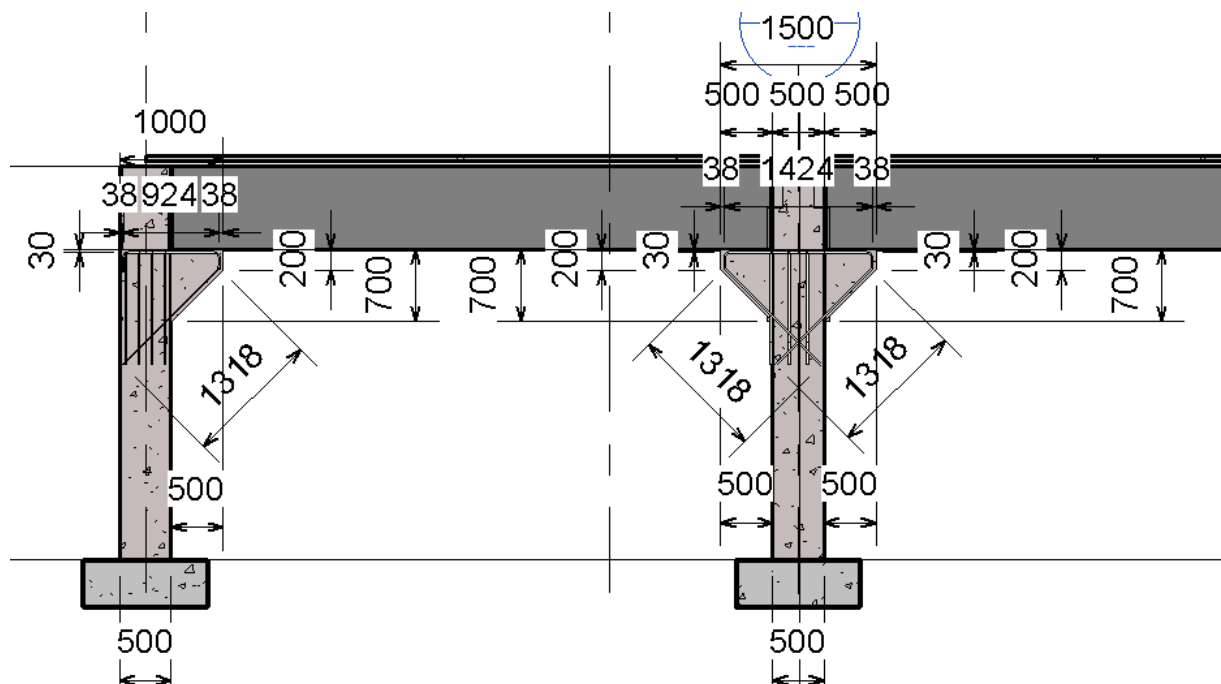
Fonte: Autor

Figura 4.31 – Detalhamento da estrutura (1)



Fonte: Autor

Figura 4.32 – Detalhamento da estrutura (2)



Fonte: Autor

Analisando qualitativamente os resultados obtidos, acredita-se que, dentro do nível de variabilidade e complexidade de processamento dos dados de entrada e das famílias dos elementos estruturais que foram inseridos no programa, o detalhamento entregue cumpre um papel representativo do posicionamento das armaduras de tirante ancorados por alças verticais em consolos trapezoidais conforme as informações especificadas para a rotina que o usuário demandou. Refere-se à qualidade representativa da ilustração devido a alguns detalhes no desenho que diferem de uma reprodução da estrutura conforme realidade, como, por exemplo, a intersecção das barras de reforço.

A atividade de discriminação dos dados de entrada da rotina se mostrou uma ferramenta produtiva na inserção de dados, uma vez que, com ajuda da ferramenta do quadro de seleção do Revit, consegue-se inserir todos os consolos da estrutura com através única ação. Por outro lado, o tempo de processamento foi de aproximadamente superior a 3 minutos, o que pode ser considerado exacerbado pelo porte da estrutura, tendo em vista as outras opções de detalhamento que o software também apresenta, embora esse parâmetro seja relativo à capacidade de processamento da máquina e não seja o objetivo dessa pesquisa analisa-lo a fundo.

5 CONCLUSÃO

Pode ser dizer que experiência e a ampliação da visão das oportunidades para se automatizar os processos de detalhamento de estruturas em concreto pré-fabricadas, que se almejava nos objetivos citados no início da monografia, foi satisfatória. Essa conclusão se baseia na percepção dos resultados obtidos que mostram que, apesar do tempo dedicado à compreensão e elaboração da lógica das atividades a serem esmiuçadas, a automatização delas a fim de obter produtividade é uma possibilidade a ser considerada, uma vez que, essas possuem um ambiente aberto para refinar soluções e acelerar processos particulares que são padrões na preparação de projetos estruturais.

A seguir, destina-se algumas sugestões para complementar os resultados e os objetivos dessa pesquisa. Em conformidade com o objetivo da pesquisa, é válido procurar maneiras de ganhar produtividade no processo, como tentar diminuir o esforço de processamento desse. Algumas sugestões seriam a revisão da lógica do programa afim de encontrar soluções mais simples para a solução do problema ou transferir as operações matemática para planilhas de Excel, uma vez que o Excel possui boa interoperabilidade com o Dynamo e lida problemas dessa natureza com maior destreza. Essa e outras ferramentas também podem ser utilizadas para melhor conectar o detalhamento das estruturas junto à todas as outras etapas do processo de um projeto estrutural, como o de estudo de casos, modelagem, cálculo de estruturas, orçamento e planejamento. Para fim de ilustração, pode-se padronizar os dados de entrada do Dynamo com os dados de saída das planilhas de Excel, ou de qualquer outro software que tenha a capacidade se conectar com a rotina, que façam o dimensionamento dos elementos para acelerar o processo ou para realizar estudos paramétricos acerca das melhores condições de reforço, modelo construtivo entre outros parâmetros relevantes.

Outra linha relevante é incrementar a amplitude e a qualidade das soluções e da apresentação que a rotina oferta, levando em conta os diferentes formatos de consolos e arranjos de armadura de tirante, apresentados na revisão bibliográfica, complementar os outros elementos que fazem parte do conjunto de armaduras um consolo típico, considerando as intersecções das barras de reforço, com o intuito de realizar um modelamento mais próximo à realidade, e produzir uma interface mais confortável para o usuário desfrutar.

Por fim, salienta-se a demanda pela pesquisa de soluções para as diversas fases e peças que fazem parte do projeto estrutural de pré-moldados e as diversas oportunidades que conceitos contemporâneos vide *Generative Design*, *Option Generation*, *Design Optimization* e *Machine learning*, impulsionado por novas ferramentas como o Dynamo Studio, o *Project*

Fractal e o *Project Refinery* da Autodesk podem propiciar para automatizar múltiplas tarefas, explorar soluções mais complexas e possibilitar que os engenheiros possam focar nos problemas mais humanos do produto final.

REFERÊNCIAS

ALTOQI. **Dimensionamento de consolos através do eberick pré-moldados**. Disponível em: <http://faq.altoqi.com.br/content/426/1069/pt-br/dimensionamento-deconsolos-atraves-do-eberick-pre_moldado.html>. Acesso em 12 de agosto de 2018.

ALTOQI. **Opções para a armadura dos consolos**. Disponível em: <<http://blogeberick.altoqi.com.br/pre-moldados/opcoes-para-a-armadura-dosconsolos/>>. Acesso em 12 de agosto de 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ P., SACKS R., LISTON K. **Manual de BIM**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ESTUPE ENGINEERING SOLUTIONS, **Robot Structural Analysis - Novidades 2007**. Disponível em: <<http://estupeengineeringsolutions.blogspot.pt/2010/12/robot-structural-analysis-novidades.html>>. Acesso em: 30 ago. 2018

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000.

FERREIRA, B et al. (2012). **Integração da Tecnologia BIM no Projeto de Estruturas de Betão**. Encontro Nacional de betão estrutural - BE2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

FERNANDES, João Pedro Miranda – **Produção Automática de Modelos BIM de Armaduras de Betão Armado** – Pormenorização e Medição. Porto: 2016.Tese de Mestrado.

FRANZ, G. Tratado del Hormigón Armado: Bases Teóricas y Elementos de la Construcción. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, v. 1, 1970.

FUDALA, Tomasz – **Free Form Rebar Distribution in Revit 2018.1** [HTML]. Disponível em <<http://blogs.autodesk.com/bim-and-beam/2017/07/12/free-form-rebar-distribution-in-revit-2018-1/>>. Acesso em: 30 ago. 2018

LUIZETTO et al. **Estudo das soluções empregadas em consolos curtos monolíticos de pilares pré-moldados na região de pato branco - PR** Trabalho de Conclusão de Curso de graduação – UTFPR, Pato Branco, 2016.

NAEGELI, Cristina H., **Estudos de consolos de concreto armado**. 284 f. Tese (Doutorado em ciência em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

PIRES, Henrique J. C. **Automatização da modelação BIM de armaduras no projeto de estruturas**, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017, Tese de Mestrado.

VERMEULEN, Dieter **Dynam(o)ite Your Rebar Design**, Autodesk university, ES15357, 2016. Disponível em: <<http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2016/revit-structure/es15357#chapter=0>>. Acesso em: 15 mai. 2018

VERMEULEN, Dieter – Rebar modelling in Revit with Dynamo – use case by ABT [HTML]. Disponível em <<http://autodesk.typepad.com/bimtoolbox/2015/10/rebar-modelling-in-revit-with-dynamo-use-case-byabt.html>> Acesso em: 30 ago. 2018