DANIELA FILIPA CARIDADE DA PALMA

PROCESSOS PARAMÉTRICOS NA EXPLORAÇÃO DA ARQUITECTURA SACRA RECONFIGURÁVEL

Orientador: Prof. Doutor João Menezes Sequeira

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Escola de Comunicação, Arquitectura, Artes e Tecnologias da Informação

Lisboa

2014

DANIELA FILIPA CARIDADE DA PALMA

PROCESSOS PARAMÉTRICOS NA EXPLORAÇÃO DA ARQUITECTURA SACRA RECONFIGURÁVEL

Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura no Curso de Mestrado Integrado em Arquitectura conferido pela Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias.

Orientador: Prof. Doutor João Menezes Sequeira

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Escola de Comunicação, Arquitectura, Artes e Tecnologias da Informação

Lisboa

2014

Agradecimentos

Aos Caridades

À mãe, melhor amiga, que faz de si, todos os dias, o meu suporte e me aponta as razões para continuar a lutar pelo que se acredita, acreditando ela mesma em mim incondicionalmente;

Ao pai, pelos gestos de apoio, que me ensina que os actos valem mais do que mil palavras

À prima-irmã Liliana Sintra, a minha heroína, que ao longo de toda a minha vida esteve ao meu lado para me mostrar o caminho; ao primo-cunhado Rui Brasil que, com a sua tolerância e paciência, me amparou ao longo de todos estes anos; à Ana Sintra-Brasil, que apesar de ainda não saber, me ajudou a pôr as coisas em perspectiva a cada dia que passava;

Ao Tiago Namorado Gil, pela força, apoio e motivação constante, pela ajuda essencial a cada passo que dava, por me ensinar que o mundo são muitas coisas e que vale a pena vivê-las;

Aos amigos, em especial à Cláudia Nunes pela presença e apoio incondicional, uma ajuda incontornável nesta odisseia; ao Gonçalo Casqueiro pela paciência, amizade e crítica genial constante que me mostra o outro lado da medalha; ao Carlos Vinagre Martins, pela ajuda essencial e paciência infindáveis;

Aos professores que, de alguma forma deram o seu contributo a este trabalho, em particular ao Professor Tiago Queiroz pela ajuda e disponibilidade;

Ao orientador Professor João Sequeira pela paciência, incentivo e por me ensinar que, às vezes, há-que destruir para construir;

Por tudo isto,

Obrigada.

Resumo

Num Mundo onde tudo é móvel e portátil, onde os estilos de vida se apresentam cada vez mais transitórios, renasce o interesse nas primeiras expressões da construção Humana: a arquitectura transformável e transportável, que, à medida que o Homem se torna sedentário foi sendo progressivamente substituída por um modelo de construção estática e rígida. Conceitos como a flexibilidade e a mobilidade têm vindo a ser reintroduzidos na arquitectura, não apenas como forma desta se adequar às constantes mudanças no tempo e no espaço, mas como estratégia sustentável que lhe confere um carácter de consciência socioeconómica e ambiental.

A exposição crescente às tecnologias digitais, que têm vindo a emergir como peças fundamentais na arquitectura ao longo das últimas décadas e que marcam a ascensão de uma nova área de estudo que alia o pensamento arquitectónico à computação e aos princípios generativos, leva a uma crescente inclusão destas ferramentas na prática arquitectónica, enquadrando-as numa fase inicial de concepção, numa abordagem exploratória que visa uma experimentação fundamentada e sustentada do projecto. A evolução tecnológica permite-nos hoje, uma integração de todo o processo inerente ao desenvolvimento de um projecto de estruturas transformáveis, numa integração desde o desenho ao fabrico e à construção.

A proposta apresentada encontra os seus fundamentos na reflexão sobre estes paradigmas que, progressivamente ganham ênfase no campo arquitectónico, apresentando-se uma abordagem a uma capela que contemple o carácter de culto itinerante de Nossa Senhora do Cabo Espichel. O *folding – origami* – assume-se como processo de morfogénese, recorrendo-se aos sistemas paramétricos enquanto processo metodológico e de desenvolvimento da proposta, conferindo estes facilidade e rapidez ao processo de manipulação e exploração de geometrias e malhas não regulares com peças diferenciadas através de relações paramétricas, numa exploração que aborda, primeiramente, os sistemas de folding rígido, e de seguida o sistema de membrana tensionada.

Palavras-Chave: Arquitectura Transformável; Arquitectura Religiosa; Sistemas Paramétricos; Folding; Membranas Tensionadas.

Abstract

In a world where everything is mobile and portable, where lifestyles have become increasingly more transient, the interest in the first expressions of Human construction is reborn: the transformable and transportable architecture, which, as the Man becomes sedentary had been progressively replaced by a static and rigid model of construction. Concepts such as flexibility and mobility have been reintroduced in architecture, not only as a form of suiting the changes in time and space, but as a sustainable strategy which gives it a socio-economic and environmental awareness.

The increasing exposure to digital technologies, which have emerged as key players in architecture over the past decades and defining the rise of a new area of study that combines architectural thinking to computing and generative principles, resulting in an increased inclusion of these tools in architectural practice, contextualizing it in a very early design stage, an exploratory approach aimed at a reasoned and sustained project's experimentation. Nowadays, technological progress allows us an integration of the whole process inherent in the development of a convertible structures proposal, an integration from design to manufacturing and construction.

The proposal finds its foundation in the consideration of these paradigms that progressively gain emphasis in the architectural field, presenting an approach to a chapel that includes the itinerant character of worship of Our Lady of Cape Espichel. The folding - *origami* - is assumed as a morphogenesis process, by resorting to the parametric system as a methodological process and development of the proposal, giving these, ease and celerity to the process of manipulation and exploitation of geometries and uneven meshes with differentiated parts through parametric relationships, a holding that first analyzes the rigid folding systems, and then the tensile membrane systems.

Keywords: Deployable Architecture; Religious Architecture; Parametric Systems; Folding; Tensile Membrane.

Lista de Abreviaturas

CAD Computer Aided Desgin

APA American Psychological Association

NURBS Non-Uniform Rational Basis Spline

BIM Building Information Model

CNC Computer Numeric Control

CAM Computer-Aided Manufacturing

Índice

Introdução **16**

Capítulo I - Arquitectura para um mundo em movimento **23**

1.1. Do paradigma do mundo em movimento à arquitectura para a mudança 24
1.2. Fundamento da arquitectura implementável para a contemporaneidade 25
1.2.1. Estruturas implementáveis em arquitectura 27
1.2.1.1. Sistemas de estruturas de placas rígidas *(folded plate structures)* 28
1.2.1.2. Sistemas de membranas tensionadas (*tensile membrane systems*) 29
1.3. Modelo de gestão para o projecto de estruturas transformáveis 31

Capítulo II – Do Manual ao digital **35**

2.1. Novas ferramentas, novo paradigma na idade da informação 36
2.2. Criação de arquitectura em ambiente digital 38
2.2.1. Sistemas paramétricos 40
2.2.2. Fabricação digital 42

Capítulo III- Uma devoção Itinerante **45**

3.1 Por entre lendas e mitos nasce um culto 46
3.2 A peregrinação ao longo dos séculos 47
3.3 Uma leitura formal do espaço sagrado 49
3.3.1 Dinâmica espacial 52
3.3.2 Centro do foco 54
3.3.3 Impacto estético 55
3.3.4 Ressonância simbólica 57

Capítulo IV – A proposta - Chapel out of a box **59**

4.1 O conceito - Chapel out of a box 60
4.1.1 O cubo como unidade primária 61
4.1.2 O *folding* enquanto processo morfogenético 62
4.1.2.1 Princípios da geometria dos *folds* 64

4.2 Um espaço de *foldings* - Uma abordagem em ambiente digital 68
4.2.1 Contexto – Parametrização do cubo 68
4.2.2 Abordagem ao *folding* rígido 71
4.2.2.1 Parametrização do padrão rígido 71
4.2.2.2 Falha no sistema 76
4.2.3 Abordagem ao *folding* flexível 79
4.2.3.1 Reflexão crítica 79
4.2.3.2 Parametrização do padrão flexível 81
4.2.3.3 Transformabilidade do padrão 85
4.2.4 Desenvolvimento da proposta 87
4.2.4.1 Ponderações formais e conceptuais da proposta 87
4.2.4.2 Estudo da membrana 92
4.2.4.2.1 Entrada de luz: Perfurações 94
4.2.4.3 Laterais 97
4.2.4.4 Rótulas flexíveis 99
4.2.4.5 Do conceptual ao materializável 103

Capítulo V – Representação da proposta 107

5.1 Planta 108
5.2 Planta de Cobertura 109
5.3 Alçado Norte 110
5.4 Alçado Sul 111
5.5 Alçado Nascente 112
5.6 Alçado Poente 113
5.7 Corte Perspéctico Longitudinal 114
5.8 Corte Perspéctico Transversal 115
5.9 Hipótese de Perspectiva Exterior 116
5.10 Perspectiva Interior 117
5.11 Diagrama de Montagem 118

Conclusão 119

Bibliografia 124

Anexos 131

Anexo I - Quadro de Comparação das classificações atribuídas pelos diferentes autores à Arquitectura Implementável e Transformável. Imagem da Autora, 2014. ……i

Anexo II - Quadro de consideração da relação entre o sistema Construtivo, o tipo de movimento realizado e as formas geradas. Imagem da autora, 2014, com fonte de imagens de Werner, C. (2013). Transformable and Transportable Architecture, analysis of buidings components and stratagies for project design. Dissertação apresentada à Escola Superior Técnica de Arquitectura da de Barcelona da Universidade Técnica da Catalunha, para a obtenção do grau de Mestre, orientada por Ramon Sastre Sastre, Barcelona. Acedida em 20 de Agosto de 2014 em http://issuu.com/carolinademarcowerner/docs/tesis_de_m__ster_carolina_de_marco_. …..ii

Anexo III - Quadro de Ponderação sobre os vários padrões de Origami Estudados. Quadro da autora, 2014, com fonte de imagens de Jackson, P. (2011). Folding Techniques for Designers – From Sheet to Form. London: Laurence King Publishing. ……..iii

Anexo IV - Quadro de Experiências formais sobre o estudo de divisões do volume no padrão rígido e no padrão flexível. Imagens da autora, 2014. …….….iv

Anexo V - Quadro de Experiências formais sobre o estudo do volume através do controlo de curvas no padrão rígido e no padrão flexível. Imagens da autora, 2014. …….....v

Anexo VI - Quadro de Experiências formais sobre o estudo do volume através de variações nos controlos de Graph Mapper no padrão rígido e no padrão flexível. Imagens da autora, 2014. ……..……..……..……..……..……..……..……..……..……..vi

Anexo VII - Quadro de relação das rótulas flexíveis propostas com o seu posicionamento na proposta. Imagem da autora, 2014. ……..……..……..……..……..vii

Índice de Figuras

Fig. 1 - Tipi Americana.(Reese Tipis, s.d.) ……..25

Fig. 2 - Yurt Mongol. (Original Mongolian Yurt, s.d.) 25

Fig. 3 - Tenda Tuareg. (Everything is Possible, 2008) 25

Fig. 4 - Estrutura Transformável de Emílio Perez Piñero. (Werner, 2013, p. 2) 26

Fig. 5 - Buckminster Fuller com a sua esfera geodésica. (Buckminster Fuller Institute, s.d.) 26

Fig. 6 - Pavilhão de Bundesgartenschau, de Frei Otto, Alemanha, 1955. (Selected Works of Frei Otto and his Teams, s.d.) 27

Fig. 7 - Kenneth Snelson com o seu sistema de Tensegrity. (Kenneth Snelson, s.d.).....27

Fig. 8 - Sistematização dos Sistemas de Placas Rígidas Dobradas. Imagem da autora com imagens retiradas da fonte: (Šekularac, Šekularac & Tovarović, 2012, p. 3). 28

Fig. 9 - Interdependências entre o tipo de membrana, manufactura, geometria e comportamento estrutural. Imagem da autora, 2004, com imagens retiradas da fonte: (Schlaich, Bergermann, & Sobek, 1989, p. 16).....30

Fig. 10 - Esquematização do Modelo de Gestão para o Projecto de Estruturas Transformáveis de Maziar Asefi. Imagem da autora, 2014. 31

Fig. 11 - Processo Metodológico Corrente de Design Computacional - correspondente ao design da proposta. Imagem da autora, 2014. 39

Fig. 12 - Funções integradas para um Modelo Digital. Imagem da autora, 2014. 40

Fig. 13 - Imagem primitiva de Nova Senhora do Cabo Espichel. (Ao sabor do Vento, 2012)... 46

Fig. 14 - Vista do Complexo a partir da Casa da Água. (Álvaro, 2010, p. 96).....48

Fig. 15 - Imagem itinerante de Nossa Senhora do Cabo Espichel. (NossaSenhora do Cabo, 2014).....48

Fig. 16 - Mapa das freguesias, numerando as paróquias que recebem, à data, o círio saloio a Nossa Senhora do Cabo. Imagem da autora, 2014. 49

Fig. 17 - Comparação dos padrões básicos no design de edifícios religiosos em diferentes tradições. Imagem da autora, 2014. 50

Fig. 18 - Sistematização das questões abordadas ao longo dos subcapítulos correpondentes à leitura formal de um espaço religioso. Imagem da autora, 2014. 52

Fig. 19 - Interligação das temáticas e conceitos abordados ao longo da dissertação na aplicação à proposta. Imagem da autora, 2014. 60

Fig. 20 - Diagrama esquemático da sequência de alterações entre a configuração transportável e implementada da proposta. Imagem da autora, 2014. 61

Fig. 21 - Comparação de três padrões de origami - Yoshimura, Diagonal e Miura Ori. Imagem da autora, 2014. 65

Fig. 22 - Diagrama da geometria subjacente à técnica de dobra reversa (reverse fold). Imagem da autora, 2014. 65

Fig. 23 - Perfis típicos de corrugações paralelas. (Buri & Weinand, 2008).....66

Fig. 24 - Diagrama de extrusão de uma linha em zigue-zague para uma corrugação paralela. (Buri & Weinand, 2008) 66

Fig. 25 - Diagrama de ângulos do padrão de Yoshimura. Imagem da autora, 2014. 66

Fig. 26 - Comparação entre o padrão de Yoshimura e o padrão rígido proposto. Imagem da autora, 2014. 67

Fig. 27 - Diagrama de ângulos do padrão rígido proposto. Imagem da autora, 2014. 67

Fig. 28 - Análise de um Componente no software Grasshopper 3D. (Payne & Issa, 2009) .68

Fig. 29 - Definição paramétrica do Cubo. Imagem da autora, 2014. 69

Fig. 30 - Secção da definição paramétrica correspondente á determinação do cubo (1.1) e da sua rotação (1.2). Imagem da autora, 2014. 69

Fig. 31 - Fases de desenvolvimento da abordagem paramétrica do cubo: a) rectângulo base; b) cubo planificado; c) cubo em transformação; d) cubo encerrado. Imagem da autora, 2014. 70

Fig. 32 - Secção da definição paramétrica da moldura e pavimento do cubo (1.3) . Imagem da autora, 2014. 70

Fig. 33 - Moldura e Pavimento do Cubo: a) aplicação a uma das faces; b) aplicação na totalidade do conjunto. Imagem da autora, 2014. 71

Fig. 34 - Definição paramétrica do padrão rígido. Imagem da autora, 2014. 72

Fig. 35 – Secção da definição paramétrica da superfície tubular (2.1) . Imagem da autora, 2014. 72

Fig. 36 - Superficie tubular formada através do Loft das curvas interpoladas. Imagem da autora, 2014. 73

Fig. 37 - Secção da definição paramétrica das divisões da superfície que actuam como bases geométricas do padrão. Imagem da autora, 2014. 73

Fig. 38 – Secção da definição paramétrica da determinação dos pontos e das linhas de corrugações que definem geometricamente o padrão. Imagem da autora, 2014. 74

Fig. 39 - Processo de determinação dos pontos e linhas onduladas do padrão: a) conjunto de todos os pontos determinados; b) conjunto de pontos seleccionados; c) linhas determinantes do padrão. Imagem da autora, 2014. 75

Fig. 40 - Secção da definição paramétrica da criação dos painéis rígidos. Imagem da autora, 2014. 75

Fig. 41 -Desenvolvimento dos planos que compõem o folding: a) Listagem numérica dos pontos correspondentes á listas do conjunto de pontos; b) Hipótese de proposta de um folding rígido baseado na definição apresentada. Imagem da autora, 2014. 76

Fig. 42 – Comparação das linhas de corrugação , perfis de secção e pontos de inflexão – cor-de-rosa corresponde a 4 linhas de dobra enquanto o azul corresponde a 8 linhas de dobra a intersectarem-se no mesmo ponto - entre o padrão de Yoshimura (a) e o padrão proposto (b) . Imagem da autora, 2014. 77

Fig. 43 - Duas abordagens na abordagem ao origami rígido: a) exemplo da técnica de 'Shift Axis'; b) método proposta com base no corte dos planos bisectores. A linha vermelha representa o origami ideal, sem introdução de espessura. (Tachi, 2011, p. 258) 78

Fig. 44 - Legenda de pontos em móveis - rosa - e fixos - azul – e da direcção da sua dobra – indicação das sectas – do padrão de Yoshimura (a) e do padrão proposto (b) . Imagem da autora, 2014. 78

Fig. 45 - Diagrama de comparação entre a dobragem do padrão proposto: a) padrão não deformado; b) padrão deformado. Imagem da autora, 2014. 79

Fig. 46 - Diagrama de Comparação entre o padrão de Yoshimura, o padrão rígido proposto e o padrão flexível proposto. Imagem da autora, 2014. 80

Fig. 47 - Diagrama do movimento das rótulas em planta: a) quando completamente implementado; b) no momento de compressão da estrutura. . Imagem da autora, 2014. 80

Fig. 48 - Definição paramétrica do padrão flexível. Imagem da autora, 2014. 81

Fig. 49 - Determinação da superfície tendo em conta a espessura dos carris, numa antevisão ao sistema construtivo. Imagem da autora, 2014. 82

Fig. 50 - Determinação da superfície paralela à original. Imagem da autora, 2014. 82

Fig. 51 – Secção da definição paramétrica das divisões da superfície a que se pretende aplicar o padrão (3.2) . Imagem da autora, 2014. 82

Fig. 52 - Secção da definição paramétrica da criação das linhas de estrutura (3.3) e dos elementos (3.4) - tubos, rótulas representativas (esferas) e painéis. Imagem da autora, 2014. 83

Fig. 53 - Sequência do desenvolvimento paramétrico do padrão aplicado á superfície: a) pontos centrais das subsuperfícies; b) rectas perpendiculares ás subsuperfícies determinando a dimensão do folding; c) criação de linhas através dos pontos. . Imagem da autora, 2014. 84

Fig. 54 - Superfícies preliminares a serem, posteriormente, estudadas. Imagem da autora, 2014. 85

Fig. 55 - Legenda dos pontos na pirâmide. Imagem da autora, 2014. 85

Fig. 56 - Diagrama esquemático da transformabilidade do padrão: a) fechado; b) aberto. Imagem da autora, 2014.. 86

Fig. 57 - Secção da definição paramétrica (3.5) do controlo da transformabilidade do padrão. Imagem da autora, 2014. 86

Fig. 58- Processo de transformação em ambiente digital: a) implementado; b) em movimento; c) encerrado. Imagem da autora, 2014. 86

Fig. 59 - Diagrama de hipóteses de implantação da proposta que visa a incógnita do carácter itinerante. Imagem da autora, 2014. 87

Fig. 60 - Diagramas de justificações das opções no desenvolvimento da proposta: a) espaço volumétrico, orientação da implantação e evidência do foco visual; b) evidência do percurso e da aplicação do conceito das fases de peregrinação . Imagem da autora, 2014. 87

Fig. 61 - 'Modulor' de Le Corbusier. (Instituto de Educação – Universidade de Lisboa [IE-UL], s.d.) 88

Fig. 62 - Diagrama referente ao dimensionamento: a) curva ascendente e descendente que controlam a proposta; b) dimensionamento da altura máxima. Imagem da autora, 2014. ... 89

Fig. 63 - Secção de definição paramétrica correspondente à determinação do altar (3.6) . Imagem da autora, 2014. 89

Fig. 64 - Graph mappers que controlam as curvas. Imagem da autora, 2014. 89

Fig. 65 - Divisoes do Volume: a) planos seccionadores; b) Perfis das secções; c) estrutura proposta. Imagem da autora, 2014. 90

Fig. 66 - Diagrama da estrutura proposta em transformação: a) implantada; b) estrutura rebatida com o cubo a encerrar. Imagem da autora, 2014. 91

Fig. 67 - Diagrama de um corte perspéctico esquemático que visa a percepção do espaço interior bem como representação do controlo de luz. Imagem da autora, 2014. 91

Fig. 68 - Definição paramétrico do relaxamento da membrana através do add-on Kangaroo. Imagem da autora, 2014. 92

Fig. 69 - Processo de relaxamento da membrana: a) determinação dos pontos ancorados; b) produto final da mesh da membrana. Imagem da autora, 2014. 93

Fig. 70 - Definição paramétrica de attractor points na abordagem às perfurações circulares que visam a entrada de luz no espaço. Imagem da autora, 2014. 94

Fig. 71 - Determinação das perfurações na membrana através do uso de uma definição de attractor points. Imagem da autora, 2014. 95

Fig. 72 - Determinação das perfurações nas superfícies do quadrante do altar-mor. Imagem da autora, 2014. 96

Fig. 73 - Definição paramétrica das perfurações no quadrante do altar-mor através de attractor curve. Imagem da autora, 2014. 96

Fig. 74 - Imagem que origina as perfuração da lateral Norte do cubo. Imagem da autora, 2014. 97

Fig. 75 - Imagem que origina as perfurações da lateral Sul do cubo. Imagem da autora, 2014. 97

Fig. 76 - Definição paramétrica das imagens que compõem as perfurações nas laterais do cubo. Imagem da autora, 2014. 97

Fig. 77 - Definição paramétrica das rótulas flexíveis. Imagem da autora, 2014. 98

Fig. 78 – Secção da definição paramétrica do controlo de uma das secções de esfera em torno do eixo Z (4.1) . Imagem da autora, 2014. 99

Fig. 79 – Secção da definição paramétrica dos 'gomos' da articulação(4.2) . Imagem da autora, 2014. 100

Fig. 80 - Processo de desenvolvimento paramétrico das rótulas flexíveis: a) esfera inicial na qual se encontram pontos pela qual se passa uma curva interpolada; b) Curvas paralelas que compõem cada elemento individual; c) Segmento da articulação. Imagem da autora, 2014. 100

Fig. 81 – Secção da definição paramétrica da representação dos tubos e das suas peças de encaixe na rótula (4.4) . Imagem da autora, 2014. 101

Fig. 82 - Diagrama de actuação da rótula. Imazgem da autora, 2014. 102

Fig. 83 - Legenda dos elementos que compõem a rótula. Imagem da autora, 2014. 102

Fig. 84 - Diagrama comparativo da configuração das rótulas propostas. Imagem da autora, 2014. 103

Fig. 85 - Hipótese de fabricação dos elementos. Imagem da autora, 2014. 103

Fig. 86- Modelo da membrana com conjunto de superfícies planificavéis. Imagem da autora, 2014. 105

Fig. 87 - Planificação da secção da membrana. Imagem da autora, 2014. 105

Fig. 88 – Planta. Imagem da autora, 2014. 108

Fig. 89 – Planta de Cobertura. Imagem da autora, 2014. 109

Fig. 90 – Corte Perspéctico Longitudinal. Imagem da autora, 2014. 110

Fig. 91 – Corte Perspéctico Transversal. Imagem da autora, 2014. ……...111

Fig. 92 – Alçado Norte. Imagem da autora, 2014. …….……..……112

Fig. 93 – Alçado Sul. Imagem da autora, 2014. …….…….…….……113

Fig. 94 – Alçado Nascente. Imagem da autora, 2014. …….…….……..114

Fig. 95 – Alçado Poente. Imagem da autora, 2014. …….…….……115

Fig. 96 – Hipótese de Perspectiva Exterior. Imagem da autora, 2014. ……..116

Fig 97 – Perspectiva Interior. Imagem da autora, 2014. …….……...117

Fig 98 – Diagrama Explodido de Materiais e Detalhes. Imagem da autora, 2014. ……118

Introdução

Deparamo-nos, hoje, com um mundo dominado pela potência, velocidade, ritmo e inteligência: um mundo onde tudo é móvel e portátil, podendo ser transportado em veículos que expressam, também em si, o novo paradigma deste mundo em movimento. O reflexo deste dinamismo acelerado espelha-se no objecto, na criação humana, atingindo novas e inesperadas funções associadas aos rituais que reforçam, e em alguns casos, reinventam, o fenómeno do desenvolvimento e adaptação constante. (Acharya, 2013)

A agitação do mundo dinâmico tem-se revelado, no entanto, tímida no que diz respeito à sua influência arquitectónica. As limitações da arquitectura estática e rígida no contexto urbano terão sido progressivamente evidenciadas pela revolução desencadeada pelo fenómeno da globalização e das tecnologias da informação. Demonstra-se, exponencialmente, a necessidade de reforçar o impacto da quarta dimensão na arquitectura – a do tempo –, de reavivar a ideia subjacente de que esta se deve acomodar ao compasso da evolução, procurando espaços que se destinam a um estilo de vida cada vez mais nómada, que se adaptam às pessoas dinâmicas, progressivas e adaptativas dos dias de hoje. Assim, urge interpretar os espaços para que eles acompanhem as alterações das necessidades, compreendam a tendência de migração, estimulem o ritmo de vida acelerado. (Acharya, 2013) Assim, renasce o interesse nas primeiras expressões da construção Humana: a arquitectura móvel e portátil, que terá vindo a perder a sua força à medida que o Homem deixa para trás o seu carácter nómada e se assume como sedentário, tendo vindo a adoptar um modelo de construção estática e rígida (Kronenburg, 2002)

A ideia de flexibilidade é reintroduzida naturalmente no campo da arquitectura como resposta à evolução social e à demanda económica que se faz sentir à escala global. Enquanto o propósito fundamental da arquitectura se mantém constante, encara-se a flexibilidade como factor destruidor das limitações que têm vindo a ser impostas (Acharya, 2013), aplicando-a à arquitectura não apenas como forma desta se adequar às constantes mudanças no tempo e no espaço, mas como uma estratégia sustentável que lhe confere um cariz de consciência socio-económica bem como ambiental. (Durmisevic, 2006)

Também no campo do pensamento, dos dogmas e das ideologias, esta tendência de adaptabilidade, flexibilidade e combate à rigidez se verifica. Num momento em que a arquitectura religiosa se considera uma matéria intensamente controversa nasce a necessidade de olhar para o impacto da mesma num contexto contemporâneo, propondo-se um estímulo do pensamento sobre o espaço sagrado, de forma a contemplar uma profunda e ampla reflexão acerca tanto da arquitectura religiosa quanto da devoção levada a cabo nestes espaços, sendo providenciadas ferramentas conceptuais e vocabulário para a articulação da experiência no espaço sagrado.

Desde meados do século XX a prática litúrgica tem vindo a sofrer decisivas alterações, espelhando-se estas na prática da arquitectura sacra, em que o conceito de flexibilidade e adaptabilidade tem vindo a ser introduzido de uma forma tímida e pontual. (Kieckhefer, 2004)

A abordagem do culto da Nossa Senhora do Cabo Espichel – um culto secular e de carácter itinerante – surge-nos no âmbito da reflexão crítica acerca desta abordagem vigente da sacralidade mais livre de dogmas que, ao longo dos séculos, terão perdido o seu vigor e são, progressivamente, aceites na cultura e na doutrina católica. A principal característica diferenciadora deste culto é o seu carácter ambulante, contextualizado numa cultura saloia e comunitária, que, assim, justifica que o culto seja reclamado não só pelos devotos do local onde a estátua da Nossa Senhora do Cabo Espichel foi encontrada – o Cabo Espichel, onde terá sido erguido um Santuário em sua honra – como também pelos fiéis de cada uma das 25 paróquias de freguesias circundantes que incorporam o culto como seu. (Pato, 2013)

Esta imagem sagrada vai sendo passada de freguesia em freguesia, como uma metáfora de um testemunho de fé se tratasse, prova do sentido de partilha e de devoção das 25 paróquias. Todos os anos, uma paróquia recebe e aloja a imagem que vai visitando todas elas ao longo dos 25 anos que complementam o ciclo do círio, sendo acolhida num ano e feita a sua despedida no ano seguinte com festividades que lhe conferem valor ao longo do mês de Setembro.

Face a esta premissa de uma devoção itinerante nasce a vontade de desenvolver uma proposta conceptual que contemple o cariz deambulante da imagem, conferindo-lhe um espaço de culto próprio, cujas raízes estejam no culto e não na implantação, que pertença à devoção e não ao local. Uma reflexão sobre a coligação de uma arquitectura que, por excelência, encontra as suas bases no seu *Genius Locci*, a uma arquitectura flexível, transformável, dinâmica e móvel, que nos orienta no sentido das relações que poderiam ser encontradas entre elas, uma vez que nos espaços religiosos impera o sentido de imanência e transcendência que, mesmo numa abordagem contemporânea, não devem ser descurados.

O *Folding*[1] surge-nos no âmbito desta dissertação enquanto relação entre a arquitectura transformável – devido à sua inspiração no *origami* – e a arquitectura sagrada – pela sua ontologia do devir, da multiplicidade e da diferenciação na continuidade. O interesse na exploração desta técnica é fomentado pela compreensão de que a exploração de princípios simples de dobragens de papel se pode transformar numa poderosa ferramenta que pode ser transposta para o campo da arquitectura e da engenharia, aliando a técnica à sua capacidade inerente de transformar um objecto bidimensional em tridimensional através de processos simples e sistemáticos.

[1] Tendo como tradução dobragem, assume-se na presente dissertação o estrangeirismo por não se ter encontrado uma tradução que exprima em si os seus fundamentos

A obra *Folding in Architecture*[2] ergue-se enquanto catalisador para uma onda de mudanças que marca a década de 90 e culmina na viragem do milénio quando, por um curto período de tempo, numa tendência para a curvilinearidade que contrapõe a angularidade que lhe antecede, a nova vanguarda que acompanha a evolução se torna conhecida por 'topológica'[3] considerada como a personificação arquitectónica por excelência das novas tecnologias digitais que foram emergindo ao longo dos anos que lhe antecederam. Ao longo da última década do milénio os computadores foram-se enraizando progressivamente no campo arquitectónico, tendo os *softwares* CAD evoluído rapidamente, as capacidades gráficas e rapidez de processamento da máquina crescido e o seu preço diminuído substancialmente. Os arquitectos começaram a aperceber-se de que, além de conferir rigor e rapidez ao desenho bidimensional, os computadores permitem, através de funções matemáticas, uma exploração vasta através de algoritmos, com parâmetros que podem conter variáveis, abrindo assim as portas ao campo das superfícies e deformações topológicas e da matematização dos conceitos, sendo que, de acordo com Mario Carpo, historiador e crítico de arquitectura, "Neste contexto, é lógico que a busca original para a continuidade ontológica na forma arquitectónica deve tomar um novo rumo. Computadores, principalmente indiferentes nas questões sobre a natureza do Ser, podem facilmente fornecer ferramentas para a manipulação da continuidade matemática"[4] (Carpo, 2004, p. 16). Numa análise à leitura de Gottfried Leibniz, o filósofo Gilles Deleuze "introduziu e exprimiu a nova ideia de objecto: o cálculo diferencial não descreve objectos, mas as suas ordens de mudança – as suas infinitas, infinitésimas variações"[5] (Carpo, 2004, p. 16), denominando-o de *Objectile,* uma função que virtualmente contém um número infinito de objectos, sendo o próprio *Fold* de Deleuze uma figura de cálculo diferencial.

Adoptado pelos sistemas digitais quando os computadores se tornam fundamentais no desenvolvimento do projecto em arquitectura, o *folding* encontra um potencial exponenciado pela capacidade de resposta destes sistemas face à complexidade formal, ao processamento de dados e, principalmente, à capacidade de desenvolver através dos mesmos, objectos determinados por expressões matemáticas e relações geométricas. A abordagem metodológica assumida ao longo da presente dissertação adopta, então, esta

[2] Obra editada por Greg Lynn em 1993 que reúne ensaios de vários autores sobre a temática do folding na arquitectura (Lynn, 1993)

[3] Topologia é o estudo de propriedades qualitativas intrínsecas das formas geométricas que, por norma, não são afectadas por alterações no tamanho ou na forma, permanecem invariáveis ao longo transformações ou deformações contínuas (Kolarevic, 2000)

[4] "In this context, it stands to reason that the original quest for ontological continuity in architectural form should take a new turn. Computers, mostly indifferent to queries on the nature of Being, can easily deliver tools for the manipulation of mathematical continuity" (Carpo, 2004, p. 16)

[5] "introduced and expressed a new idea of the object: differencial calculus does not describe objects, but their laws of change – their infinite, infinitesimal variations" (Carpo, 2004, p. 16)

estratégia que evidencia a parceria entre o arquitecto e a máquina, reflectindo-se num processo de exploração formal no qual impera a lógica inerente à determinação do objecto, o que nos permite uma mais fácil abordagem à irregularidade e à diferenciação, abordando-se um padrão de *origami* – a arte tradicional japonesa secular de dobrar papel – que ultrapasse as normas convencionais e atinja, a título de investigação formal, uma abordagem irregular do mesmo, partindo das suas premissas, explorando a sua versatilidade e, tentando contornar as suas limitações, impostas pelos princípios geométricos e matemáticos nos quais se baseia.

A vasta gama de trabalhos teóricos e práticos dedicados aos padrões de *folding* e à sua aplicação arquitectónica leva-nos a considerar o desenvolvimento de um padrão baseado num outro já existente, explorando porém a modificação e deformação das suas bases geométricas. Apesar de não ser directamente utilizado, o padrão de Yoshimura, confere-nos um grau de simplicidade que permite não só a sua transposição para o campo arquitectónico quanto a modificação dos seus princípios geométricos. A sua base assistir-nos-á na exploração e criação dos padrões utilizados na dissertação, sendo que à sua base geométrica serão acrescentadas ou retiradas linhas de vinco, o que nos oferece diferentes graus de limitações bem como novas hipóteses de exploração.

A aproximação à aplicação de um padrão de *origami* enquanto ferramenta de morfogénese de uma estrutura fundamentada na arquitectura implementável será feita recorrendo à modelação paramétrica como ferramenta, baseando-se em princípios algorítmicos numa abordagem ao padrão, enfatizando a manipulação directa dos parâmetros da forma e induzindo a alteração directa em *real time* no objecto, oferecendo a possibilidade de explorar a geometria a partir dos parâmetros de que se faz compor e permitindo-nos uma aproximação a uma solução optimizada. Nestes sistemas, a principal preocupação não se debate sobre a determinação do objecto em si, mas sim sobre toda a especificação necessária à sua criação, ou seja, o processo sobre a forma. O *software* escolhido para o desenvolvimento da presente dissertação é o *Rhinoceros*, que permite a modelação tridimensional, em complementaridade com o plug-in *Grasshopper*, que permite definir explicitamente a forma através de parâmetros variáveis.

A dissertação apresentada desenvolve-se ao longo de cinco capítulos, partindo da Introdução, na qual se incorpora a problemática que se aborda, bem como a sua relevância científica, justificação da escolha do tema e metodologia de investigação.

O primeiro capítulo – Arquitectura para um mundo em movimento – considera-se a fase inicial do estudo, inserindo-nos na problemática motriz na qual a presente dissertação encontra as suas bases, abrindo-se este capítulo com uma exposição do paradigma gerado pela nova dinâmica mundial que nos leva a percepcionar a alteração da noção de tempo e a aceleração inquietante, uma transformação da escala do contexto onde nos inserimos,

testemunhando o poder da tecnologia na conversão do mundo em fenómeno global e, consequentemente, da necessidade de resposta da arquitectura perante este fenómeno numa procura por soluções adequadas. Procura-se então perceber as raízes da arquitectura em movimento bem como o seu desenvolvimento, significado e valorização na prática contemporânea neste campo. São assim introduzidos dois dos sistemas construtivos de que se fazem usar a arquitectura implementável e transformável, numa antevisão à sua relevância perante as experiências levadas a cabo na presente dissertação, dedicando-se também um subcapítulo ao modelo de gestão para o projecto de estruturas transformáveis, de Maziar Asefi, incorporando-o como condutor na elaboração da proposta.

O capítulo II – Do manual ao digital – apresenta-nos, de forma breve, a metodologia escolhida no desenvolvimento da proposta, tendo como ponto de partida o fundamento das tecnologias digitais na arquitectura contemporânea, introduzindo-nos às origens da utilização de *softwares* na produção arquitectónica. Segue-se uma abordagem à criação de arquitectura em ambiente digital, no qual se incorporam conceitos e categorias que levam a uma maior compreensão do mundo do *design* computacional, vendo-se foco nos sistemas paramétricos aplicados à prática arquitectónica, metodologia adoptada, expondo-se brevemente o processo e elementos sobre o qual assenta. Termina-se o capítulo com a fabricação digital compreendendo-se que desafio da construtibilidade terá elevado a necessidade de novas ferramentas, técnicas e processos direccionados ao fabrico e construção, abordando-se tenuemente os mesmos.

O capítulo III – Nossa Senhora do Cabo Espichel: Uma devoção itinerante – introduz--nos o caso de estudo sobre o qual a proposta recai, fazendo-se neste capítulo um enquadramento ao seu carácter histórico e religioso, expondo a sua índole itinerante que ressalta o objectivo do desenvolvimento da proposta. Contempla-se também neste capítulo uma abordagem à arquitectura religiosa, seguindo as obras *Sagrado e Profano*, de Mircea Eliade, e *Theology in Stone* do autor Richard Kieckhefer, cujos fundamentos são considerados fundamentais na abordagem projectual a um edifício sacra.

O capítulo IV – A proposta: *Chapel in a box* – ao longo do qual se expõem conceitos e processos que terão levado à proposta que se apresenta. Iniciando-se com a exposição dos conceitos utilizados na formulação do projecto, no qual se aborda o *folding* enquanto conceito de morfogénese, fazendo-se uma pequena introdução aos princípios geométricos do *origami*, num enquadramento e antevisão à sua abordagem paramétrica. O processo é apresentado, dividindo-se em duas fases – a primeira, a abordagem ao *folding* rígido, seguida da abordagem ao *folding* flexível.

A dissertação vê então o seu culminar através do Capitulo V, dedicado á representação da proposta que se apresenta, figurando nele desenhos, perspectivas e diagramas que

garantam a compreensão da totalidade da proposta, sendo este seguido de breves considerações finais.

A norma utilizada na estruturação da dissertação que se apresenta foi a *American Psychological Association* (APA), de acordo com as indicações no documento "Normas para elaboração e apresentação de teses de Doutoramento / Dissertações de Mestrado" em vigor na Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias através do Despacho Reitoral nº 101/2009, de 26 de Maio. Será importante frisar também que este trabalho não se encontra ao abrigo do novo acordo ortográfico, em vigor desde 13 de Maio de 2009, por vontade expressa da sua autora.

Capítulo I
Arquitectura para um mundo em movimento

1.1. Do paradigma do mundo em movimento à arquitectura para a mudança

"Quando a existência se baseia num estilo de vida transitório, como foi para os primeiros seres humanos, a capacidade de criar um abrigo temporário portátil é um dos mais importantes factores criados pelo Homem para a sua sobrevivência."[6] (Kronenburg, 2002, p. 11) A Humanidade estabelece-se, construindo e consumindo o mundo que se diz dinâmico, por dela se fazer habitar. Hoje, o cidadão encontra-se a si mesmo imerso num ambiente em constante mutação. Depara-se com a alteração da noção de tempo e experiencia uma aceleração inquietante, uma transformação da escala do contexto onde se insere, testemunhando o poder da tecnologia na conversão do mundo em fenómeno global. (Cordescu, Kronenburg, & Siegal, 2002)

A presença da Tecnologia da Informação considera-se, nos dias de hoje, ubíqua, caracterizando e condicionando vários aspectos da vida quotidiana, adaptando-se aos estilos de vida emergentes, nos quais tudo se move, desde a habitação ao posto de trabalho, numa demanda por uma maior diversidade e capacidade de adaptação.(Kronenburg, 2002)

As manifestações da complexidade da existência contemporânea vão além das expressões patentes no trabalho ou na habitação, revelando-se numa sociedade em constante mudança que faz novos e diferentes requisitos continuamente. (Kronenburg, 2002) Esta nova dinâmica mundial projecta alterações tanto na economia quanto na diversidade dos padrões quotidianos tendo, consequentemente, sido um combustível do desenvolvimento de actividades em resposta a esta necessidade de mudança de forma a providenciar a flexibilidade necessária. (Durmisevic, 2006)

No campo da Arquitectura torna-se então gritante a necessidade de resposta face a este paradigma, concentrando-se na necessidade de passar a encarar o objecto flexível em vez do estático. A sociedade móvel e a globalização requerem aos arquitectos novas dimensões: "Talvez uma arquitectura mais funcional que é móvel, adaptável, transformável e capaz de ser separada e remontada poderia acompanhar a necessidade dos ocupantes terem múltiplas actividades num só espaço, contribuir para a manutenção económica e aliviar o uso excessivo de energia e recursos."[7](Acharya, 2013, p. 7)

De uma forma generalizada, a tendência arquitectónica que hoje se vive tende a consumir demasiados recursos físicos, energéticos e humanos, tendo como consequência o progressivo e acelerado esgotamento dos recursos naturais disponíveis, ignorando o ritmo de

[6] "When existence is based on a transient lifestyle, as it was for the first humans, the ability to create a portable temporary shelter is one of the most important man-made factors for their survival" (Kronenburg, 2002, p. 11)

[7] "Perhaps a more functional architecture that is movable, adaptable, transformable and capable of disengagement and reassembly could keep up with occupants need to have multiple activities in one space, help to maintain economic and ease the over use of energy and resources" (Acharya, 2013, p.7)

reposição dos mesmos pela natureza, numa valorização pelos aspectos imediatos em detrimento da ponderação sobre as características locais e pessoais. (Henriques, 2012)

A arquitectura transformável começa a assumir-se como uma alternativa viável, não apenas devido à queda de muitos preconceitos, mas também pela sua resposta às questões de consciência ambiental, que se torna evidente, quando comparados com os edifícios permanentes, devido ao seu baixo impacto ambiental. Por questões funcionais que se prendem no transporte e fácil montagem do mesmo, o edifício portátil caracteriza-se pela leveza e pequena quantidade de material de que são constituídos. A incorporação de uma sensibilidade às situações de mudança visa asseverar o seu uso contínuo em ambientes flutuantes e, pelo seu carácter de permanência transitória, a redução da afectação do local pelo mesmo. (Kronenburg, 2002)

1.2 Fundamento da arquitectura implementável para a contemporaneidade

Nos dias de hoje, a maioria das construções apresenta-se estática e é desenhada de forma a cumprir requisitos específicos e pré-definidos ao longo de toda a sua existência. No entanto, numa era onde quase tudo se comporta dinamicamente, considera-se cada vez mais interessante a exploração de estruturas não-estáticas. (Durmisevic, 2006)

A transformabilidade e portabilidade dos edifícios têm sido exploradas desde o momento em que a Humanidade começa a construir. Formas de construção tradicionais, tais como ‘tipis’ (Fig. 1), ‘yurts’ (Fig. 2) ou tendas (Fig. 3) utilizavam já técnicas construtivas sofisticadas e padrões habitacionais complexos que, não só terão mantido a sua relevância ao longo dos séculos, como também se apresentam relacionadas com algumas das mais sofisticadas técnicas de construção da actualidade. (Afshar & Amir, 2010)

Fig. 1 - Tipi Americana

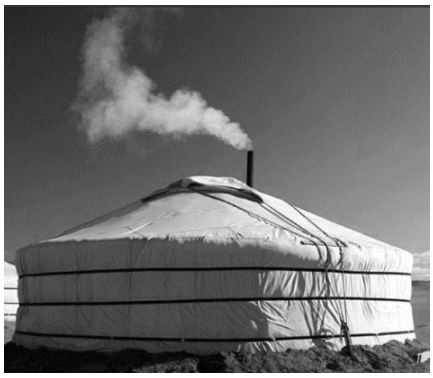


Fig. 2 - Yurt Mongol

Fig. 3 - Tenda Tuareg

O grande desenvolvimento tecnológico ocasionado pela Revolução Industrial considera-se determinante no fundamento destes sistemas, no entanto, as estruturas assistem a uma grande evolução quando, na segunda metade do século XX, a engenharia espacial desenvolve satélites, nos quais o peso e o volume da estrutura são cruciais a fim de ver cumprido o seu objectivo: serem lançados no Espaço. Na área da arquitectura e da engenharia civil destacam-se trabalhos pioneiros na área como é o caso do arquitecto, *designer* e inventor Norte-Americano Buckminster Fuller (1895 – 1983) (Fig. 5) que além das suas palestras sobre formas geométricas tridimensionais para arquitectura, *space frames*[8] e eficiência estrutural, terá reinventado a cúpula geodésica, tendo inspirado vários investigadores a aprofundar as suas ideias; a invenção do sistema de *tensegrity*[9] *(Fig. 7)*, do escultor e fotógrafo americano Kenneth Snelson (n. 1927); o trabalho do arquitecto e engenheiro alemão Frei Otto (n. 1925) no campo da tracção e das estruturas de membrana (Fig. 6) bem como a sua investigação sistemática acerca de estruturas implementáveis e retrácteis nos anos 60, que terá levado a uma grande variedade de projectos neste sentido ao longo da segunda metade do século. Surge também o nome do arquitecto espanhol Emilio Perez Piñero (1935-1972) (Fig. 4) numa combinação entre estruturas de membrana e estruturas de tesoura, tendo o seu trabalho motivado as estruturas pantográficas[10] implementáveis. (Friedman & Farkas, 2011)

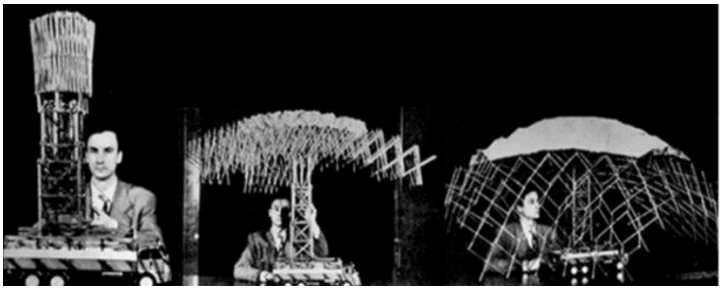


Fig. 4 - Estrutura Transformável de Emílio Perez Piñero

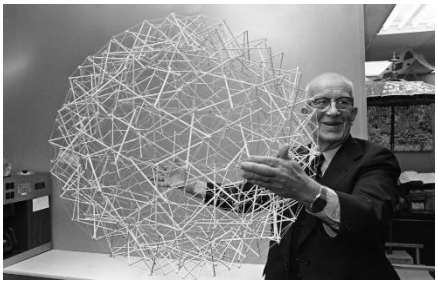


Fig. 5 - Buckminster Fuller com a sua esfera geodésica

Esta onda utópica que distingue a década de 60 e 70 e se debruça sobre valores como a sustentabilidade e a ecologia, fazendo-se valer dos avanços tecnológicos, acaba por se traduzir em construções de desenho complexo, apresentando múltiplos problemas de implementação, o que terá levado, gradualmente, à diminuição do seu número, contrariamente à generalização esperada e pretendida. (Duarte, Fonseca, & Henriques, 2009)

[8] Uma estrutura rígida e leve em treliça semelhantes construídos a partir de escoras interligadas num padrão geométrico. (Friedman & Farkas, 2011)
[9] Um príncipio estrutural com base na utilização de componentes isolados em compressão numa rede de tensão contínuo para que os elementos rígidos não se tocam entre si. (Friedman & Farkas, 2011)
[10] Estruturas baseadas em articulações mecânicas ligadas através de paralelogramos. (Friedman & Farkas, 2011)

Fig. 6 - Pavilhão de Bundesgartenschau, de Frei Otto, Alemanha, 1955

Fig. 7 - Kenneth Snelson com o seu sistema de Tensegrity

Correntemente, as tendências mostram um re-interesse pela arquitectura cinética, em parte, pela necessidade premente de uma arquitectura efémera e provisória, que acompanhe os estilos de vida associados à mobilidade e a uma maior adaptabilidade, por outro, pela necessidade da implementação de tecnologias mais sustentáveis. (Friedman & Farkas, 2011)

As novas tecnologias oferecem-nos hoje a capacidade de integrar todo o processo inerente ao desenvolvimento de uma investigação em direcção às estruturas transformáveis, integrando desde o desenho ao fabrico e à construção, oferecendo-nos a possibilidade de nos aproximar cada vez mais das ideias vigentes das décadas de 60 e 70 do século passado. (Duarte, Fonseca, & Henriques, 2009)

1.2.1 Estruturas implementáveis em arquitectura

Conhecidas também através de outros nomes, como transportáveis, expansíveis, extensíveis, portáteis ou desenvolvidas, as estruturas implementáveis caracterizam-se pela sua capacidade de permitirem grandes alterações na configuração da sua estrutura, sendo a mais comum a alteração de configuração embalada/ implantada. (Liapi, 2002)

Tendo em vista a facilidade de armazenamento e transporte, bem como a facilidade de as erguer no local de implantação quando requeridas, estas estruturas são, geralmente, estruturas leves que permitem uma alteração rápida na sua geometria durante o processo de implantação. (Afshar & Amir, 2010) Podem fazer-se categorizar através de vários sistemas, sendo abordada de diversas formas por vários autores, como se poderá observar no quadro apresentado no Anexo I, podendo estes recair sobre o seu sistema de implantação – completamente implementável, semi-desmontável ou completamente desmontável – ou sobre os seus mecanismos e elementos primários – barras, placas ou membranas. (Kronenburg, 2002)

De seguida abordar-se-ão dois dos três elementos primários, nomeadamente os sistemas de placas rígidas e as membranas, elementos cuja compreensão se considera crucial no desenvolvimento da dissertação que se apresenta.

1.2.1.1 Sistemas de estruturas de dobragem rígidas (*rigid folding structures*)

Largamente exploradas no campo dos sistemas implementáveis dado à sua capacidade inerente de transformação entre estruturas bidimensionais (planas) a estruturas tridimensionais (implementadas), encontram-se as raízes do seu fundamento no campo do *Origami* - a técnica japonesa na qual se investiga a possibilidade de criação das mais variadas formas somente recorrendo a uma folha de papel e a técnicas de dobragem - as estruturas de dobras rígidas (*rigid folding structures*), também chamadas de 'estruturas de placas dobradas' (*folded plate structures*) são estruturas tridimensionais, que transportam este conceito para o campo da arquitectura construível. (Stavric & Wiltsche, 2013)

Os princípios nos quais se fundamenta, consistindo numa sistematização entre a forma e a geometria, permitem a criação de estruturas leves porém estáveis, constituídas por segmentos dobrados que, combinados entre si, numa relação espacial mútua, compõem uma estrutura autoportante, gerando estabilidade estrutural e reduzindo a massa necessária, bem como o seu custo. (Šekularac, Šekularac, & Tovarović, 2012)

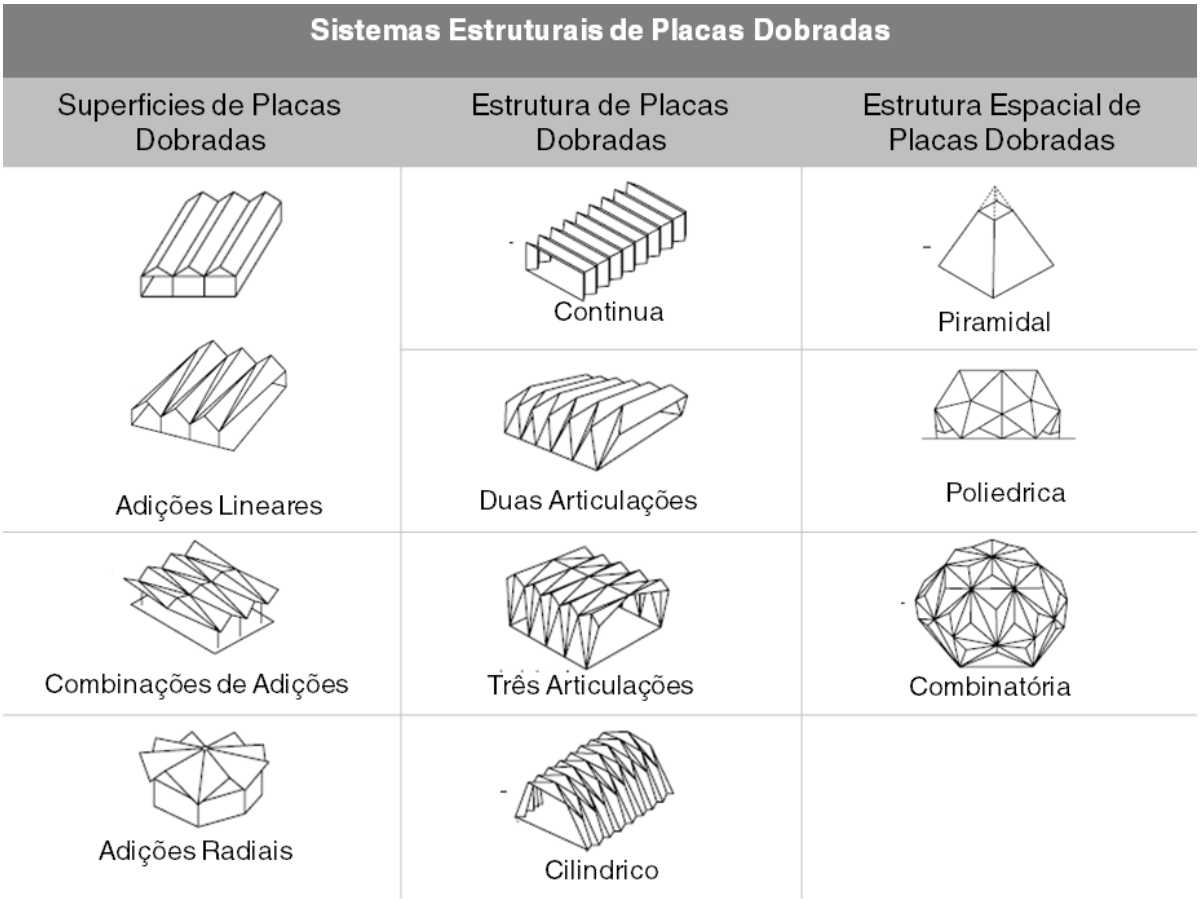


Fig. 8 - Sistematização dos Sistemas de Placas Rígidas Dobradas

Com base na forma geométrica em que se baseiam, pode-se considerar que as estruturas dobradas se dividem em três grupos - superfícies de placas dobradas; estrutura de placa dobrada; e estruturas espaciais de placas dobradas – sendo relevante compreender também a direcção que as mesmas podem assumir – linear, radial e espacial – sendo estas as principais condicionantes sobre o qual assenta o desenvolvimento destas estratégias (Anexo II).

1.2.1.2. Sistemas de tembranas tensionadas (tensile membrane systems)

A pesquisa sobre as origens históricas da arquitectura implementável revela que, provavelmente, as estruturas de membranas terão sido as mais antigas formas de arquitectura portátil, dado à sua capacidade de se dobrarem e serem facilmente transportadas. Contextualizando--as na arquitectura, as membranas podem ser utilizadas como revestimentos de superfícies e como elementos de definição espacial, executando frequentemente o lugar de destaque da componente estrutural. (Liapi, 2002)

Apresentando-se como um material fino – natural ou sintético -, maleável e passível de dobrar, as membranas vêm o seu grande potencial na aplicação a casos em que são requeridas soluções leves. (Menges, 2008). Consideram-se, sob o ponto de vista geométrico e matemático, como uma superfície contínua de espessura 0, que, ao ser complementada com um sistema estrutural, se transforma numa estrutura tridimensional. (Liapi, 2002) Estruturalmente pertencentes aos sistemas de tensão, o arquitecto e professor Achim Menges (n. 1975) considera que "elas transmitem somente forças de tensão, moldam-se de acordo com as forças aplicadas em superfícies mínimas, e mais especificamente, superfícies de dupla curvatura anticlásticas[11] ou em forma de sela, e registam as manipulações ao longo de todo o sistema"[12]. (Menges, 2008, p. 75)

Vastamente desenvolvidas por Frei Otto e os seus colaboradores, as técnicas de *form-finding* de sistemas de membranas tensionadas, incluem hoje em dia, processos de busca formal que contemplam tanto modelos físicos quanto digitais como meios de relaxamento dinâmico das malhas. De acordo com Achim Menges "isto implica que a forma e a extensão da membrana devem ser estabelecidos como parte da solução, e especificamente que os sistemas de membranas podem ser *form-found*"[13] (Menges, 2008, p. 75) utilizando-se a

[11] Uma superfície matemática que tem uma curvature, num determinado ponto e num determinado sentido, que é o sinal oposto à curvatura no ponto numa direcção perpendicular

[12] "they transmit only tensile forces, shape according to the applied forces into minimal surfaces, and more specifically double-curved anticlastic or saddle-shape surfaces, and register manipulations through" (Menges, 2008, p. 75)

[13] "this implies that the membrane shape and extent must be established as a part of the solution, and specifically that membrane systems must be form-found" (Menges, 2008, p. 75)

aplicação de forças e restringindo a membrana através de pontos de controlo especificamente escolhidos.

Enfatizam-se as inter-relações entre o tipo de estrutura de membrana, a sua fabricação e a sua geometria, assegurando assim o seu comportamento respetivamente à carga, sendo que estas se organizam em quatro grupos – redes de cabos com malha quadrangular; redes de cabos com malha triangular; membranas têxteis (dobráveis); e membranas metálicas (não dobráveis). Compreende-se que a aplicação arquitectónica se faz depender do material a ser utilizado, sendo crescente a investigação sobre o desenvolvimento dos mesmos, salientando-se o algodão, natural ou sintético, o poliester, polyamide, vidro, aramide e PTFE. (Schlaich, Bergermann, & Sobek, 1989) Fazendo-se valer da capacidade de ser facilmente dobráveis e transportáveis, as membranas podem ver-se aplicadas às mais diversas estruturas, desde estruturas pantográficas, *tensegrity* ou pneumáticas. (Friedman & Farkas, 2011)

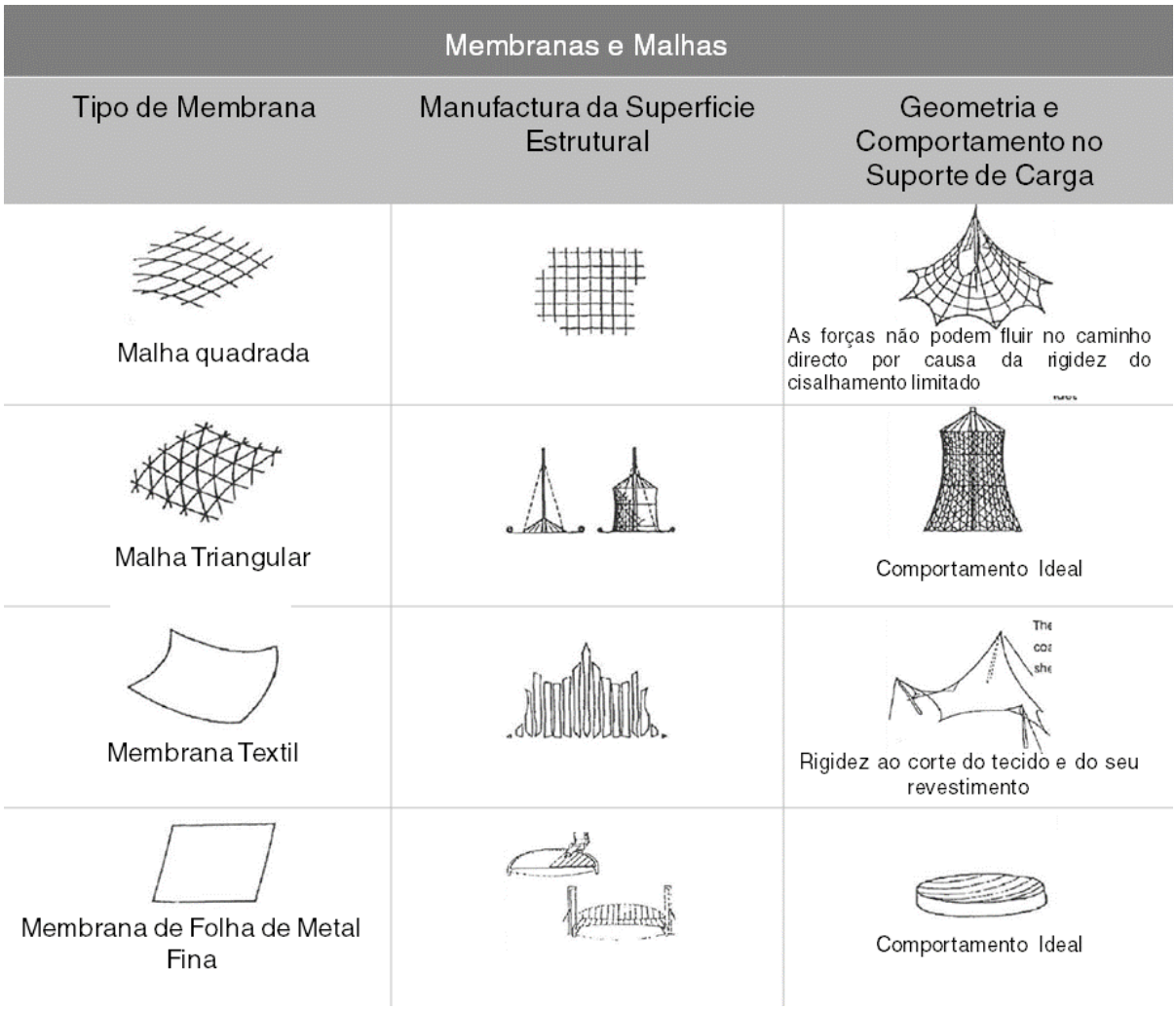


Fig. 9 - Interdependências entre o tipo de membrana, manufactura, geometria e comportamento estrutural

1.3 Modelo de gestão para o projecto de estruturas transformáveis

Remontando aos primórdios da civilização, o interesse pela construção transformável terá ganho um novo ímpeto recentemente, em resposta à necessidade que urge por edifícios multifuncionais e de consciência ambiental, evidência dos desperdícios ocasionados pela arquitectura. Para que a ideia de transformabilidade nos edifícios possa responder aos vários requisitos e expectativas arquitectónicas considera-se imperativo o respeito pelos critérios de *design* neste campo, correndo o risco deste constituir um impacto negativo tanto a nível arquitectónico quanto ambiental. (Asefi & Foruzandeh, 2011)

Na elaboração de uma proposta de desenvolvimento de um projecto baseado na arquitectura implementável e transformável considera-se decisiva a compreensão de um modelo dos principais critérios de projecto num edifício transformável e temporário, modelo este explicitado por Maziar Asefi, arquitecto e autor iraniano, baseando-se nas características gerais requeridas por um sistema transformável de forma a garantir a sua funcionalidade em pleno.[14]

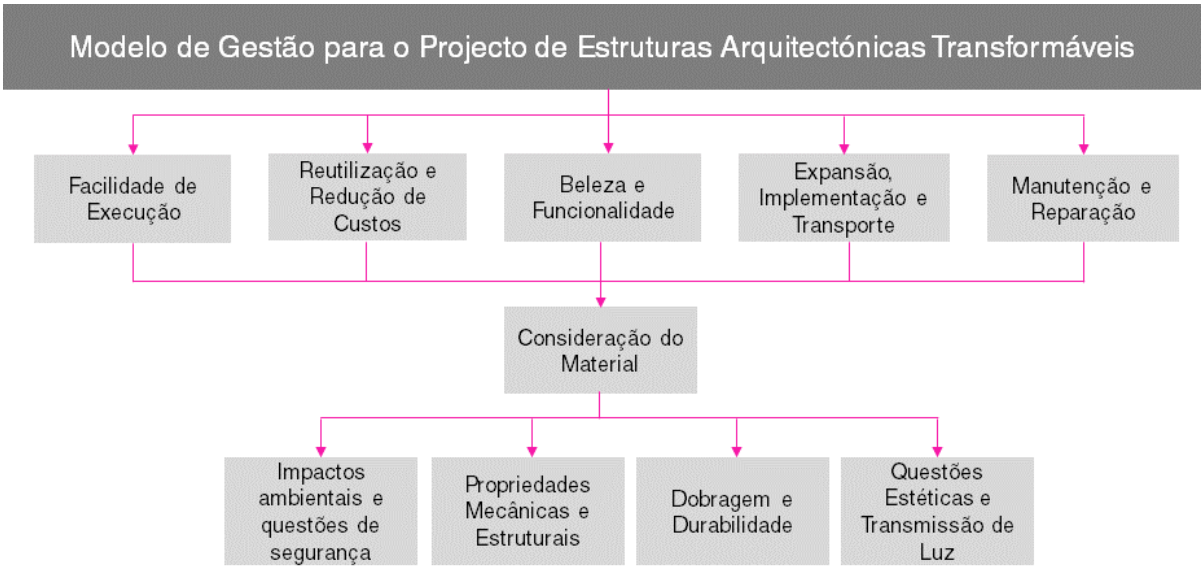


Fig. 10 - Esquematização do Modelo de Gestão para o Projecto de Estruturas Transformáveis de Maziar Asef

Facilidade de execução

Espera-se que uma estrutura transformável temporária seja construída, erguida e removida facilmente por trabalhadores sem elevado nível de experiência, reduzindo-se custos

[14] Sendo uma análise das considerações do autor e uma vez que o mesmo não aborda a questão da fabricação digital, a mesma não foi contemplada no presente capítulo, sendo abordada à frente no capítulo II – Do manual ao digital.

na escavação, fundação, conexões, desperdício e promovendo a simplicidade, evitando detalhes complexos. (Asefi & Foruzandeh, 2011).

Reutilização e redução de custos

Considera-se que o ciclo de vida do edifício passa por quatro estágios: a produção e execução, a utilização e a pós-utilização (ou reciclagem). Apesar do tempo de produção e execução ter sido drasticamente reduzido devido às tecnologias avançadas e aos novos e inovadores equipamentos que hoje dispomos, o mesmo não se pode afirmar da matéria utilizada nele, assim, uma das maiores preocupações consideradas nas estruturas temporárias transformáveis recai sobre a utilização de materiais recicláveis ou não poluentes, devendo a sua desmontagem e dobragem incluir mecanismos que não sofram muito desgaste no processo de transformação. (Asefi & Foruzandeh, 2011)

Beleza e funcionalidade

Uma estrutura temporária deve ser desenhada de forma a que, quando erecta, seja considerada uma boa peça de arquitectura, estrutura ou arte. Uma das mais importantes características encontradas nas estruturas transformáveis encontra-se na dualidade funcional dos elementos estruturais, podendo estes assumir também funções mecânicas que providenciam abrigo e suporte sendo, ao mesmo tempo, os componentes mecânicos de carga de transferência para criar movimento, evidenciando a beleza deste tipo de estrutura quando se dá o casamento entre arte, ciência, arquitectura e engenharia, que raramente podem ser encontradas nas estruturas habituais. (Asefi & Foruzandeh, 2011).

Expansão, implementação e transporte

Uma estrutura reconfigurável deve ser desenhada de forma a que atinja configurações estáveis durante o seu processo de dobragem e implementação ou apenas como uma estrutura portátil desmontável que permanece estável quando totalmente implementada. Podendo também ser utilizadas em construções permanentes, como um todo ou apenas parte, estas são pré-fabricadas e enviadas para o local para montagem. Quando utilizadas em situações temporárias possuem o potencial de se adaptar às condições que as envolvem, devendo, assim, ser passíveis de dobrar em pequenas partes que facilitem o transporte e armazenamento. (Asefi & Foruzandeh, 2011).

Manutenção e reparação

Similarmente às estruturas estáticas, as transformáveis requerem um planeamento cuidado referente ao seu sistema de gestão e manutenção, de forma a garantir a segurança

e assegurar a operação desejada para o edifício, tanto do ponto de vista arquitectónico quanto estrutural. No entanto, devido ao seu carácter transformável que suporta repetidos movimentos de abertura e fecho estrutural, devem ser tomadas medidas especiais para assegurar o movimento suave e confiável e articulação dos componentes estruturais. Assim, o detalhe e a estratégia de gestão e manutenção escolhidas devem ter em consideração o funcionamento eficaz e eficiente da estrutura durante todo o processo de transformação bem como a construção, custos de funcionamento e manutenção. (Asefi & Foruzandeh, 2011).

Consideração do material

Os materiais desempenham um papel crucial na eficácia e sucesso quando se trata a arquitectura transformável, sendo este um dos maiores desafios que os arquitectos defrontam no *design* deste tipo de arquitectura. Maziar Asefi classifica estes materiais em dois grupos: materiais de revestimento e materiais estruturais e operacionais; considerando o seu peso em todas as fases criteriosas descritas anteriormente (Asefi, 2009)

Dada a variedade de materiais disponíveis nos dias que correm e a multiplicidade de funções, torna-se complicada a categorização destes numa aplicação orientada e concisa. A complexidade de selecção de materiais adequados aumenta com a necessidade de diminuir o leque dos mesmos ao longo do desenvolvimento do projecto, de forma a encontrar-se uma solução ideal e final. (Asefi, 2009)

Impactos ambientais e as questões de segurança - Tendo em vista a redução do impacto ambiental é essencial considerar a redução dos elementos tóxicos e privilegiar os produtos amigos do ambiente. A consulta a engenheiros e empresas de materiais durante as fases do projecto e planeamento ajudam a optimizar os factores relacionados com a materialidade, auxiliando na confirmação de compatibilidades e consistências, devendo ter em mente que, quando um edifício se destina a ser dobrado ou movido e nos quais os materiais de revestimento tendem a sofrer maior desgaste, a possibilidade de utilização de materiais reciclados ou recicláveis de forma a minimizar o seu impacto ambiental negativo deve ser uma preocupação primária. (Asefi, 2009).

Propriedades mecânicas e estruturais - A deterioração da qualidade mecânica dos materiais afectam a arquitectura transformável de duas formas: primeiramente, poderá diminuir a força estrutural e resistência; em segundo lugar, à medida que os materiais se deterioram a sua flexibilidade e adaptabilidade é reduzida, tornando a estrutura quebradiça. Consequentemente a estrutura pode não funcionar adequadamente, em especial quando dobrada na sua transformação. É também atribuída extrema importância aos efeitos térmicos

e acústicos, de forma a que estes não interfiram no funcionamento devido das estruturas devendo-se, em caso de necessidade, contemplar o edifício com componentes adicionais que operem nestes factores. A sujidade é outro dos elementos a ter em conta quando se projecta um edifício deste tipo, uma vez que, devido à sua forma ou dimensão, poderá ser dificil a sua limpeza regular, interferindo assim com o funcionamento. (Asefi, 2009)

Dobragem e durabilidade - Apesar da durabilidade não estar directamente dependente das propriedades mecânicas, desempenha um papel determinante na eficácia e segurança da arquitectura transformável. Durante o desenvolvimento do projecto deve ter-se em conta o tempo real de vida de um material e não aquele especificado pelo fabricante, uma vez que este diminui com o desgaste, dependendo da montagem e desmontagem mais ou menos constantes, bem como a exposição às diferentes condições. Estes critérios devem estar previamente definidos e sobretudo, obviamente a par de outros factores, serem ponderantes na escolha do material a utilizar, podendo inclusivamente ser um complemento quando o manuseamento e montagem durante a construção. (Asefi, 2009)

Questões estéticas e transmissão de luz - A selecção de materiais considera-se importante na percepção visual e no sentido de leveza e luminosidade dos espaços arquitectónicos. Dependentes das propriedades mecânicas, cor e padronização, afectadas pela transformação de padrão pela estrutura da forma, as características estéticas fazem uma integração de dentro para fora, podendo diminuir o impacto das estruturas. Deve compreender-se que uma estrutura transformável, quando implementada, é tida como arquitectura estática e deve responder aos mesmos requisitos estéticos. Por conseguinte, a escolha do mecanismo de transformação e de componentes estruturais deve ser considerada, correlacionando e verificando a compatibilidade do espaço ocupado pelas estruturas transformáveis em cada etapa da transformação, ponderando as consequências da aplicabilidade dos materiais no espaço arquitectónico. (Asefi, 2009)

Capítulo II
Do Manual ao Digital

2.1. Novas ferramentas, novo paradigma na idade da informação

Os últimos séculos de história são considerados enquanto enquadramento quando se assume a investigação do aparecimento e desenvolvimento das ferramentas digitais aplicadas à arquitectura, apesar de que, de acordo com a professora e arquitecta israelita Rivka Oxman, aparentemente, "os fundamentos teóricos do *design* digital como forma de projecto ainda não estão formulados e que as suas bases conceptuais ainda estão ligadas a posições ideológicas"[15]. (Oxman, 2006, pp. 238-239)

Assentando em pilares que remontam ao século XVII, às primeiras investidas no desenvolvimento da máquina de computar, leia-se analógico-digital, desenvolve-se então durante a Segunda Guerra Mundial o trabalho iniciado séculos antes rumo ao computador eletromecânico (El-Zanfaly, 2009). A compreensão do computador transforma-se numa demanda, tendo em 1936 sido publicado o produto do trabalho do matemático e cientista da computação britânico Alan Turing (1912-1954) numa reflexão sobre o problema do matemático alemão David Hilbert (1862-1943) – composto por 23 problemas matemáticos que terão influenciado tanto a área da computação quanto o campo geométrico e algébrico – nascendo assim o primeiro modelo, baseado na máquina, constituindo estes simples e abstractos dispositivos uma das primeiras e mais intuitivas formas de tornar precisa a ideia de computabilidade, estando a lógica inerente relacionada com o desenvolvimento do computador. (Kotnik, 2010)

A era digital atinge então a arquitectura quando, em 1963, o informático Norte-Americano Ivan Sutherland (n. 1938) desenvolve o *software Sketchpad*, o primeiro editor gráfico dedicado ao design e manipulação de objectos, demonstrando que os computadores poderiam ser utilizados no desenho e modelação, abrindo caminho a toda uma geração de programas CAD que se baseavam na lógica deixada de herança por este. (Kotnik, 2010)

Os arquitectos, que no início do século XX eram assolados pela máquina e pela industrialização, vão, ao longo do avançar do século, assumindo a criação transformativa, poética e pragmática em resposta às novas tecnologias da idade da informação. Em meados do século ter-se-á assumido uma posição de reflexão acerca da incorporação das ferramentas digitais na prática da arquitectura, levando a que vários profissionais se debruçassem sobre o assunto. (El-Zanfaly, 2009)

A possibilidade de desenvolver arquitectura em ambiente digital é-nos oferecida, numa primeira instância, pelos sistemas CAD, direccionados à representação da realidade, maioritariamente numa aplicação eficaz ao desenho técnico bidimensional, que terá conferido à tarefa rapidez, rigor e fiabilidade. A par da evolução dos *softwares*, terão sido incorporadas,

[15] "that the theoretical foundations of digital design as a form of design are still unformulated and that its conceptual foundations are still bound up in idealogical positions" (Oxman, 2006, pp. 238-239)

progressivamente, ferramentas e processos que permitiriam a modelação e visualização tridimensional. A concepção e manipulação de geometrias complexas – NURBS – começa a ser uma realidade praticável, introduzindo-se a possibilidade de desenvolvimento de formas livres, cujo alcance seria complexo através do desenho manual, abrindo assim portas á exploração formal mais diversificada que se verifica na arquitectura contemporânea. (Santos, 2009)

A progressão das ferramentas digitais aplicadas à arquitectura levou ao aparecimento dos sistemas BIM que, apesar de possuírem as mesmas potencialidades de desenho digital do CAD, vão além dos mesmos, fazendo-se depender de relações paramétricas espaciais, sendo que a composição do edifício se encontra aliada ao modelo tridimensional através de uma base de dados que contempla quantidades e descrições detalhadas que possibilitam o acesso a todo o tipo de informação do projecto. (Santos, 2009)

A expansão das ferramentas digitais no desenvolvimento de projectos no campo da arquitectura terá então ultrapassado o campo da representação arquitectónica e aberto portas à possibilidade de vários tipos de simulação, baseados em sistemas de cálculo complexo, o que terá vindo acrescentar valor aos sistemas que lhe antecederam, permitindo assim a criação de uma relação entre as várias especialidades na área. (Santos, 2009)

Algumas décadas terão marcado a distância entre o aparecimento dos primeiros *softwares* e a implementação dos mesmos enquanto assistentes num processo de criação arquitectónica, sendo que, só na década de 90 a arquitectura terá abraçado o contexto digital, numa altura em que os computadores estavam já desenvolvidos e os softwares de plataformas 2D e 3D ganhavam a confiança dos profissionais para a prática. (Santos, 2009)

A proliferação de ferramentas digitais ocasiona assim a emergência de questões paradigmáticas que tocam tanto a teoria quanto a prática da mesma. Hoje, os edifícios são desenhados, documentados, fabricados e montados com a assistência de meios digitais, o que põe em questão, por um lado, o lugar ocupado pelo arquitecto no processo de criação arquitectónica e, por outro, a eficácia e credibilidade destes novos meios que, apesar da sua solidez teórica ainda estar por sedimentar, oferecem possibilidades em tantos campos quanto os que a arquitectura toca. (Oxman, 2006).

O crescente discurso teórico que se tem vindo a desenvolver em torno das ferramentas providenciadas pelas tecnologias digitais é considerado um dos indicadores de que a arquitectura digital tem vindo a ganhar terreno. Ao longo das últimas décadas foram muitos os teóricos e arquitectos a tentar compreender, apresentar e classificar a arquitectura no seu contexto digital, no entanto distinguem-se, de acordo com El-Zanfaly, Branko Kolarevic, Ali Rahm, Kostas Terzidis, Toni Kotnik e Rivka Oxman. Estes autores terão contribuído para o

desenvolvimento teórico e prático, abordando o seu carácter metodológico e o seu conteúdo conceptual. (El-Zanfaly, 2009)

Dissimilando o mundo do design computacional por oposição ao do design é importante compreender que o primeiro acarreta consigo termos, conceitos e processos que podem ser assumidos como inconcebíveis, imprevisíveis ou simplesmente impossíveis pelos arquitectos, podendo um projecto ser explorado, implementado e desenvolvido inteiramente pelas novas estratégias e ferramentas trazidas pelo conceito de digital, que, de acordo com o professor e autor Kostas Terzidis, "no verdadeiro sentido do significado é sobre a redução do processo em padrões discretos e articulações desses mesmos padrões em novas entidades a serem utilizadas por um computador."[16] (Terzidis, 2006, p. 78)

As tecnologias digitais contribuíram também para a emergência de novas funções desempenhadas pelo arquitecto, que hoje interage, controla e modera processos generativos e performativos, passando a assumir a informação como o novo material de estudo (Oxman, 2006). Enfrentam-se no entanto, consequências neste ingresso do arquitecto no mundo digital, recaindo sobre o paradigma do *designer* programador, que segundo Kostas Terzidis, quando "embarcar no mundo alienígena da forma algorítmica, os seus métodos de *design* também devem incorporar processos computacionais. Se há uma forma além da compreensão vai situar-se dentro do domínio algorítmico"[17] (Terzidis, 2006, p. 77), assim, "enquanto a intuição e o engenho humano podem ser o ponto de partida, as capacidades computacionais e combinatórias dos computadores também devem ser integrados." [18] (Terzidis, 2006, p. 79).

Neste momento, as ferramentas digitais começam a estabelecer-se no discurso arquitectónico, após, nas últimas décadas, terem passado por um período de rápida absorção, exploração prática, produção teórica e alguma materialização. (Oxman, 2006)

2.2 Criação de arquitectura em ambiente digital

Os sistemas computacionais têm vindo a emergir como peças fundamentais na arquitectura ao longo das últimas décadas, marcando a ascensão de uma nova área de estudo que alia o pensamento do *design* à computação e aos princípios generativos na prática arquitectónica contemporânea. (Dino, 2012)

---

[16] " in true sense of meaning is about reduction of a process into discrete patterns and articulation of these patterns into new entities to be used by a computer." (Terzidis, 2006, p. 78)

[17] " embark into the alien world of algorithmic form, its design methods should also incorporate computational processes. If there is a form beyond comprehension it will lie within algorithmic domain." (Terzidis, 2006, p. 77)

[18] " while human intuition and ingenuity may be the starting point, the computational and combinatorial capabilities of computers must also be integrated." (Terzidis, 2006, p. 79)

Os sistemas generativos surgem assim como tentativa de resposta às questões erguidas com o novo paradigma que eleva a incerteza da nova função assumida pelo arquitecto enquanto utilizador das ferramentas digitais, como uma proposta de integração mais eficiente do computador no processo criativo e na tomada de decisões ao longo do desenvolvimento do projecto. (Oxman, 2006)

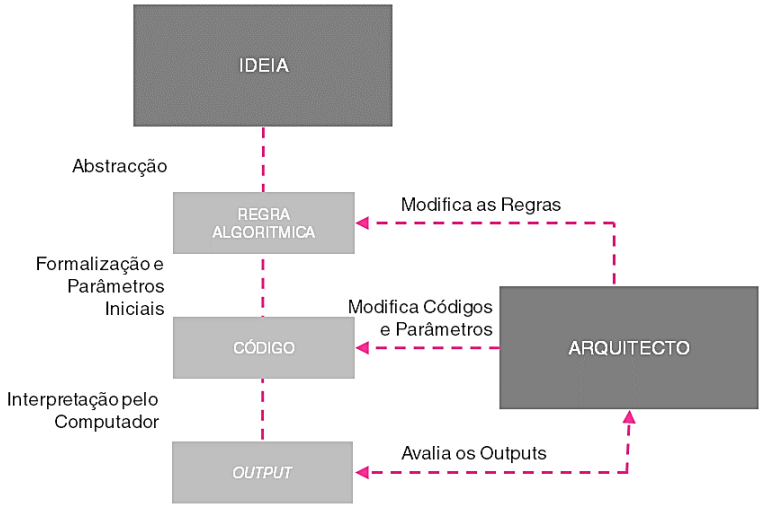


Fig. 11 - Processo Metodológico Corrente de Design Computacional - correspondente ao design da proposta

O sistema generativo é considerado um sistema de produção cuja principal preocupação não se debate sobre a determinação do objecto em si, mas sim sobre toda a especificação necessária à criação do objecto, ou seja, sobre o seu processo. 'Formação sobre a forma' é, assim, o mote necessário à compreensão de que, neste tipo de sistemas, mais do que desenhar o objecto, desenha-se a lógica inerente à sua criação. Quando se abordam os sistemas generativos em ambiente digital requerem-se especificações computacionais dos princípios da sua formação, o que abre espaço à exploração de alternativas de variações que vão, muitas vezes, para além da capacidade criativa humana. (Dino, 2012 & Kolarevic, 2003)

A delegação de tarefas está assim intrínseca a estes sistemas, sugerindo estes um determinado nível de autonomia por parte do computador, dependendo do ciclo iterativo estipulado pelo utilizador, variando entre processos completamente autónomos a processos controlados passo-a-passo pelo arquitecto. Ao utilizador é requerido que expresse, através de algoritmos, a definição dos problemas aos quais pretende dar resposta, podendo esta ser regras, constrangimentos, dependências paramétricas, estruturas genéticas, entre outras. (Dino, 2012)

O potencial das tecnologias digitais perante a geração e criação funde-se aos avanços na fabricação alcançados noutros ramos da indústria, criando novas oportunidades que permitem a produção e construção de formas complexas que, através das técnicas de construção tradicionais, se mostravam dificilmente aplicáveis no projecto, produção e montagem (Kolarevic, 2003) "Esta nova capacidade de gerar informações da construção directamente a partir da informação do projecto e não da forma da curva complexa, é o que

define o aspecto mais profundo de grande parte da arquitectura contemporânea"[19] (Kolarevic, 2003, p. 57), o que acarreta consequências profundas na relação entre a arquitectura e os seus meios de produção, que trarão novos desafiados pelo novo processo orientado para a concepção, fabricação e construção.

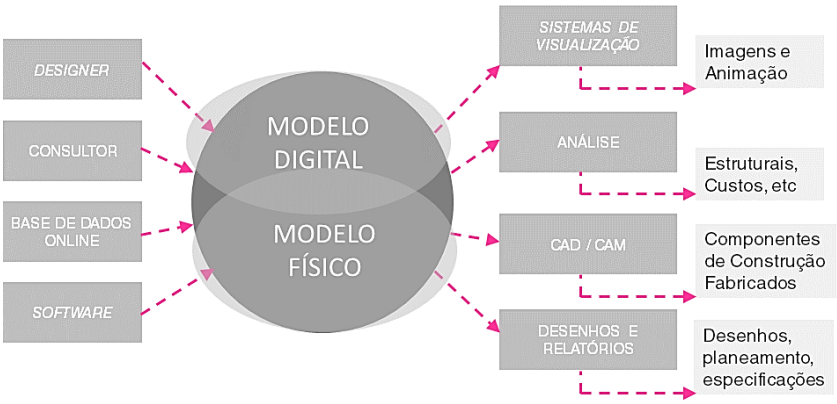


Fig. 12 - Funções integradas para um Modelo Digital

Considera-se que uma nova continuidade digital está estabelecida, traduzindo-se esta numa ligação directa desde o projecto à fabricação e construção, integrando o pensamento dos *designers,* consultores técnicos, bases de dados on-line e agentes de software, "todos são inputs para produzir um modelo físico / modelo digital. Os outputs destes modelos são os desenhos, imagens, animações, VIR, relatórios analíticos e componentes de construção fabricados por instalações CAD/CAM"[20] (Afify & Elghaffar, 2007, p. 68).

2.2.1 Sistemas paramétricos

A modelação paramétrica é considerada como uma ferramenta de *design* generativo em arquitectura que tem vindo a ganhar grande aceitação perante a prática, ensino e investigação na área, enquadrando-se como "um método computacional que tanto pode actuar como método generativo como analítico durante a exploração do *design*"[21] (Dino, 2012, p. 208)

Na base dos sistemas paramétricos encontram-se os princípios algorítmicos, pelo que, a compreensão da função e do pensamento algorítmicos consideram-se cruciais ao entendimento destes. Ipek Dino define o algoritmo como "um conjunto finito de instruções que visam cumprir um propósito claramente definido num número finito de passos"[22] (Dino, 2012,

[19] "This newfound ability to generate construction information directly from design information and not the complex curving form, is what defines the most profound aspect of much of the contemporary architecture" (Kolarevic, 2003, p. 57)
[20] "all are inputs to produce a digital model / physical model.The outputs of these models are the drawings, images, animations, VIR, analytical reports…and fabricated construction components done by CAD/CAM facilities" (Afify&Elghaffar, 2007, p. 68)
[21] ""a computational method that can act both generative and analytical method during the design exploration" (Dino, 2012, p. 208)
[22] "a finite set of instructions that aim to fulfill a clearly defined purpose in a finite number os steps" (Dino, 2012, p. 210)

p. 210), sendo que esse algoritmo toma um valor ou um conjunto de valores como *input*, executa uma série de passos computacionais que o transformam, produzindo, finalmente, um *output*. O poder destes recai sobre a sua capacidade de dar resposta a uma vasta gama de problemas computacionais que poderão ir de problemas numéricos, passando por problemas combinatórios até geometrias computacionais. A realização do processamento passa por três instruções básicas de controlo que implementam operações fundamentais: a sequência, que executa instruções numa determinada ordem; a selecção, na qual se escolhe que instruções executar, baseado num modo condicional; e, por último, a iteração, ou seja, a repetição de instruções que poderá ser feita de forma linear ou recursiva. (Dino, 2012)

A descrição da variedade de possibilidades, "substituindo no processo estabelecido com variáveis, singularidade com multiplicidade"[23] (Kolarevic, 2003, p. 17), oferece aos sistemas paramétricos um poder de concepção na geração de forma, dando a possibilidade de criar um número infinito de objectos, manifestações geométricas de um esquema previamente articulado de dependências dimensionais, relacionais ou operacionais variáveis. (Kolarevic, 2003) Enfatiza-se, assim a manipulação directa dos valores dos parâmetros de forma a induzir a alteração directa no objecto, oferecendo ao utilizador a possibilidade de manipular a geometria a partir dos seus parâmetros de forma a explorar uma solução optimizada. Trata-se, mais uma vez, da lógica inerente à forma, focando-se no desenvolvimento dos parâmetros e componentes e não na forma em si, pelo que, o processo deverá ser deixado em aberto quando pretendida uma extensa exploração formal, na qual a manipulação de variantes é determinante na busca pela optimização de soluções. (Dino, 2012)

O ambiente controlado dentro dos sistemas paramétricos consegue-se com a coligação algorítmica e a definição de relações e problemas pré-estabelecidos pelo utilizador "equações podem ser utilizadas para descrever as relações entre objectos, definindo assim uma geometria associativa – a geometria constituinte que está mutuamente ligada"[24]. (Kolarevic, 2000, p. 1).

Vistos particularmente sob o ponto de vista de apoio às geometrias complexas, precedente aberto pelo advento das ferramentas CAD que terá sido receptivo ao novo entendimento estético das geometrias Euclidianas[25] e da experimentação num ambiente de espaço n-dimensional[26]. O potencial dos sistemas paramétricos face à resposta programática

[23] "replacing in the process stable with variable, singularity with multiplicity" (Kolarevic, 2003, p. 17)
[24] "equations can be used to describe the relationships between objects, thus defining an associative geometry – the constituent geometry that is mutually linked" (Kolarevic, 2000, p. 18)
[25] Geometria em duas e três dimensiões cujo princípio recairá sobre as distâncias relativas entre elementos. (Kolarevic, 2003)
[26] Espaço matemático abstracto conhecido como espaço Euclidiano, onde todos os axiomas de Euclides foram codificados. (Kolarevic, 2000)

à qual se aspira é exponenciado quando considerado a par com questões performativas, tendo-se como ferramenta que permite a navegação no espaço de busca paramétrica que respeita medidas quantitativas e contempla a capacidade de análise com base na simulação. (Dino, 2012)

2.2.2 Fabricação digital

A fabricação digital surge-nos, tal como os sistemas generativos, como respostam às alterações paradigmáticas sofridas pela arquitectura nas últimas décadas. O desafio da construtibilidade terá elevado a necessidade de novos instrumentos para que se possa usufruir em pleno das oportunidades proporcionadas pelas técnicas digitais de produção, tentando reverter a prática de pensar no que poderá ser construído em deterioramento do que se deseja construir. (Kolarevic, 2003).

Enquanto novas dimensões apareciam no campo da arquitectura, procuravam-se novos meios de fabrico que possibilitassem a produção e construção de formas complexas, demasiado dispendiosas e difíceis de produzir com as técnicas e ferramentas disponíveis, que se começavam a demonstrar aquém das necessidades dos arquitectos que procuravam a experimentação e a ruptura com a produção em massa, "A Era da Informação, como a Era Industrial, antes disso, desafia não só como nós projetamos, mas também como nós fabricamos e construímos."[27] (Kolarevic, 2003, p. 117). A união entre os sistemas CAD e CAM surge inicialmente como resposta à industrialização no ramo automóvel, naval e aeronaval, tendo sido progressivamente adoptados e adaptados pelo ramo da arquitectura, encontrando-se assim uma ligação directa não só entre o projecto e o fabrico, reunindo também a construção, de acordo com a arquitecta Catherina Slessor "a noção de que a singularidade é agora tão económica e fácil de atingir como a repetição, desafia as hipóteses simplificadoras do Modernismo e sugere um potencial de um novo paradigma pós-industrial, com base nas capacidades criativas melhoradas da eletrónica ao invés da mecânica" [28] [29] (Kolarevic, 2003, p. 122)

À semelhança dos sistemas CAD, a máquina de materialização ordena-se por uma série de comandos para executar as operações. De forma a estabelecer-se uma conexão com este tipo de dispositivos, os softwares CAD necessitam de um *driver* que permita a tradução da descrição internamente arquivada da forma para uma sequência correspondente de

[27]"The Information Age, like the Industrial Age before it, is challenging not only how we design, but also how we manufacture and construct them" (Kolarevic, 2003, p. 117)
[28]"the notion that uniqueness is now as economic and easy to achive as repetition, challenges the simplifying assumptions of Modernism and suggests a potential of a new, post-industrial paradigm, based on the enhanced creative capabilities of electronics rather than mechanics" (Kolarevic, 2003, p.122)
[29] Slessor, C. (1997). Atlantic Star, in *Architectural Review*, 102, pp. 30-42.

comandos que definem a sequência de operações a realizar. Esta tradução da descrição da forma em sequência de comandos "para uma máquina de construção é converter uma descrição de estado, que especifica uma condição final desejada, numa descrição do processo, que diz como chegar lá. (...) Em geral, a tradução dos algoritmos *state-to-process* codificam o conhecimento dos materiais e processos de construção"[30]. (Mitchell, 2005, p. 45).

A fabricação digital tem inicio no modelo mãe 3D-CAD. O primeiro passo prende-se na análise dos dados de informação estrutural correspondentes a todas as partes do edifício, através de softwares CAM, encontrando-se como segundo passo a tradução de toda a informação analisada para CNC, o que produz a forma em certos modelos de instrução para as diferentes máquinas de fabricação que se adequam a cada uma das partes do edificio *File-to-Factory*. O processo recai sobre vários tipos de máquinas e processos, que procedem á fabricação de diferentes formas. (Afify & Elghaffar, 2007):

Corte bidimensional

O modelo mais utilizado na fabricação digital, sendo que existem vários tipos que tecnologias de corte tais como plasma-arc[31], laser-beam[32] e water-jact[33]. Este processo envolve o movimento de dois eixos através da folha de material, sendo que a diferença entre estas se prende na espessura e densidade do material passível a corte. As estratégias incluem o seccionamento sequêncial, a triangulação, a *tesselation* ou mesmo *folding* (Kolarevic, 2003).

Fabricação subtractiva

Envolve o processo de remoção de um volume especificado de material a partir do sólido a utilizar. Este processo serve-se de procedimentos eletrónicos, químicos e mecânicos. A fresagem pode ser feita através dos três eixos axiais, sendo que a máquina vai retirando o excesso de material, controlados os movimentos através de *softwares* CNC (Kolarevic, 2003)

Fabricação aditiva

Como inverso da fresagem, o processo recai sobre a formação incremental de adição de material de através de camada a camada (*layer-by-layer),* sendo que o princípio adjacente a estas tecnologias aditivas está no seccionamento do modelo digital em camadas bidimensionais (*cross-section*), sendo esta informação transmitida à máquina operadora. O

[30]"to a construction machine is one of converting a state description, which specifies a desired end-condition, into a process description, which tells how get there. (…) In general, state-to-process translation algorithms encode knowledge of construction materials and processes." (Mitchell, 2005, p. 45)

[31] Utilizada no corte de metais, pode entender-se como um maçarico de gás, que emite gás a alta velocidade, ao mesmo tempo um arco eléctrico é formado por este a partir do bico (

[32] Utilizado no corte dos mais diversos materiais, recorre ao laser de alta potência que queima o material.

[33]Capaz de cortar diversos tipos de materiais, utiliza um jacto de pressão de água para proceder ao corte.

problema deste tipo de fabricação recai sobre a limitação dimensional dos modelos que podem ser realizados, sendo este tipo de fabricação adequada á produção de pequenos detalhes ou partes do edifício (Kolarevic, 2003).

Fabricação formativa

Nestes processos as forças mecânicas, restrição de formas, calor ou vapor são aplicados no material de forma a atingir a forma pretendida através da deformação dos mesmos (Kolarevic, 2003)

Uma vez fabricados digitalmente, os componentes podem ainda ser montados no local recorrendo à assistência digital. Os avanços na tecnologia computacional permitem hoje a aplicação de sistemas tridimensionais CAD/CAM na determinação precisa *in loco* de cada um dos componentes do edifício fabricados previamente, encontrando-se estes assistentes em obra cada vez mais difundidos na construção ao longo do planeta. (Afify & Elghaffar, 2007).

Novas expressões arquitectónicas aliadas aos novos sistemas de fabricação terão despoletado o renascer do interesse dos arquitectos sobre os materiais, sobre as suas propriedades e a sua capacidade de produzir o efeito estético e espacial que pretendem alcançar. Novos materiais são continuamente introduzidos no panorama da arquitectura na tentativa de dar resposta às necessidades, encontrando-se no mercado materiais cada vez mais leves, mais finos, com melhor resposta às forças, chegando mesmo a alterar a dinâmica das propriedades. (Afify & Elghaffar, 2007).

Capítulo III

Nossa Senhora do Cabo – Uma devoção itinerante

3.1 Por entre lendas e mitos nasce um culto

Fig. 13 - Imagem primitiva de Nova Senhora do Cabo Espichel

Envolto em mitos e lendas, o culto no Cabo Espichel perde-se no tempo, não existindo certezas sobre quando terá nascido. As lendas mais antigas são alusivas ao nascimento de Cristo, estando também nelas presente uma incerteza e incoerência, uma vez que, para quase todas, são atribuídas duas versões do mesmo acontecimento. (Pato, 2008) O culto medieval a Nossa Senhora do Cabo Espichel, por vezes tratada como Santa Maria do Cabo ou Santa Maria da Pedra da Mua, constitui, de acordo com o investigador de história português Heitor Baptista Pato, uma das mais antigas e interessantes manifestações da religiosidade em Portugal, encontrando-se numa carta régia de D. Pedro I, datada de 1366, o mais antigo registo documental conhecido deste culto. (Pato, 2013)

A certeza perde-se também com a história dos séculos, sendo várias as histórias que se atribuem às condições em que foi encontrada a imagem da Virgem no Cabo Espichel. São consideradas duas as principais lendas fundacionais do culto no Cabo.

A primeira das lendas, narrada por Frei Agostinho de Santa Maria [34], diz-nos que a imagem teria sido descoberta por homens da Caparica quando estavam a apanhar lenha no promontório, podendo ler-se:

> Neste sítio sobre a rocha se vê ao presente ua Ermidinha, que se edificou para memória, a que chamam o Miradouro; é tradição constante que, apparecera a imagem de nossa Senhora que por ser vista naquela rocha, a que chamão Cabo, a denominarão com este título (...) Os venturosos, e os que primeiro descubriram este rico tesouro, foram alguns homens da Caparica que iam aquela serra a cortar lenha; e daqui teve princípio serem eles os primeiros também que a festejassem (...). [35] (Pato, 2013, p. 1)

Outra lenda, mais divulgada e contada por Frei Cláudio da Conceição em 1920, defende que um velho de Alcabideche e uma velha da Caparica - representando simbolicamente as duas margens do Tejo nas quais o Círio assume uma forte expressão popular - teriam sonhado com uma luz misteriosa sobre o Cabo Espichel e ali se terão deslocado a fim de averiguar a origem da mesma, tendo sido a mulher a primeira a chegar, tendo o homem chegado pouco depois: "vê acordado, o que gozou dormindo: vê a Luz mais

[34] Santa Maria, F. A. (1707). Santuário Mariano, E História das Imagens de Nossa Senhora, etc. Lisboa:Of.António Pedrozo Galrão.

pura, goza da claridade mais perfeita. Sim, vê a Prodigiosa Imagem da Mãe de Deus, a quem já adorava a venturosa caparicana", logo o saloio "se prosta junto a ela reverente (...) e conhecendo ser vontade de Deus, que se desse Culto a sua Santíssima Mãe naquele lugar retirado, na solidão do deserto assim o prometem, e se tem praticado até ao presente(…)"[36] (Pato, 2013, p. 1)

Por último, a mais conhecida das lendas etiológicas, lendo-se um mito sagrado cuja criação tem como objectivo a explicação de um acontecimento inexplicável ou cosmogónico, com características míticas, que, segundo Frei Agostinho de Santa Rita[37] assegura que a Senhora terá aparecido na baía dos Lagosteiros com o Menino ao colo e que, montada numa mula, terá subido pelas arribas, deixando o animal as pegadas gravadas: "afirmam que a Senhora aparecera na praia que lhe fica embaixo da mesma penha, onde se edificou a Ermidinha, e que aparecera sobre a sua jumentinha, e que esta subira pela rocha acima, e que ao subir ia firmando as mãos, e os pés na mesma rocha, deixando impressos nela os vestígios das mãos, e pés (...)", acrescentando que "se fundou no lugar onde a Senhora parou, naquela liteirinha vivente que a levava" e que a capela "desfez muitas vezes o tempo, mas a devoção dos que a servem, a reformou outras tantas vezes, apesar dos seus rigores" (Pato, 2013, p. 2).

O culto terá então ter sido alvo de uma grande afluência, lá se dirigindo grandes peregrinações populares e cíclicas, inicialmente integradas por 30 freguesias da zona saloia a Norte do Tejo, podendo considerar-se o primeiro culto itinerante à Virgem em Portugal, mantendo-se inalteradas as tradições que as regulavam, julgando-se que, no total, possam ter havido perto de meia centena de freguesias a participar no culto, considerando os círios da Caparica, dos pescadores de Sesimbra e as festas da Azóia e de Palmela. (Álvaro, 2010)

3.2 A peregrinação ao longo dos séculos

À data de 1430 foi instituído o círio saloio - designação utilizada na zona estremenha para uma romaria – "constitui a deslocação dos devotos a um determinado santuário em cumprimento de uma promessa colectiva, numa romagem ou périplo cíclico de longo curso, seguindo um itinerário tradicional que marca a posse simbólica de espaços sagrados" (Pato, 2013, p. 3), sendo que, no caso presente, várias freguesias do norte e sul do Tejo organizavam-se entre si de forma a, alternadamente, fazerem o giro anual e itinerante, prestando devoção a Nossa Senhora do Cabo.

[36] Conceição, F.C. (1817). *Memória da Prodigiosa Imagem da Senhora do Cabo, etc.* Lisboa:Impressão Régia.
[37] Santa Maria, F. A. (1707). Santuário Mariano, E História das Imagens de Nossa Senhora, etc. Lisboa:Of.António Pedrozo Galrão.

A adesão ao culto terá levado a que, em 1495, se tenha iniciado a construção da primeira Igreja de Nossa Senhora do Cabo, da qual já nada resta, uma vez que a Ermida da Memória não conseguia dar resposta à afluência que se fazia acrescer. Dois séculos depois surge novamente a necessidade de construir uma Igreja de maiores dimensões, cuja construção terá arrancado em 1701, tendo sido inaugurada 6 anos mais tarde, não havendo certezas quanto à autoria da obra, sendo que, ainda no mesmo século, a Ermida da Memória se vê restaurada e se aponta como data provável da colocação dos azulejos que a decoram. (Álvaro, 2010)

Fig. 14 - Vista do Complexo a partir da Casa da Água

Fig. 15 - Imagem itinerante de Nossa Senhora do Cabo Espichel

A importância e dimensão do círio tem o seu auge no século XVIII, marcado com remodelações, ofertas de altares e berlindas, com a atenção especial por parte da Família Real Portuguesa, e, cujos indícios apontam para uma afluência de 30.000 fiéis. A oferenda de uma nova imagem pelos romeiros de São João Degolado da Terrugem (Fig. 15), em 1751, marcará um ponto de viragem no qual a nova imagem passa a acompanhar o círio. Todo o complexo do Santuário do Espichel (Fig. 14) – constituído pela Ermida da Memória, igreja, hospedarias que delimitam o arraial, a horta e a casa da água, o aqueduto e o teatro da ópera – constituía um "raro exemplo de santuário monumental de peregrinação religiosa cenograficamente planificado de raiz e um conjunto arquitectónico civil e religioso único em Portugal, em que o decorativismo barroco do templo se alia ao carácter popular das hospedarias" (Pato, 2008, p. 249)

As festas terão conhecido um natural e inevitável abrandamento, resultante da partida da corte para o Brasil, tendo, no entanto, continuado a contar com a devoção e contributo da Família Real. Apesar do progressivo declínio dos círios saloios, tendo-se verificado uma interrupção entre 1910 e 1926, as romarias populares terão sido retomadas por Odivelas em 1926, tendo prosseguido até hoje sem interrupções, salvo excepções nos anos de 1976 a 1978, contando-se hoje com a devoção de 25 paróquias como se pode observar na figura 16 – Cascais (1), Alcabideche (2), Rio de Mouro (3), São Pedro de Penaferrim (4), S. Martinho de Sintra (5), Sta. Maria e S. Miguel (6), Terrugem (7), S. Julião das Lampas (8), Montelavar (9), Igreja Nova (10), Sto. Estevão das Galés (11), Fanhões (12), Lousã (13), Almargem do Bispo (14), Belas (15), Barcarena (16), S. Domingos de Rana (17), Oeiras (18), Benfica (19), Carnide (20), Loures (21), Sto. Antão do Tojal (22), S. Julião do Tojal (23), Belém (24) e Linda-a-Velha (25) que substituiu Carnaxide desde 2012/2013 . (Pato, 2008)

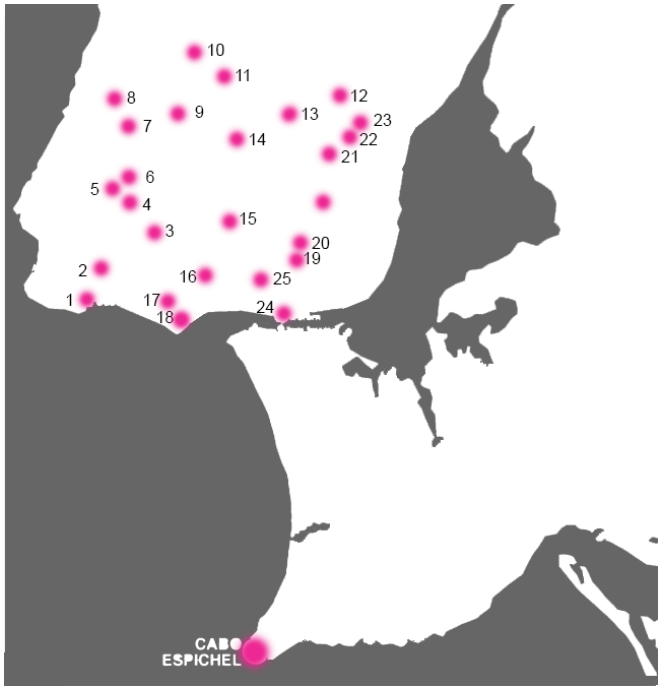


Fig. 16 - Mapa das freguesias, numerando as paróquias que recebem, à data, o círio saloio a Nossa Senhora do Cabo

Nos finais do século XIX os círios saloios terão deixado de incluir o Cabo Espichel na sua peregrinação, o que terá provocado uma rápida degradação nas estruturas ali construídas, que terão, a partir de meados do século XX sofrido várias obras de recuperação. Heitor Baptista Pato considera no entanto que "a história mais recente conta-se em breves palavras, mas tanto mais significativas quanto parecem indicar um acentuado revivescer do interesse – quer académico, quer popular – pelas tradições religiosas e culturais relacionadas com este culto multisecular." (Pato, 2013, p. 7). Assim, compreende-se que desde meados do século XX tem vindo a crescer tanto o interesse quanto a mobilização no sentido de recuperar e promover esta tradição popular.

3.3 Uma leitura formal do espaço

Numa altura em que a arquitectura religiosa se considera uma matéria intensamente controversa, a abordagem à mesma enquanto caso estudo da presente dissertação eleva a necessidade a uma aproximação teórica que a conceptualize. Para tal, servimo-nos de duas

obras fundamentais para a compreensão desta temática. Numa abordagem à compreensão do comportamento e percepção do *homo religious*[38], e mesmo do homem não religioso, considerando-se que "o Homem moderno que se sente e se pretende areligioso carrega ainda toda uma mitologia camuflada e numerosos ritualismos degradados (…) os festejos que acompanham o Ano Novo ou a instalação numa casa nova apresentam, ainda que laicizada, a estrutura de um ritual de renovação" (Elíade, 1957/1992, p. 98), numa perspectiva religiosa mais ampla, , evoca-se a obra *Sagrado e Profano*, do historiador de religiões Mircea Eliade (1907 – 1986). Sob o ponto de vista de abordagem arquitectónica recorre-se à obra *Theology in Stone, Church Architecture from Byzantium to Berkely*, do professor de Religião e História Richard Kieckhefer, na qual é proposto um estímulo do pensamento sobre igrejas, de forma a contemplar uma profunda e ampla reflexão acerca da arquitectura religiosa e da devoção que é levada a cabo nestes espaços.

		Tradição Católica	Tradição Evangélica	Tradição Comunal Moderna
Uso Litúrgico	Dinamismo Espacial	Espaço Longitudinal com procissão e retorno	Espaço auditório para anúncio e resposta (dinamismo verbal)	Espaço de transição para movimento de reunião para as áreas de adoração
	Centro do Foco	Altar	Púlpito para pregar	Múltiplos e Móveis
Resposta Induzida	Impacto Estético	Cenário dramático para interação de transcendência e imanência	Configuração digna para edificação	Ambiente hospitaleiro para celebração
	Ressonância Simbólica	Alta	Baixa	Moderada
Relação dos Factores		Múltiplas funções, nenhuma das quais governa as outras	Funções convergentes, regidas em grande parte, pelo centro do foco	Funções convergentes, regidas em grande parte pela dinâmica

Fig. 17 - Comparação dos padrões básicos no design de edifícios religiosos em diferentes tradições

A compreensão da tradição religiosa Cristã deverá ser a primeira ponderação, percebendo-se as diferenças arquitectónicas entre as três maiores tradições que se incluem nesta, fazendo-se ao longo deste trabalho um foco numa Santa Católica. Considera-se central para o entendimento desta tradição os conceitos de 'sagrado' e 'santo' expressos no desenho

[38] Conceito de Mircea Eliade, numa aproximação ao sagrado intrínseco na natureza humana, na humanidade religiosa, que se manifesta mesmo pelos que renunciam à visão da sacralidade do mundo (Eliade, 1957/1992)

arquitectónico. Para muitos teóricos da religião "sacralidade é a qualidade atingida ou expressa pela separação: o sagrado é aquilo que é separado do profano e espaço sagrado é o espaço atrás de barreiras destinadas a restringir o acesso (...)"[39] (Kieckhefer, 2004, p. 18), sendo que autor defende que:

> Uma igreja pode ser marcada pela sacralidade não da separação mas da associação: que o que torna a construção de sagrado não é o seu distanciamento do profano (embora isto possa ser um efeito secundário da sacralidade, muitas vezes confundido com um fator essencial), mas a riqueza das suas associações simbólicas, da sua conexão com as imagens e narrativas que se relacionam com a questão mais profunda de vida humana. Além disso, a igreja difere de outros espaços por tornar concreto e vivo o sentido de sagrado, de presença divina. É a associação e a presença, que são mais importantes para a arquitetura da igreja, não a separação.[40] (Kieckhefer, 2004, p. 18)

A leitura de um espaço sagrado ultrapassa os condicionalismos da tradição religiosa que dita não só as noções de sagrado, santo ou do que se deve entender como arquitectura religiosa, mas também questões socioculturais que toldam a resposta à mesma. A arquitectura sacra apresenta-se condicionada pela presença humana na percepção, pela leitura da mensagem, condicionada pela cultura e pela interacção cultural, pelas expectativas nas mentes de cada visitante, pela forma como é utilizada liturgicamente. Estas variações prendem-se a cada um e marcam a impressão do edifício, dependendo de tantos factores quantos se ponderarem nas questões arquitectónicas, dando assim origem às mais diversas experiências dentro de um mesmo espaço. (Kieckhefer, 2004)

Richard Kieckhefer considera que "todos os meios de responder a uma igreja surgem dos conhecimentos particulares de observadores específicos, que vão ver nele o que foram ensinados a ver, o que as suas sensibilidades os levam a ver, e que os usos e o *ethos* das comunidades de culto lhes permitem ver" [41] (Kieckhefer, 2004, p. 10), assim, no meio de todas estas variações, o desafio prende-se com a descoberta pelas aspectos patentes na

---

[39] "sacrality is a quality achieved or expressed by separation: the sacred is that which is separate from the profane, and the sacred space is space behind barriers meant to restrict access (…)"(Kieckhefer, 2004, p. 18)

[40] "A church can be marked by a sacrality not of separation but rather of association: that what makes building sacred is not its detachment from the profane (although this may be a secondary effect of sacrality, often mistaken for an essential factor) but richness of its symbolic associations, its connectedness to images and narratives that bear on the deepest question of human life. Further, a church differs from other spaces by its making concrete and vivid a sense of the holy, of the divine presence. It is association and presence that are most important to church architecture, not separation. " (Kieckhefer, 2004, p. 18)

[41] "all ways of responding to a church arise from the particular backgrounds of specific observers, who will see in it what they have been taught to see, what their sensibilities lead them to see, and what the uses and ethos of worshiping communities enable them to see" (Kieckhefer, 2004, p. 10)

arquitectura religiosa que se considerem tão básicos que possam servir de guias úteis na leitura de um qualquer espaço sagrado.

Tradição Católica			
Como é usada? ▪ Como é a forma? ▪ Como o projecto se relaciona com o fluxo e a dinâmica de adoração?	Configuração Geral do Espaço	Ponto Central de Atenção	Qual a reacção que pretende extrair? ▪ Qual é o foco Visual? ▪ Como se clarifica o ponto fulcral da devoção?
Quais são as qualidades estéticas vêm à tona? ▪ Como estas condicionam a experiência do sagrado dentro das paredes da igreja?	Impacto Imediato	Expressão e Simbologia	Como é sustentada a exposição a um edifício e como os seus marcadores conduzem a uma maior e mais rica compreensão?

Fig. 18 - Sistematização das questões abordadas ao longo dos subcapítulos correpondentes à leitura formal de um espaço religioso

Enquanto o arqueólogo e historiador alemão Friedrich Wilhelm Deichmann (1909 – 1993) se terá debruçado sobre as igrejas primitivas, no seu ensaio clássico no qual distingue o propósito (*Zweck*), o significado (*Bedeutung*) e a forma (*architektoniche Form*) como factores fulcrais num edifício religioso, Richard Kieckhefer propõe quatro formas de olhar para a mesma (Fig. 18), sendo que a dinâmica espacial e o centro do foco podem ser expressos enquanto a função ou propósito, a sua ressonância simbólica enquanto significado e o seu impacto estético como assimilação da forma, sendo estes explicados de seguida, conforme se explanará seguidamente. (Kieckhefer, 2004)

3.3.1 Dinâmica espacial

A metáfora da entrada num processo espiritual é expressa através da entrada no espaço religioso, num percurso de procissão e retorno, intimamente relacionada com a expressão formal da arquitectura sacra que segue largamente a concepção deste processo espiritual, promovendo o dinamismo. (Kieckhefer, 2004)

Um dos factores críticos da arquitectura sagrada é marcado pelo início da experiência espiritual: a jornada para a transformação. O autor cita, ainda, o autor britânico Thomas Barrie

na sua obra *Spiritual Path, Sacred Place* ao distinguir as várias tipologias de percursos encontrados em igrejas, templos, entre outros espaços sagrados. Desde o percurso axial – que leva progressivamente através de espaços cada vez mais sagrados, culminando na casa dos Deuses, à qual apenas os próprios ou sacerdotes têm acesso –, passando pelo percurso quebrado - caracterizando-se pelas suas rotas divergentes que se movem em direcção ao destino final –, pelo percurso radial – com caminhos de várias direcções que convergem num ponto central -, pelo percurso em rede – que se caracteriza por ter vários ou mesmo nenhum ponto central, sugerindo a presença de Deus em toda a parte, bem como em nenhum – ,pelo percurso circundante – que é definido em torno do espaço – até, por fim, ao percurso segmentado – que espelha as decisões ao longo da jornada. (Kieckhefer, 2004)

A evidência do dinamismo espacial prende-se ao exercício litúrgico a que é destinado o espaço, tendo em conta que o Deus da religião se considera enquanto presença absoluta e imutável, podendo ser relacionada em termos espaciais: "este Deus é transcendente e imanente no sentido de ser de alguma forma 'fora, acima ou em si'. Desenhar uma igreja com o foco para ver, ouvir ou aproximar é uma forma de representar a abordagem a este Deus da religião" [42] (Kieckhefer, 2004, p. 27) A compreensão da tipologia processional envolve o estabelecimento de relações que determinam a forma como o projecto se relaciona com o fluxo e com a dinâmica de adoração que se pretende. Para que se determinem estas relações é fulcral que se estabeleça o foco que se pretende revelar, evidenciando-se o dinamismo visual do espaço, fazendo-se valer do sentido de perspectiva e direcção, marcando o espaço processional que ditará o fluxo e refluxo dos percursos no espaço.

A abordagem conceptual à procissão é recorrente nos espaços religiosos católicos, contemplando percursos interiores e exteriores, nos quais a entrada do espaço se começa a fazer muito antes da porta que revela a entrada, através do átrio e do nártex, percorrendo a nave tendo um culminar no altar-mor. Outros marcadores secundários levam à evidência deste percurso com o qual o espaço é criado e delimitado, podendo-se evidenciar na arquitectura católica o ritmo de progressão, muitas vezes marcado através de colunas, pequenos nichos ou materialidades, bem como a questão da variação altimétrica no espaço, o que lhe confere o ascetismo simbólico, evidenciando o ponto focal, atribuindo-lhe um carácter mais dramático e expansivo. (Kieckhefer, 2004)

[42] "this God is transcendent and immanent in the sense of being somehow "out or up or in their" designing a church with a focus for seeing, hearing or approaching is a way of representing the approach to this god of religion" (Kieckhefer, 2004, p. 27)

3.3.2 Centro do foco

No subcapítulo anterior foi abordada a configuração geral do espaço religioso, no presente a abordagem recai sobre o objecto único dentro deste espaço, visto como o coração do edifício, a explicação da sua existência. Nem todos os edifícios apresentam este tipo de objecto ícone que lhe atribui significado, podendo este ser apresentado sob diversas formas- imagem, livro, relíquia ou mesmo pedras sagradas - aquando lhe faltam, o foco recai sobre o altar ou o altar-mor enquanto objecto central. (Kieckhefer, 2004)

Mircea Eliade fala-nos dos Centros sob uma perspectiva mais filosófica, simbólica e ontológica. Fundamenta que "o 'verdadeiro mundo' se encontra sempre no 'meio', no Centro, pois é ai que há rotura de nível, comunicação entre as três zonas cósmicas" (Eliade, 1957/1992, p. 27) relacionando-o com a ideia arcaica que a partir do Centro se projectam as quatro direcções cardeais, assumindo assim a multiplicidade, e mesmo a infinidade dos mesmos, não se tratando de um espaço geométrico mas de um espaço existencial e sagrado, de comunicações com o transcendente. De acordo com o autor:

> A experiência do sagrado torna possível a 'fundação do Mundo': lá onde o sagrado se manifesta no espaço, o real se revela, o Mundo vem à existência. Mas a irrupção do sagrado não somente projeta um ponto fixo no meio da fluidez amorfa do espaço profano, um "Centro", no "Caos"; produz também uma rotura de nível, quer dizer, abre a comunicação entre os níveis cósmicos (entre a Terra e o Céu) e possibilita a passagem, de ordem ontológica, de um modo de ser a outro. É uma tal rotura na heterogeneidade do espaço profano que cria o "Centro" por onde se pode comunicar com o transcendente, que, por conseguinte, funda o "Mundo", pois o Centro torna possível a orientado. (Eliade, 1957/1992, p. 36)

Uma das preocupações centrais da reforma litúrgica dos meados do século XX ter-se-á prendido à questão do revivalismo do sentido de centralidade no espaço religioso. A questão ultrapassa o que se apresenta como objecto de foco, e assim, abordando o cerne que define o espaço, como o centro da atenção neste, sinalizando-o e focando em si as funções que se pretendem do edifício. A configuração geral do espaço interior é um contributo para este sentido de centralidade, sendo a sua evidência apresentada das mais diversas formas, sendo transversal a concepção de que: "A sacralidade e a importância do altar deve ser marcada pela sua posição de destaque, a sua presença clara como o centro e o coração da igreja, isolado de outros móveis, elevado, acessível por todos os lados, excelente em proporções (...)"[43]. (Kieckhefer, 2004, p. 64)

[43] "The sacrality and significance of the altar should be marked by its prominent position, its clear presence as the center and the heart of the church, isolated from other furnishing, elevated, accessible on all sides, excellent in proportions" (Kieckhefer, 2004, p. 64)

A exploração da evidência do foco pode encontrar-se nas mais diversificadas expressões arquitectónicas, sendo que Richard Kieckhefer considera para tal fundamental a compreensão do mesmo por parte do arquitecto, a compreensão do significado do altar, não enquanto local de sacrifício sangrento, mas como evidência da não existência do mesmo: "Um altar Cristão, então, é o lugar onde o sacrifício se torna sacramento na partilha de uma refeição"[44]. (Kieckhefer, 2004, p. 75) Estas evidências podem expressar-se formalmente das mais diversas formas, considerando-se complexa a determinação e sistematização destas, sendo salientado pelo autor, os emolduramentos, quer pela luz, sombra, ritmo ou mesmo excepções patentes no desenho do edifício, fazendo com que quando um visitante entra no edifício pela primeira vez, lhe seja claramente apresentada a razão de ser do mesmo podendo, ou não, coincidir com o foco litúrgico e podendo-se assumir até vários pontos focais. (Kieckhefer, 2004)

3.3.3 Impacto estético

O carácter estético de um edifício religioso considera-se central ao seu objectivo, sendo considerado por alguns como "o único símbolo que nós humanos podemos conceber que ilumina o transcendente"[45] (Kieckhefer, 2004, p. 97). O impacto estético do edifício religioso prende-se à atmosfera que pretende extrair, uma atmosfera que conduz à devoção, dignidade e serenidade, condicionando assim a experiência que se vive ao habitar o espaço, fazendo-se esta valer da visão simbólica que atravessa muitas das vezes as paredes da igreja e envolve o que a rodeia, atribuindo a este tipo de arquitectura um impacto que se começa a fazer sentir ainda no exterior, numa antecipação e convite à entrada no espaço sagrado. (Kieckhefer, 2004)

Considera-se que a arquitectura sagrada não poderá servir directamente como sinal da transcendência divina, podendo, assim, alterar os modos da imanência divina. O autor considera que a "Transcendência é o que continua por manifestar quando todas as manifestações chegaram aos seus limites. Mas uma igreja pode ser entendida como um meio para a transcendência humana, ou para a transcendência da experiência comum e da consciência banal"[46]. (Kieckhefer, 2004, p. 102)

Caracteristicamente marcada pelo sentido de aspiração, mistério e intemporalidade, a arquitectura cristã faz-se valer destas, fomentando convenções que são assumidas enquanto guias formais passíveis de interpretações na leitura e concepção dos espaços dedicados ao

---

[44] "A Christian altar, then, is the place where sacrifice becomes sacrament in the sharing of a meal". (Kieckhefer, 2004, p. 75)
[45] "the only symbol we humans can devise that illuminates the transcendent". (Kieckhefer, 2004, p. 97)
[46] "Transcendence is what remains unmanifested when all manifestation has reached its limits. But a church can be meant as a means for human transcendence, or for the transcending of ordinary experience and ordinary consciousness". (Kieckhefer, 2004, p. 102)

Cristianismo. A altura, a luz e a acústica encontram-se no centro destas reflexões que moldam não apenas a experiência sensassorial e a forma como nos sentimos - a resposta emocional- como também a própria orientação da atenção.

A altura marca e enfatiza o espaço, numa analogia ao inalcançável, ao céu, podendo apenas imaginar e aspirar à mesma. Considerada por Richard Kieckhefer como "deliberadamente extravagante: o edifício não precisa de ser tão alto quanto é" [47] (Kieckhefer, 2004, p. 103), podendo ser dada a expressão, utilizando um vocabulário técnico e estético diferente, fazendo-se valer do ponto em que "A curva ascendente do humano, auto-transcendente e a curva decrescente da imanência divina se cruzam"[48] (Kieckhefer, 2004, p. 102) assegurando simbolicamente a presença divina através do impacto estético.

É transversalmente aceite que a composição do espaço sagrado viva da forma como a luz é trabalhada, evocando a atenção para si e para a presença do que lhe transcende. O jogo de sombras e luzes, e consequentemente reflexos, evidencia a experiência do sagrado, sendo compreendida não como condição natural mas como fenómeno mediado pela arquitectura. Fazendo-se valer destes contrastes para que seja mais facilmente compreendida, assumindo a semi-escuridão como efeito místico, enfatizando a transição entre forças opostas e criando uma atmosfera de energia espiritual. (Kieckhefer, 2004)

Outros factores são considerados na reflexão do impacto estético e da criação da ambiência que convida à oração contemplativa, fazendo-se evidenciar estas através de materialidades, destinando-se ao trabalho sobre a luz ou a intemporalidade que se distingue na acústica dos espaços religiosos, na utilização de ordens de repetição, cujo sentido nos direcciona ao infinito da criação da ordem divina. (Kieckhefer, 2004)

A estética do edifício religioso prende-se então à relação entre a simplicidade e a complexidade. Richard Kieckhefer assume que:

> Se o acento é colocado sobre este tema de entrar na presença de Deus, o edifício em si pode ser simples, como Deus é simples e como a contemplação é simples (...) algumas igrejas numa linguagem moderna são simples a esse grau, e a relação entre a simplicidade do divino e da complexidade e da ornamentação da arquitetura serve como comentário sobre a relação entre simplicidade e plenitude na religião, entre o um e os muitos, entre o santo e sagrado[49] (Kieckhefer, 2004, p. 101)

---

[47] "deliberately extravagant: the building need not be as high as it is" (Kieckhefer, 2004, p. 103)

[48] "The ascending curve of human self-transcendence and the descending curve of divine immanence intersect." (Kieckhefer, 2004, p. 102)

[49] "If the accent is placed on this theme of entering the presence of God, the building itself may be simple, as God is simple and as contemplation is simple (…) few churches in a modern idiom are simple to that degree, and the relationship between the simplicity of the divine and the complexity and ornamentation of the architecture serves as commentary on the relationship between simplicity and plenitude in religion, between the one and the many, between the holy and the sacred" (Kieckhefer, 2004, p. 101)

Considerando-se que, no entanto, a complexidade no interior é crucial na criação da sedução de que há algo mais além do que pode ser imediatamente visto, podendo a simplicidade evocar um ambiente simples e recolhido, e a complexidade na qual se funde um todo evocar uma resposta igualmente simples e pura.

3.3.4 Ressonância simbólica

As associações simbólicas ao espaço religioso evocam o sentido de sagrado, tal como as qualidades estéticas elevam o sentido de santo, sendo que, em ambos os casos, sagrado e santo são experienciados como inesgotáveis, de formas opostas: enquanto as qualidades estéticas se elevam na sua pura simplicidade e compreensão intuitiva, no sagrado a profundidade e riqueza da sua ressonância simbólica o reconhecimento é progressivo e contínuo. (Kieckhefer, 2004)

O interesse da correspondência simbólica entre o cristianismo e os símbolos considerados como património comum da humanidade foi, ao longo do tempo, moderado pela Igreja. Os símbolos, carregados de mensagens, mostravam o sagrado através dos ritmos cósmicos e, apesar de terem sido retirados da liturgia, o sagrado celeste permanece vivo por meio destes. Aos significados pré-cristãos foi adicionado um novo valor - ao invés de os destruir - sendo que um "símbolo religioso transmite a sua mensagem mesmo quando deixa de ser compreendido, conscientemente, em sua totalidade, pois um símbolo dirige-se ao ser humano integral, e não apenas à sua inteligência" (Eliade, 1957/1992, p. 65)

É fundamental a compreensão de que o pano de fundo do culto se encontra na memória, como em qualquer outra cultura, a cultura litúrgica assenta na capacidade de relacionar o que é visto e feito hoje com o que se guarda na memória de experiências do passado. Assim, assumem-se os símbolos enquanto apontamentos que remontam à memória, levando à reflexão: "O papel dos símbolos é estender associações além da experiência imediata e directamente lembrada de actos, lugares, pessoas e objectos, e, deste modo, dar à experiência presente uma ressonância mais profunda"[50]. (Kieckhefer, 2004, p. 136)

Quando considerada a arquitectura sagrada, as associações simbólicas consideram-se mais ilusórias no seu todo do que no que se possa encontrar dentro do espaço. Richard Kieckhefer afirma que:

> Como ponto de partida, pode ser útil dizer que a igreja é um lugar de conjunto em quatro sentidos - integrando o passado e o futuro com a presente experiência de

[50] "The role of symbols is to extend associations beyond immediate and directly remembered experience of acts, places, persons and objects, and thus give present experience deeper resonance" (Kieckhefer, 2004, p. 136)

> adorar a comunidade, relacionar a liturgia vivida dentro da igreja a uma liturgia idealizada como adoração celestial, ligar os vivos com os mortos, e trazer a igreja em particular em associação com outras igrejas, e pela intenção com a Igreja universal.[51] (Kieckhefer, 2004, p. 148)

Considera-se assim que o culto cristão é uma ritualização da memória, no qual o maior símbolo é o edifício em si, estando patente a preocupação de que se tenha vindo a perder o significado simbólico ao longo dos séculos. Parece, agora, artificial, desapegado da experiência arquitectónica imediata, as expressões simbólicas patentes nos edifícios religiosos aparecem enquanto abstrações, quase como uma ponte com o impacto estético destes, apesar de que, as decorações raramente aparecem de forma meramente decorativa, reflectindo na história os paradigmas intemporais da arquitectura religiosa. Porém, imagens e símbolos "podem tornar-se tão numerosos, tão abundantes, que há pouca esperança em identificar todos eles; fundem-se na totalidade, uma comunidade de imagens, percebida apenas como mundo de símbolos de identidades e significados que entram facilmente, mas conhecido apenas gradualmente e, talvez, nunca totalmente."[52] (Kieckhefer, 2004, p. 143)

Aparecem-nos assim as imagens, que ultrapassam a função decorativa e de foco de veneração, e se assumem como ferramentas educativas, actuando como memória que liga a liturgia do presente à rede de símbolos e narrativas na qual assenta, como testemunha da história que se assume como sabida. A dualidade patente nestes implica que cada símbolo possa significar tudo ou mesmo nada, dependendo da cultura e universo pessoal, da memória de cada utilizador. (Kieckhefer, 2004) Ainda assim, são várias as obras que se assumem como guias no estudo da simbologia e numerologia cristãs, indo muito para além dos símbolos que se aprendem segundo a tradição cultural – como é o caso das típicas cruzes cristãs, da orientação da arquitectura sacra, do conceito de divina trindade ou do quadrado e do triângulo.

---

[51] "As a point of departure it may be helpful to say that a church is a place of conjunction in four senses - integrating the past and the future with the present experience of worshiping community, relating the liturgy experienced within the church to an idealized liturgy imaged as celestial worship, connecting the living with the dead, and bringing the particular church into association with other churches, and by intention with the Church universal." (Kieckhefer, 2004, p. 148)

[52] "may become so numerous, so profuse, that there is little hope of identifying them all; they fuse into totality, a community of images, perceived only as symbolic world of identities and meanings entered into easily but known only gradually and perhaps never fully." (Kieckhefer, 2004, p. 143)

Capítulo IV

Proposta: *Chapel in a box*

4.1. Conceito: *Chapel in a box*

Hoje ambiciona-se uma arquitectura que contemple uma estratégia sustentável de fazer habitar este Mundo em constante mutação e adaptação, conferindo-lhe um carácter de consciência socioeconómica e ambiental, uma arquitectura que abrace a complexidade da existência contemporânea e se ajuste aos contornos da mesma.

Deparamo-nos então com o caso de estudo a abordar, a proposta de uma capela dedicada a Nossa Senhora do Cabo Espichel, uma imagem de cariz peregrino e itinerante, cujos cirios saloios fazem com que percorra 25 freguesias ao longo de 25 anos, sendo-lhe dedicadas festividades ao longo do mês de Setembro, nas quais se contemplam actividades quer de carácter religioso quanto cultural, celebrando um culto secular à imagem encontrada no Cabo Espichel. Nasce então a necessidade de conceber um espaço que lhe seja dedicado, também este de carácter móvel, adaptativo, dinâmico e itinerante.

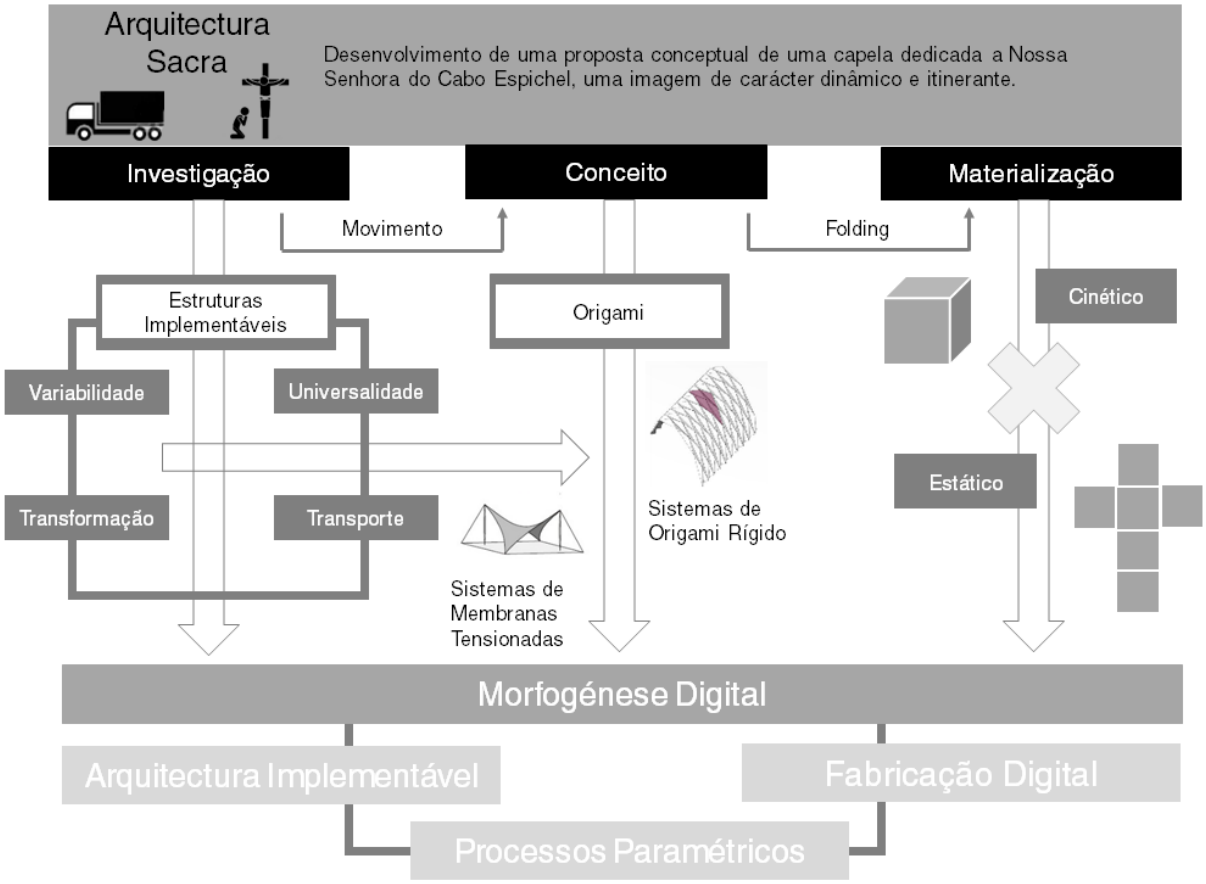


Fig. 19 - Interligação das temáticas e conceitos abordados ao longo da dissertação na aplicação à proposta

O programa para a capela da Nossa Senhora do Cabo Espichel exige assim que se confrontem duas realidades: por um lado, a questão da itinerância, factor assumidamente cinético, que implica a ponderação não só do que representa a arquitectura transportável e transformável; mas também, a questão da implantação, um modo estático que assume a

questão da apoderação de um espaço por um período de tempo reduzido, encontrando-se ali somente em prol de uma função que lhe é destacada efemeramente.

A confrontação do paradigma em movimento com a problemática do programa da capela a Nossa Senhora do Cabo Espichel direcciona a investigação no momento de elaboração de uma proposta, sugerindo de forma clara o desenvolvimento de uma estrutura implementável, na qual se contempla a transformabilidade, o transporte e a universalidade, através do qual se aborda o sistema de *Folding*, por excelência um sistema que transforma a bidimensionalidade em tridimensionalidade.

4.1.1. O Cubo como unidade primária

A transportabilidade surge como uma primeira questão formal, sendo que esta influenciará não só o momento do transporte mas também todas as possibilidades morfológicas e de implantação volumétrica da proposta. O dimensionamento terá sido ponderado com base nas possibilidades de transporte através de sistemas rodoviários, investigando-se assim as proporções permitidas na legislação portuguesa[53], sem que houvesse necessidade de recorrer ao transporte especial.

Uma vez consideradas as dimensões máximas e mínimas, a reflexão prende-se na volumetria que a configuração de transporte viria a assumir, recaindo a opção sobre o cubo - 2.6 x 2.6 x 2.6 m. Simbolicamente, o cubo assume-se como expressão do mundo material, como unidade primária, a génese da forma.

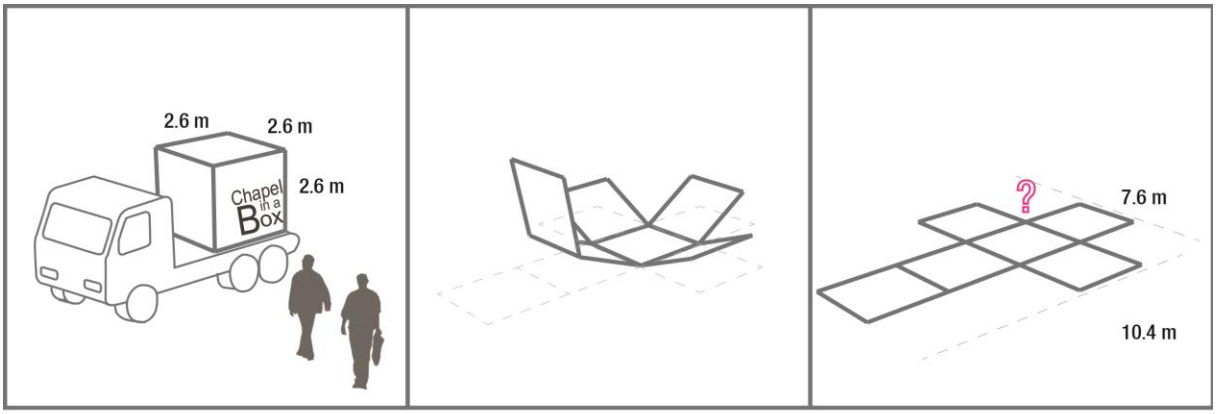


Fig. 20 - Diagrama esquemático da sequência de alterações entre a configuração transportável e implementada da proposta

Geometricamente, o cubo é constituído por seis – número que representa a força supra-humana – faces quadrangulares. O quadrado por si, a par do círculo, consiste numa das duas figuras geométricas que descrevem o início da criação, mostrando a Unidade absoluta no seu poder de multiplicidade e diversidade, “como um símbolo perfeito para Deus,

[53] De acordo com a Portaria n.º 387/99 de 26 de Maio

divide-se a partir de dentro de si, criando assim Dois: o 'próprio' e o 'eu' de Deus, por assim dizer: a unidade do criador e a multiplicidade criada"[54]. (Lawlor, 1982, p. 23)

Na sua forma rebatida, que determinará a implantação da capela, o cubo perfaz uma cruz latina, parte vertical mais longa e horizontal mais curta, representando a crucificação de Cristo, tendo-se tornado o símbolo de luz, de reencarnação e do Catolicismo, podendo ser interpretado simbolicamente como "o cruzamento de homem e mulher que dá à luz um ser individual (...) ou o cruzamento de matéria e espírito que dá à luz a vida em si."[55] (Lawlor, 1982, p. 24)

4.1.2 O *Folding* enquanto processo de morfogénese

O *folding* emerge como discurso arquitectónico, aspirando a tornar-se uma nova arquitectura, no final do século XX. Numa perspectiva de genealogia concisa, a arquitecta Sophia Vyzoviti considera que a sua génese terá sido marcada através da obra *Folding in Architecture*, editada pelo arquitecto americano Greg Lynn (n. 1964), contemplado, entre muitos outros, ensaios do filósofo francês Gilles Deleuze (1925 – 1995) - que terá dado o mote da filosofia do *folding* através da sua obra *Le Pli, Leibniz et le Baroque*, em 1993 - do arquitecto americano Peter Eisenman (n. 1932) e do arquitecto canadiano Frank Ghery (n. 1929), considerando-se o primeiro manifesto neste campo. (Vyzoviti, 2004)

A grandiosidade do *folding* prende-se com a sua capacidade de tornar tridimensional uma superfície plana, uma técnica poderosa, não apenas na geração de forma mas também na criação de estrutura através da geometria. Na arquitectura, o *folding* considera-se um conceito teórico, uma estratégia formal e, de forma literal, uma operação do material, numa manifestação coesa e continua de condições espaciais, culturais, sociais, programáticas e contextuais, dentro de uma mesma linguagem. (Iwamoto, 2009)

Os traços introduzidos por Gilles Deleuze terão estimulado o pensamento de uma geração de arquitectos que, consequentemente, terão levado o *folding* a assumir uma substância arquitectónica, manifestando propriedades tectónicas que podem ser compreendidas como conhecimento do *design*. Os atributos do novo objeto arquitetónico emergente na redefinição da prática focam termos como extensão (o objecto como uma série infinita, a variabilidade de série), multiplicidade (o objecto como um plexo de elementos, o potencial de interactividade), curvinialidade (inflexão, obliquidade, superfícies de deformação e geometrias não euclidianas), estratificação (camadas e interface entre factores arquitetónicos contraditórios), continuidade (propriedades topológicas de superfícies e

[54] "as a perfect symbol for God, divides itself from within itself, thus creating Two: the 'self' and the 'me' of God, so to speak: the creator unity and the created multiplicity." (Lawlor, 1982, p. 23)
[55] "the crossing of male and female which gives birth to an individual being, (…) or the crossing of matter and spirit which gives birth to life itself." (Lawlor, 1982, p. 24)

princípios organizacionais) e fluidez (entrelaçamento de limites, demarcações vagas e zonas de probabilidade). (Vyzoviti, 2004)

Nos últimos anos são muitos os arquitectos que têm abraçado este campo emergente do *folding*, aplicando técnicas e, progressivamente, projectando espaços e formas através da continuidade. Os críticos argumentam, no entanto, que " a mera fisicalização do *fold* não pode de forma alguma aproximar-se da complexidade embutida no conceito; o *fold*, como todas as outras construções teóricas e conceptuais, excedem necessariamente o domínio formal da arquitectura."[56] (Iwamoto, 2009, p. 62)

A evolução digital e o aparecimento dos CAM terão levado ao desenvolvimento de *softwares* que permitem e simplificam a tradução tridimensional a bidimensional. Com a fabricação digital o *folding* assume uma nova dimensão, estendendo-se a uma variedade de métodos de fabricação que se distinguem entre lógicas de superfícies rígidas - nas quais se encontram as placas dobradas ou os volumes envoltos vincados (Iwamoto, 2009) - ou de superfícies flexíveis – como é o caso das membranas tensionadas ou das superfícies insufláveis – podendo, ou não apresentar-se com sistemas estruturais complementares.

Embora as tecnologias de fabricação digital e de projecto tenham evoluído significativamente ao longo das últimas décadas, o trabalho sobre superfícies curvas acentuadas enfrenta ainda desafios, em especial nas superfícies não planificáveis[57], o que evidencia as restrições que ainda se fazem sentir ao nível de projecto tanto na geometria complexa do objecto arquitectónico quanto nos processos de fabricação dos mesmos. A correspondência entre o espaço euclidiano e o espaço paramétrico promove uma integração entre os espaços bidimensionais e tridimensionais, de forma a oferecer ao utilizador um maior controlo sobre as distorções e, assim, conferir e optimizar os resultados de forma a obter uma opção o mais viável possível. (Cardoso, 2009)

Programas de modelação têm já incorporados comandos dedicados ao desenrolar de superfícies curvas isoladas, que se dedicam a transformar superfícies de formas livres numa colecção de peças planificadas, levando em consideração espessuras de materiais e oferecendo mesmo, muitas das vezes, opções para as juntas e rótulos que complementam a técnicas como laser cut, CNC e 3D print e permitem a materialização destas geometrias complexas. A gama de *softwares* disponíveis é considerada um indicador importante de como o *folding* se terá tornado uma técnica essencial à arquitectura. (Iwamoto, 2009)

---

[56] "mere physicalization of the fold can in no way approach the complexities embedded in the concept; the fold, like all other theoretical and conceptual constructs, necessarily exceeds the formal domain of architecture." (Iwamoto, 2009, p. 62)

[57] Uma superfície que não desdobra num único plano contínuo sem sofrer distorções ou rupturas (Cardoso, 2009)

A técnica de *folding*, no seu sentido literal, não se aplica, assim, a todo o tipo de superfícies, demonstrando variados e complexos obstáculos na sua realização física, sendo crucial o desenvolvimento do projecto tendo em mente todas as ponderações, conceptuais e materiais. Como foi demonstrado anteriormente no capítulo anterior, são várias hipóteses oferecidas no campo da materialização de um objecto digitalmente concebido, cabendo ao arquitecto determinar o processo que mais se adequa ao seu projecto.

Enquadra-se o *folding* enquanto processo de morfogénese no desenvolvimento de uma capela, sendo facilmente relacionado o tema, uma vez mais, com a simbologia Cristã, retendo-se a Unidade como generativa que se transforma no múltiplo, não como muitas partes, mas como dobrado de muitas formas. Esta multiplicidade envolve uma peculiar forma de complexidade, a complexidade na divergência, "Onde não é uma questão de encontrar a unidade de um múltiplo, mas, pelo contrário, de ver a unidade como um segurar de uma dispersão virtual prévia. Este tipo de complexidade não consiste no que é dito de muitas maneiras, mas sim no facto de que cada coisa pode sempre divergir noutras (...)"[58] (Rajchman, 2004, p. 77)

Encontra-se no princípio da Unidade do *folding*, que se subdivide multiplicando-se, a base do que se pretende num espaço sagrado, uma representação simbólica do Deus Criador, do infinito presente no Unitário, encerrando em si o Mundo, e do poder da transformação. O *origami* assume-se como o princípio geométrico da investigação e materialização do conceito de *folding*, que vai, como se pode ler, muito além da capacidade das técnicas arquitectónicas, sendo considerada uma abordagem ao conceito, e não a materialização de uma teoria.

4.1.2.1 Princípios da geometria dos *folds*

O interesse no *Origami*, e consequentemente a sua adopção pelo campo da arquitectura, prende-se ao seu potencial de geração de estruturas transformáveis e estruturalmente eficientes que contemplam tanto a flexibilidade quanto a rigidez. A relação entre materialidade, geometria e estrutura, concretizadas através dos padrões de dobras (*crease patterns*), dá assim origem à primeira parte da investigação no campo da identificação de alguns padrões de *folding* (Anexo III) que detêm o potencial de ser transpostos para o campo da arquitectura transformável, vendo a presente dissertação incidir o seu foco sobre a deformação do padrão de Yoshimura.

[58] "Where it is not a matter of finding the Unity of a manifold but, on the contrary, of seeing Unity as a holding-together of a prior virtual dispersion. This sort of complexity does not consist in the One that said in many ways, but rather in the fact that each thing may always diverge onto others (…) (Rajchman, 2004, p. 77)

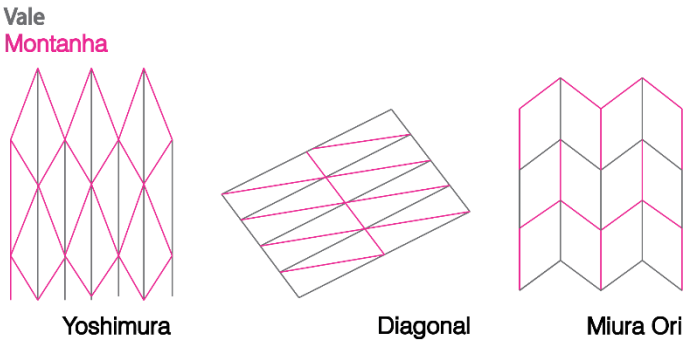


Fig. 21 - Comparação de três padrões de origami - Yoshimura, Diagonal e Miura Ori

Assumindo-se e identificando-se três padrões de particular interesse na criação arquitectónica e aplicação estrutural (Padrão Diagonal, Miura Ori e Yoshimura), a análise levada a cabo orienta-nos na compreensão de que todos encontram a "base numa combinação de simples dobra de acordeão e dobra reversa: uma série de dobras em linha recta em vale e montanha são dobradas pela dobra reversa para formar superfícies curvas simples"[59] (Buri & Weinand, 2008, s.d.). Através da técnica de dobra paralela, efectuam-se dobras ao longo da superfície gerando uma alternância entre linhas de vale e montanha, enquanto a técnica de dobra reversa (*reverse folding*) altera a direcção primária do *folding.* Como se poderá observar na figura 22, após se efectuar uma dobra em torno da diagonal (d), a dobra em montanha transforma-se numa dobra em vale (b), encontrando-se todas as linhas de dobra no ponto de inflexão K, compreendendo-se que a posição da diagonal (d) afecta a alteração da direcção do *folding*. O padrão depende assim, por um lado, do ângulo de flexão (Φ) e da abertura da dobra principal (δ) e do angulo (α), percebendo-se que quando mais agudo o ângulo α, maior o Φ. (Buri & Weinand, 2008)

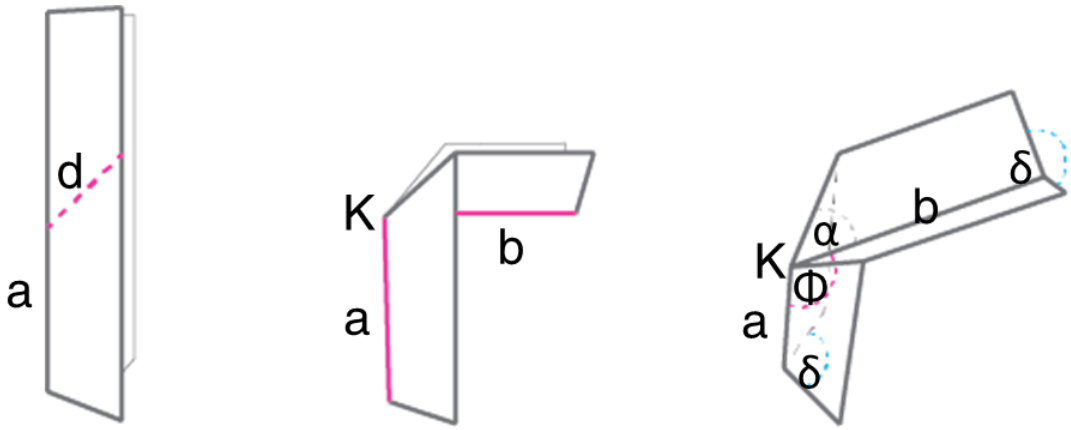


Fig. 22 - Diagrama da geometria subjacente à técnica de dobra reversa (reverse fold)

Consideradas como a expressão mais básica da geometria do *folding*, as corrugações paralelas em vale a montanha (Fig. 23 e 24) podem ser descritas como uma extrusão em *zigue-zague* da linha de perfil através de uma linha perpendicular, esta actua no plano YZ e é

[59] "based on a combination of simple accordion folding and reverse fold: a series of straight valley and montain folds are bent by the reverse folds to form simple curved surfaces" (Buri & Weinand, 2008, p. s.d.)

caracterizada pela extensão e pela amplitude dos segmentos que a compõem. A extensão considera-se como o parâmetro principal que caracteriza as dobras paralelas, definindo a direcção e magnitude das mesmas quando montadas, sendo que a magnitude é a variante entre o estado fechado ou completamente aberto.

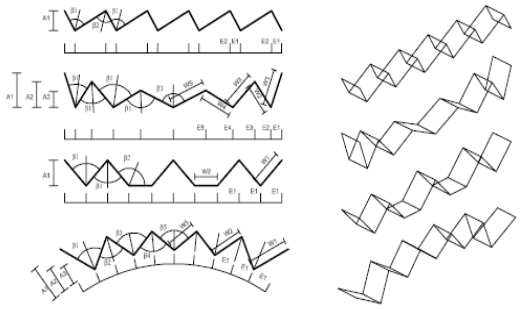


Fig. 23 - Perfis típicos de corrugações paralelas

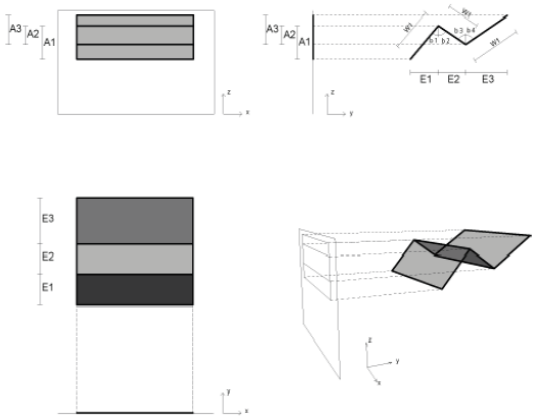


Fig. 24 - Diagrama de extrusão de uma linha em zigue-zague para uma corrugação paralela

Seguindo as premissas de que os padrões de *origami* são, por si só, uma transformação de uma superfície matematicamente considerada como bidimensional para o campo tridimensional, oferecendo estabilidade estrutural, podendo tanto ser combinados entre si quanto alterados de forma a atingir a variabilidade que se aspira, assume-se a investigação sob uma perspectiva de exploração e experimentação, aspirando o desenvolvimento de um padrão passível de ser deformado que permita a variabilidade tanto do volume ao qual será aplicado quanto á destruição da simetria presente na padronização.

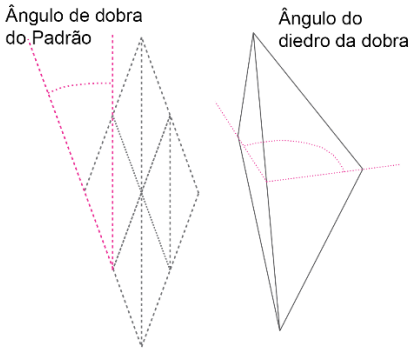


Fig. 25 - Diagrama de ângulos do padrão de Yoshimura

Particularmente no caso do padrão de Yoshimura, descoberto durante uma investigação sobre padrões de flambagem de cilindros de paredes finas pelo cientista Y. Yoshimura, que terá despoletado e inspirado a sua aplicação a um sem número de áreas do *design*. (Buri & Weinand, 2008), definido por um arco, o que o torna apropriado à criação de elementos de abrigo, caracterizando-se como estruturalmente eficiente, auto portante e, na minha opinião, esteticamente agradável, pode ser obtido através do espelhamento da dobra revertida no seu ponto de inflexão (K) e num dos pontos base das suas dobras laterais do diamante para uma das dobras laterais, sendo a linha formada por este na forma de diamante,

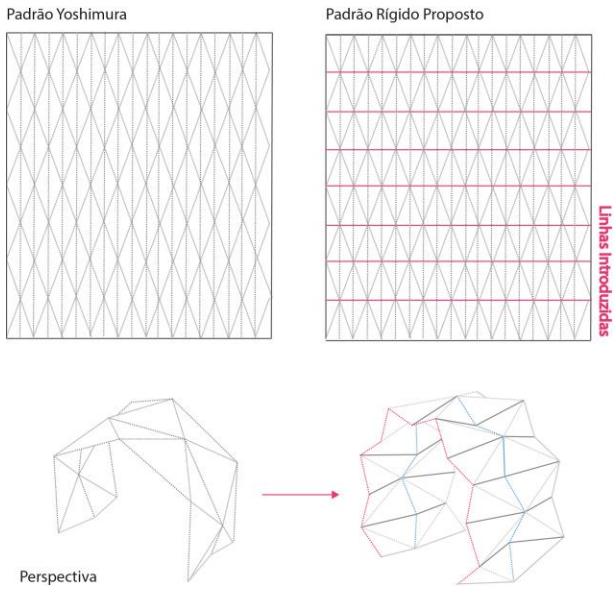


Fig. 26 - Comparação entre o padrão de Yoshimura e o padrão rígido proposto

podendo também perceber-se que quanto mais agudo o ângulo α entre a diagonal do diamante e a sua aresta, mais plano a flexão do padrão. (Buri & Weinand, 2008)

O padrão oferece assim um grau de simplicidade que permite a sua transformação não só para a escala da arquitectura, sendo passível de sofrer alterações que visam a sua variabilidade, como também o seu trabalho a nível paramétrico. Definido maioritariamente por dois parâmetros – o ângulo de dobras do padrão e o ângulo da dobra do diedro (Fig. 25)- que permitem a variação ao longo da forma no qual são aplicados a fim de criar geometrias variadas dentro da mesma. Podendo traduzir-se em duas linhas que definem a sua estrutura, uma linha poligonal que permite a definição da secção geral, o dobramento em acordeão que segue esta linha, e uma segunda linha que cria as corrugações do dobramento em acordeão, definida pela amplitude e extensão das dobras paralelas.

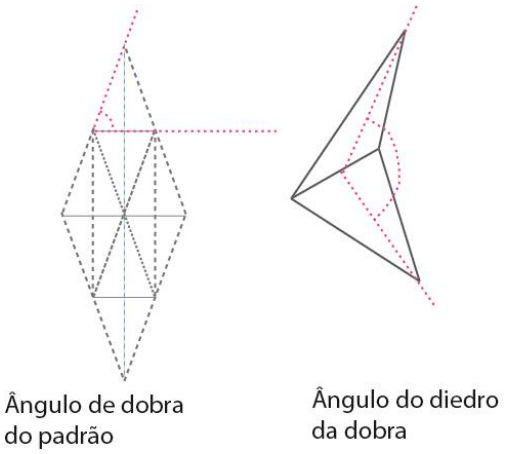


Fig. 27 - Diagrama de ângulos do padrão rígido proposto

Compreendendo-se o vasto trabalho teórico e prático já existente dedicado aos padrões de *folding* e à sua aplicação ao campo da arquitectura, admite-se na presente dissertação a vontade de explorar um caminho diferente, no sentido de deformar e modificar as bases geométricas de um padrão já existente. Apesar de não ser directamente utilizado na exploração levada a cabo na presente dissertação, o padrão de Yoshimura fornece-nos bases geométricos para o desenvolvimento de um padrão que se assuma como método generativo da proposta através do design paramétrico. Ao padrão geométrico de Yoshimura serão então numa primeira instância acrescentadas linhas de dobra perpendiculares às já existentes, explorando-se também a deformação das relações geométricas com que se faz compor (Fig, 26), e, numa última instância que será abordada e demonstrada à frente, retiradas todas as linhas de dobra perpendiculares.

4.2 Um espaço de f*oldings*: Uma abordagem em ambiente digital

A abordagem à proposta, tendo em vista tanto as exigências da transformabilidade quanto as da complexidade imposta pelo *folding*, será feita através das tecnologias de *design paramétrico*. Tal como foi anteriormente explicado, os *softwares* dedicados ao design paramétrico articulam a modelação através de dependências paramétricas, geométricas ou puramente algorítmicas, que possibilitam as alterações directas sobre toda a modelação no decorrer do processo, abrindo as portas a uma exploração formal mais diversificada e dinâmica.

Na presente dissertação opta-se pelo *software* de modelação tridimensional *Rhinoceros*, desenvolvido pela *Robert McNeel & Associates* para o sistema operacional Windows. Dispondo de uma vasta gama de conversões, o que permite preencher lacunas entre as extensões de *softwares* de modelação, o *Rhinoceros* possui também uma grande variedade de *plug-ins* e consequentemente *add-ons* que abrem portas a um universo de possibilidades que satisfazem as necessidades de cada utilizador.

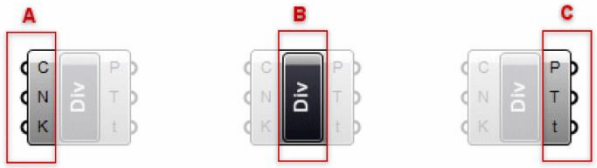


Fig. 28 - Análise de um Componente no software Grasshopper 3D

No sentido de desenvolver as definições paramétricas (*scripts*), na dissertação que se apresenta, a opção recai sobre o *plug-in Grasshopper*, desenvolvido por David Rutten na *Robert McNeel & Associates,* consistindo este numa linguagem de programação visual, no qual a interface se realiza através de uma tela para onde se arrastam os comandos (Fig. 26), baseando-se estes no ciclo *input* (A)– comando –*component* - (B) – *output (C)*, podendo estes variar entre componentes geométricas, algorítmicos, audiovisuais, textuais e mesmo tácteis, abrindo portas á exploração algorítmica sem que para tal se exija a aprendizagem de linguagem script, apesar desta se mostrar uma ferramenta poderosa e conveniente. (Payne & Issa, 2009)

4.2.1 Contexto – Parametrização do cubo

Dado o seu cariz transformável e implementável, a determinação da configuração que encerra em si a totalidade da proposta é da maior importância para a mesma. Como referido anteriormente, ter-se-á adoptado o cubo enquanto configuração transportável, transformando-se este numa cruz latina quando rebatido, consistindo na própria implantação da proposta.

A definição paramétrica assume três etapas fundamentais no desenvolvimento de um cubo paramétrico. A primeira destas etapas (1.1) prende-se na determinação da planificação do cubo, na qual é criado a figura base e a posição relativa dos quadrados com que se faz

compor em relação à mesma. Na segunda etapa (1.2) a planificação do objecto assume o carácter tridimensional determinado pela rotação das suas faces. A última etapa (1.3) é dedicada à criação da moldura do cubo, definindo-se a sua configuração, espessura e largura.

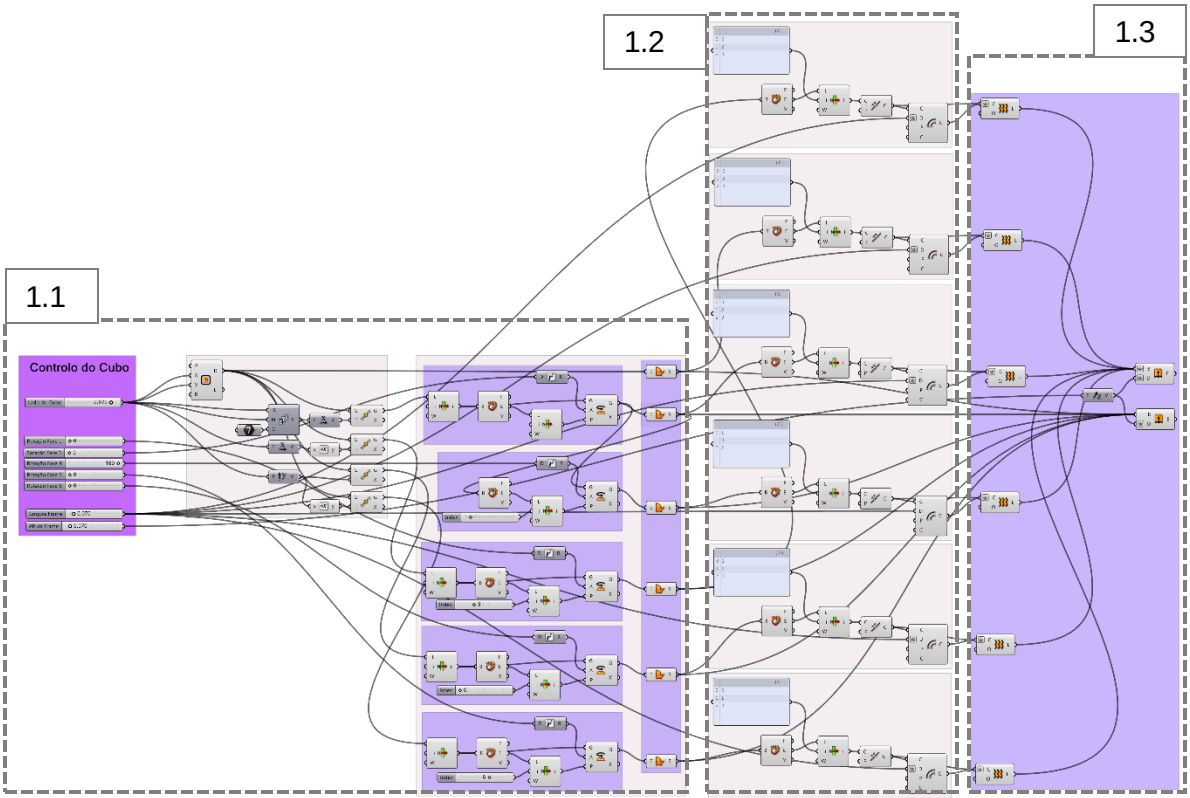


Fig. 29 - Definição paramétrica do Cubo

Assim, a primeira componente a ser definida parametricamente será o rectângulo base, através do comando *Rectangle*, determinando-se a dimensão das arestas no eixo X e Y controladas através de um S*lider*. A partir deste primeiro rectângulo base far-se-ão cópias do mesmo em ambos os eixos, através do comando *Move*.

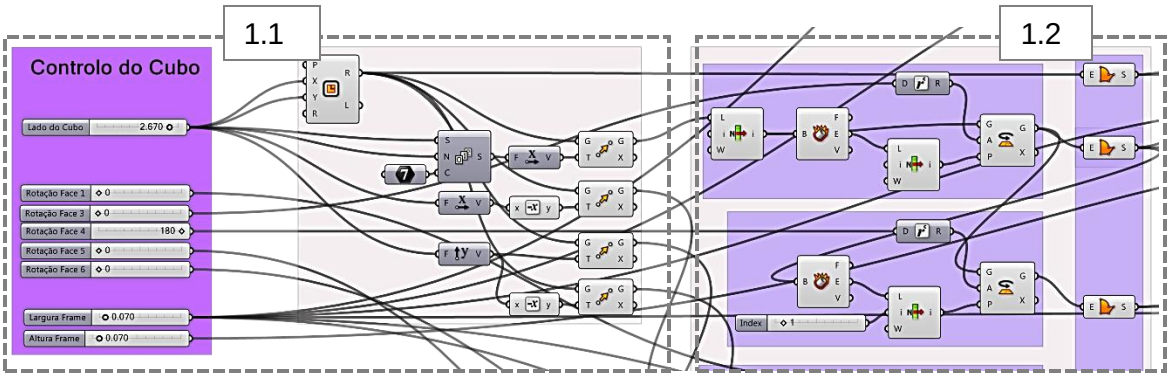


Fig. 30 - Secção da definição paramétrica correspondente á determinação do cubo (1.1) e da sua rotação (1.2)

Uma vez estabelecida a planificação do cubo, chega a hora de fazer com que este se transforme num objecto tridimensional. Para tal, assume-se cada uma das faces do mesmo,

procedendo-se a uma explosão, através do comando *Deconstruct Brep* para que o programa nos contemple com todos os elementos pelos quais é composto: faces, arestas e vértices. Para cada uma das faces é escolhida a aresta que se tornará o eixo de rebatimento da geometria através de um *List Item*, que nos permite seleccionar cada um dos componentes individualmente. Encontramo-nos então na posse de todos os elementos necessários para perfazer o comando *Rotate,* no qual se assume a geometria base- face- e se faz uma rotação do mesmo em torno da sua aresta previamente determinada, que passa a desempenhar o papel de eixo de rotação. O controlo desta rotação é feito através de um *Slider* cujo alcance varia entre 0 e 90, havendo a necessidade de transformar os valores numéricos em graus, utilizando-se o *Radians*, uma vez que o *Grasshopper* assume somente radianos.

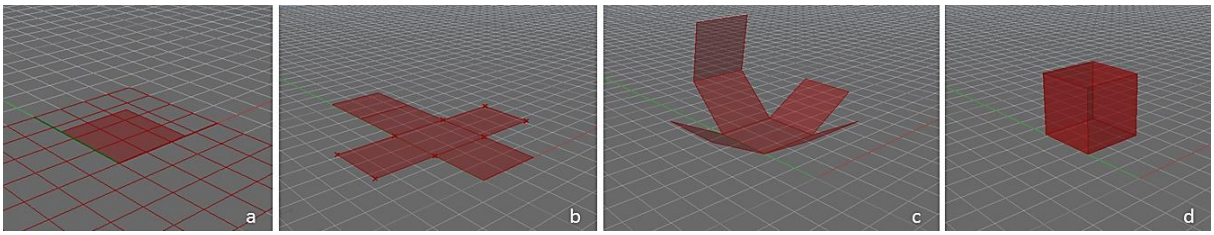


Fig. 31 - Fases de desenvolvimento da abordagem paramétrica do cubo: a) rectângulo base; b) cubo planificado; c) cubo em transformação; d) cubo encerrado

De seguida, já tendo em mente o sistema construtivo que se irá utilizar no desenvolvimento do projecto, que se prende à utilização de perfis metálicos de aço galvanizado em U (40x70mm) sendo nestes encaixadas lajes metálicas de chapa de aço galvanizadas (2570x2570x50mm), procede-se à determinação da moldura das faces, sendo que para tal, recorre-se uma vez mais à combinação dos comandos *Deconstruct Brep* e *List Item*, desta vez para seleccionar não um elemento individual, mas três das quatro arestas que o delimitam. Estas arestas são então ligadas entre si através do comando *Join Curves*, de forma a criar uma linha contínua que possibilite a criação de paralelas sem que se comprometa a integridade geométrica da mesma. Cria-se, assim, a paralela a estas linhas de limite, sendo que para tal se opera o comando *Offset*, determinando-se a distância através de

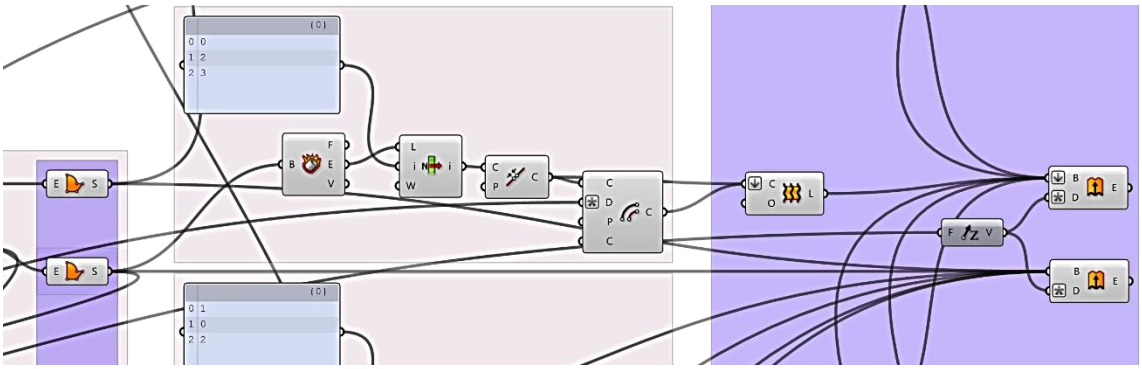


Fig. 32 - Secção da definição paramétrica da moldura e pavimento do cubo (1.3)

um *Slider*, tendo o cuidado de introduzir a expressão *-x* no *input Distance*, de forma a que as paralelas sejam desenhadas no interior da face.

O último processo recai na introdução de espessura, sendo que para isso, a partir da linha de limite e da linha paralela a esta se cria uma superfície, através do comando *Loft*, tendo o cuidado de fazer *Flattern* no *input Curves*, uma vez que ambas necessitam de estar na mesma lista para que se façam corresponder. A partir desta superfície criada faz-se uma extrusão da mesma, utilizando o comando *Extrude*, tendo mais uma vez o cuidado de colocar todos os elementos *Base* na mesma lista. A direcção da mesma é definida através da colocação de um eixo, no caso presente em Z, estando este ligado a um *Slider* que controla a dimensão, sendo novamente necessária a introdução da expressão *–x* no *input Direction*, uma vez que se pretende que a extrusão seja feita no sentido negativo do eixo.

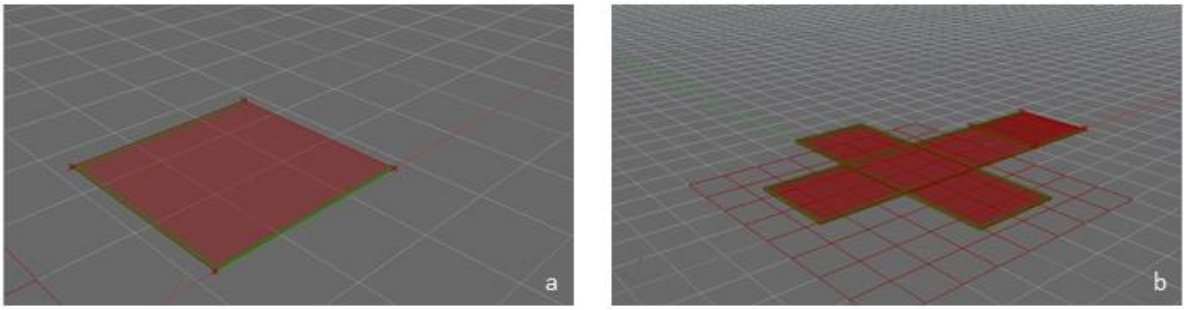


Fig. 33 - Moldura e Pavimento do Cubo: a) aplicação a uma das faces; b) aplicação na totalidade do conjunto

4.2.2 Abordagem ao *folding* rígido

4.2.2.1 Parametrização do padrão rígido

Dado o contexto no qual se insere estar já parametricamente definido, aborda-se nesta segunda fase a definição paramétrica do padrão a ser estudado. Destacam-se três processos elementares na elaboração da abordagem paramétrica ao padrão rígido. O primeiro destes processos (2.1) foca-se na determinação da superfície tubular à qual se fará corresponder o padrão, integrando-se neste a criação de pontos que geram as curvas de controlo a partir das quais será formada a superfície. O segundo processo (2.2) corresponde ao desenvolvimento do padrão, sendo o primeiro passo a criação de uma superfície paralela à original, sendo que nestas serão determinadas as linhas de dobra paralelas, seguidos dos pontos de inflexão contidos nas mesmas, determinando-se seguidamente os pontos a serem utilizados. O último dos processos (2.3) debate-se na determinação e na relação geométrica das linhas de dobras que compõem o padrão, seguindo-se da criação das placas rígidas por que é composto, sendo importante realçar que estas se apresentam, no âmbito da definição paramétrica, com espessura 0.

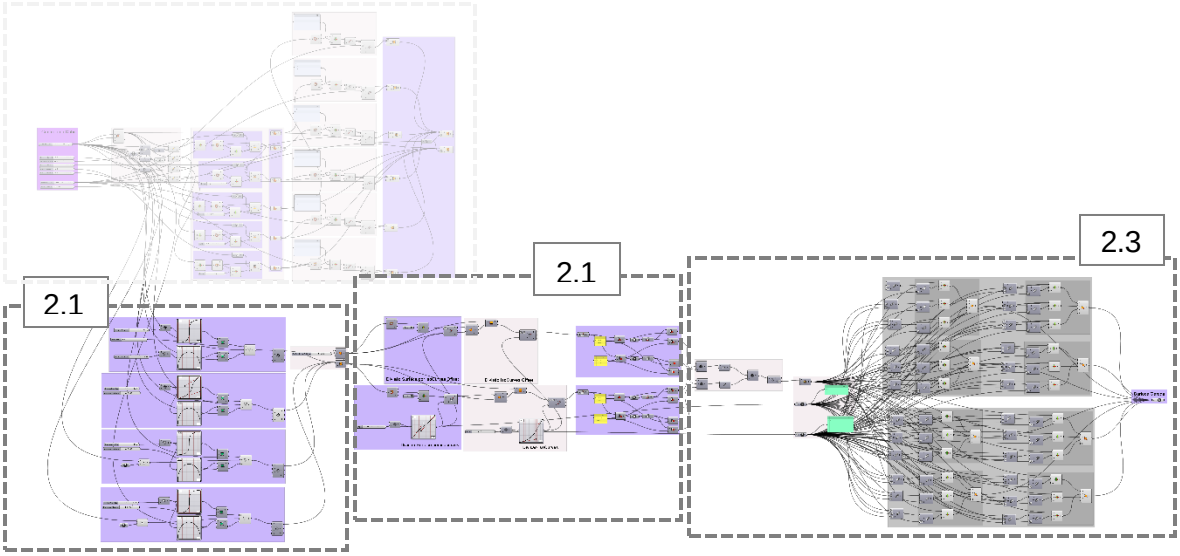


Fig. 34 - Definição paramétrica do padrão rígido

Como terá sido anteriormente explicitado, o padrão de Yoshimura responde à forma tubular, sendo que para tal, o primeiro passo na abordagem paramétrica ao padrão criado a partir das bases do mesmo será o desenvolvimento de curvas de controlo que ofereçam a possibilidade futura de uma manipulação visual do volume que integrará a proposta. Apesar de numa primeira instância se presumir que a criação das curvas de controlo do volume poderiam ser desenvolvidas em ambiente *Rhinoceros*, o que nos facilitaria em termos de manipulação das mesmas, é importante ter em conta que as mesmas serão determinantes no processo de encerramento da estrutura, sendo através das suas coordenadas no eixo Y que se procederá ao controlo deste movimento.

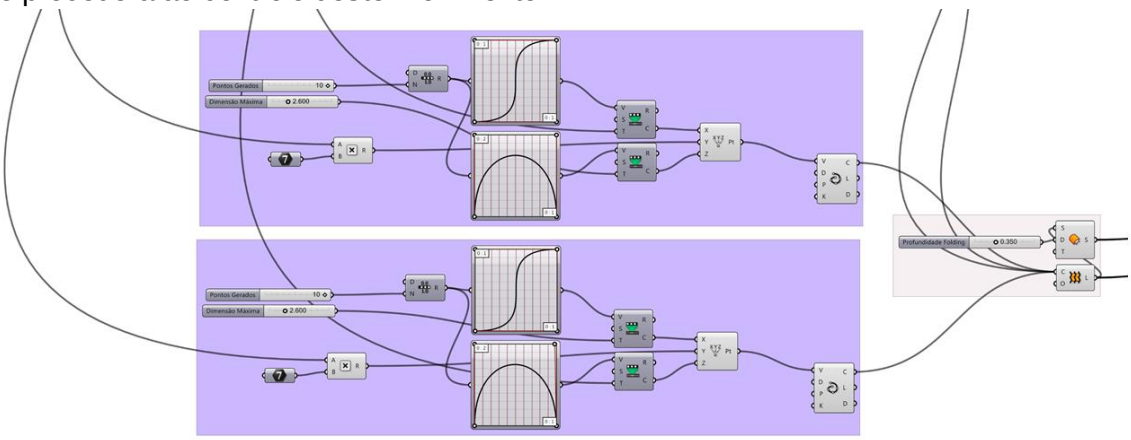


Fig. 35 – Secção da definição paramétrica da superfície tubular (2.1)

Numa primeira instância desenvolve-se um conjunto de pontos alinhados segundo o eixo X, sendo estes determinados através do cálculo de um conjunto de números introduzidos, utilizando para tal um *Graph Mapper*, uma representação visual de diferentes gráficos

matemáticos que nos permite o cálculo complexo, recorrendo-se posteriormente ao remapeamento, com o *Remap Numbers*, dos valores- input value - através das dimensões estabelecidas – *input target*. A materialização dos pontos faz-se através do comando *Construct Point*, no qual são introduzidos os valores correspondentes a X e Z, obtidos através dos gráficos, e do eixo Y, que condiciona o afastamento entre os alinhamentos de pontos mapeados. Determinados os pontos, é criada uma linha interpolada controlada pelos mesmos enquanto vértices, assumindo-se que a mesma se caracteriza por ser uma curva aberta, controlada pelo *input Periodic* falso bem como pelo *input KnotStyle*, que significa que, quando se desenha uma curva interpolada, os pontos escolhidos estão convertidos em valores de nó na curva, assim determina-se através de *Sqrt Chord Spacing*, que o mesmo corresponda à raiz quadrada do espaçamento entre pontos, garantindo assim uma linha mais suave.

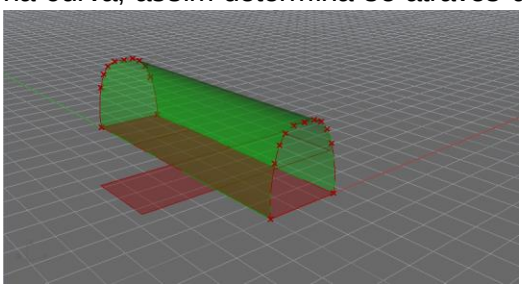


Fig. 36 - Superficie tubular formada através do Loft das curvas interpoladas

A geração de vários conjuntos de pontos que geram entre si curvas interpoladas origina a possibilidade de criar através delas uma superfície que corresponderá ao volume geométrico base, utilizando-se para tal o comando *Loft*.

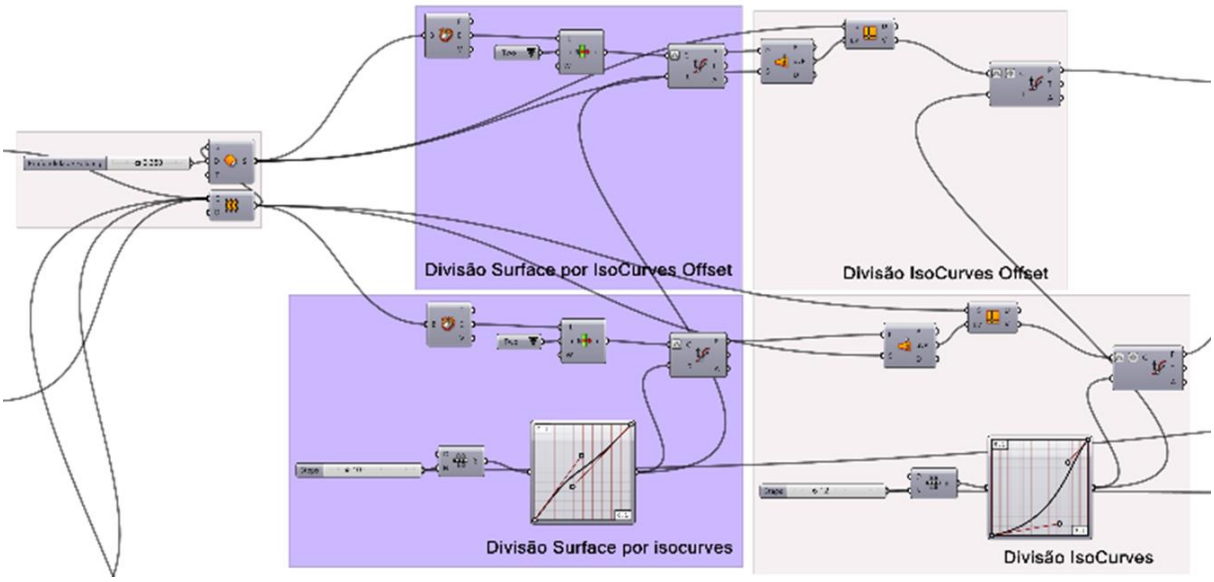


Fig. 37 - Secção da definição paramétrica das divisões da superfície que actuam como bases geométricas do padrão

Posto isto, entra-se então na dimensão do desenvolvimento paramétrico do padrão, nascendo a necessidade de definir a distância entre a superfície original e a paralela. Assim é criada uma paralela da superfície originalmente construída através do *Loft* das curvas interpoladas, recorrendo-se ao comando *Offset*, considerando-se a distância entre as mesmas como a profundidade do *folding* controlada por um *Slider*.

Para que se possam definir as dobras paralelas (*paralel folds*), do padrão é necessário encontrar os limites da mesma, procedendo-se, tal como em casos anteriores, à explosão da superfície, que nos presenteia com vértices, arestas e superfícies pela qual é composta, seleccionando-se um dos limites no eixo Y, perpendiculares às curvas interpolares primárias, surgindo a necessidade de reparametrizar – *Reparameterize* - a mesma de forma ao seu valor estar entre o 0-1 e assim se possa proceder a uma avaliação através de um parâmetro especificado. No caso presente pretende-se a determinação de um número específico de pontos nela contidos, sendo a sua posição ao longo desta controlada uma vez mais por um *Graph Mapper*, procedendo-se à confirmação da pertença dos pontos encontrados na superfície a ser tratada através do comando *Surface Closest Point*, posteriormente usando o mesmo enquanto domínio em *UV* no comando *IsoCurves*, no qual se determinam linhas perpendiculares à aresta determinada, contidas na superfície primária. O mesmo processo é utilizado na avaliação da superfície paralela, sendo importante frisar que o *Graph Mapper* utilizado deverá ser o mesmo, garantindo assim a linearidade dos pontos em ambas as superfícies.

As curvas encontradas no processo anteriormente explicado tomam-se como *input* para uma nova avaliação, executando-se o mesmo processo, através do comando *Evaluate Curve,* tendo mais uma vez o cuidado de as reparametrizar bem como de as colocar na mesma lista base, através do comando *Flattern*, já utilizado. O procedimento da avaliação da curva recorre uma vez mais ao *Graph Mapper* de forma a garantir uma manipulação visualmente facilitada, sendo então encontrados os pontos a partir dos quais vai ser desenvolvido o *folding*. Utiliza-se mais uma vez o mesmo processo de avaliação para a superfície paralela.

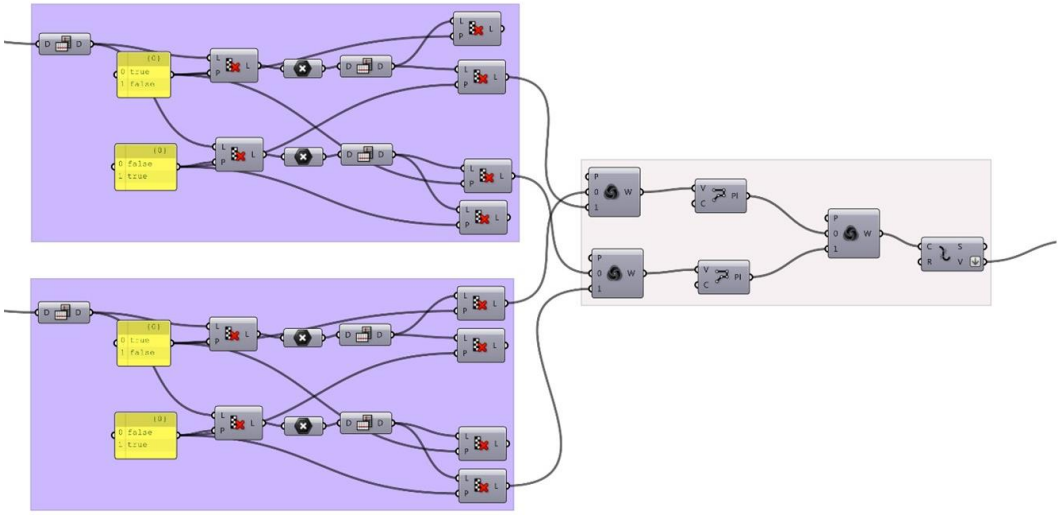


Fig. 38 – Secção da definição paramétrica da determinação dos pontos e das linhas de corrugações que definem geometricamente o padrão

Deparamo-nos, então, com duas listas de pontos obtidas através da avaliação das linhas da superfície base e outra da superfície paralela, encontrando-nos na fase de

desenvolvimento das linhas onduladas. É crucial a divisão da lista fornecida de pontos para cada uma das superfícies em sub-listas com as quais poderemos trabalhar, assim, determina-se, numa primeira fase, um padrão de escolha de linhagens de pontos no eixo Y, sendo para isso necessário inverter a matriz da lista, através do comando *Flip Matrix*, procedendo-se ao comando *Cull Pattern*, utilizando-se o padrão Verdadeiro/Falso no qual se removem elementos da lista a partir de um padrão estabelecido. Recorre-se uma vez mais ao mesmo processo, revertendo-se a matriz da lista para que o método de selecção fosse através do eixo X, utilizando-se mais uma vez o padrão Verdadeiro/Falso para a selecção, conseguindo-se assim subdividir as listas de pontos em elementos utilizáveis no processo.

Para a determinação das linhas onduladas é necessário que se proceda ao cruzamento das listas previamente separadas, cruzando-se a informação das listas correspondentes inversas que se encontrem na mesma toada de ambas as superfícies, para tal recorre-se ao comando *Weave*, que computa esse cruzamento de dados, permitindo assim a determinação das linhas onduladas, sendo estas linhas continuas criadas através do comando *PolyLine*. Procede-se novamente ao cruzamento de dados, desta vez das linhas onduladas, sendo estas linhas contínuas posteriormente explodidas, através do comando *Explode Curve*, a fim de encontrar os pontos em vale e montanha, procedendo-se a partir destes à formação das placas.

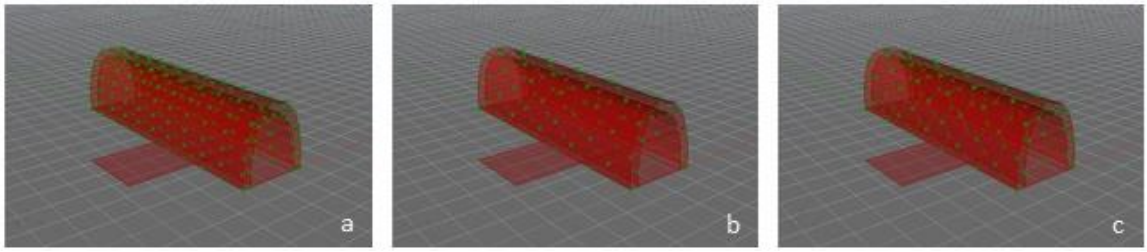


Fig. 39 - Processo de determinação dos pontos e linhas onduladas do padrão: a) conjunto de todos os pontos determinados; b) conjunto de pontos seleccionados; c) linhas determinantes do padrão

A formação das placas rígidas de que se faz compor a proposta é criada a partir dos pontos encontrados através da explosão das rectas, fazendo-se um *Flattern* do conjunto, de forma a ser possível a sua selecção na lista, recorrendo-se para isso ao comando *List Item*. Uma vez que nos deparamos com a necessidade de seleccionar pontos que não obedecem directamente a um padrão de verdadeiro e falso, mas sim a uma relação matemática entre eles, opta-se por recorrer ao comando *Series* na introdução do valor a ser retirado no *List Item*, fazendo-se a lista

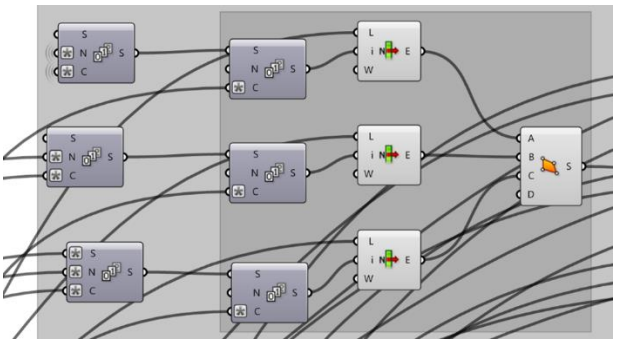


Fig. 40 - Secção da definição paramétrica da criação dos painéis rígidos

de pontos valer destas mesmas relações e sendo, assim, possível a determinação dos pontos correctamente alinhados de forma a introduzi-los no comando *4Pt Surface,* uma vez que o *Grasshopper* não dispõe de nenhum comando que vise a criação de superfícies de apenas três pontos, tendo-se, no entanto, apenas introduzido três vértices no mesmo, e a criação das superfícies finais que compõe a proposta, sendo importante salientar que figuram vários conjuntos onde se definem os pontos e as superfícies aos quais se aplicam, uma vez que os valores e as dependências variam de conjunto para conjunto.

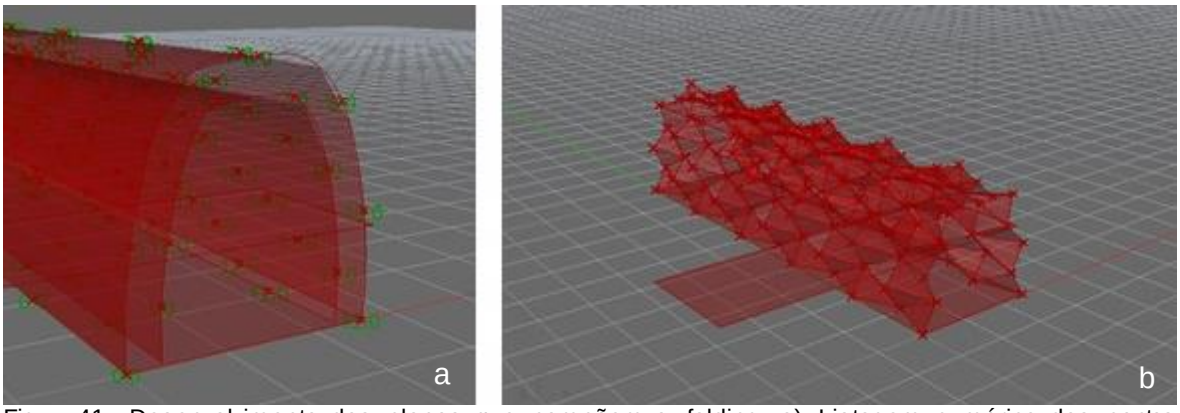


Fig. 41 -Desenvolvimento dos planos que compõem o folding: a) Listagem numérica dos pontos correspondentes á listas do conjunto de pontos; b) Hipótese de proposta de um folding rígido baseado na definição apresentada

4.2.2.2 Falha no sistema

A abordagem ao *origami* rígido tem como finalidade a realização deste segundo um mecanismo implementável, no qual painéis, em conjunto com articulações, apresentam vantagens no *design* da arquitectura transformável. Percebe-se, no entanto, que quando fisicamente aplicado, especialmente no caso da utilização de painéis rígidos, é importante considerar sistemas e mecanismos que permitam a transposição do sistema enquanto lógica geométrica e matemática, nos quais se considera uma superfície maleável com 0 de espessura, à sua aplicação arquitectónica.

Quando se descreve geometricamente a configuração do padrão proposto - que tem como base o de Yoshimura, sendo introduzidas novas linhas de dobra -, compreende-se que existem 4 ou 8 linhas de vinco (*crease lines*) que se encontram em cada vértice, o ponto de inflexão (Fig. 42). O investigador Tomohiro Tachi dita que:

> Esta abordagem produz três graus de restrição para cada vértice interior que fundamentalmente correspondem às rotações em X, Y e Z das facetas em torno do ponto de intersecção das linhas de dobragem incidente. Como resultado, um

> *origami* rígido produz um movimento cinético, onde as linhas de dobragem dobram simultaneamente[60] (Tachi, 2011, p. 254)

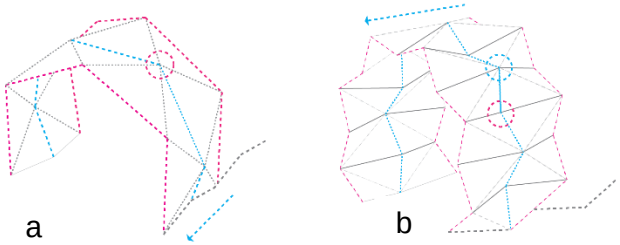


Fig. 42 – Comparação das linhas de corrugação, perfis de secção e pontos de inflexão – cor-de-rosa corresponde a 4 linhas de dobra enquanto o azul corresponde a 8 linhas de dobra a intersectarem-se no mesmo ponto - entre o padrão de Yoshimura (a) e o padrão proposto (b)

Quando se aborda um sistema rígido, os vincos têm de funcionar concorrentemente de forma a assegurar que o padrão global pode dobrar e desdobrar (Tachi, 2011). No momento de transposição entre a definição do mesmo e a sua aplicação à realidade arquitectónica, ao introduzir-se espessura, são gerados problemas no foro do sistema, considerando-se da maior importância a introdução dos elementos que permitem a transformação da estrutura – as articulações.

No caso do *origami* rígido, a problemática recai sobre o problema de alternância de eixos ('*Axis-Shift*'), ou seja, da colocação das articulações no lado vale do padrão de dobras, o que produz, no caso apresentado, 4 ou 8 constrangimentos, uma vez que as linhas de dobra deixam de se apresentar concorrentes, ou seja, deixam de estar alinhadas entre si, o que, normalmente, gera um problema do sistema sobre constrangido ('*over-constrained*'), no qual o movimento de dobra do padrão não se apresenta contínuo, tornando a dobragem impossível. Tomohiro Tachi considera que "Mesmo se formos bem sucedidos na criação de um padrão consistente para um número finito de estados, isso produz uma estrutura multiestável, sem dobragem rígida"[61] (Tachi, 2011, p. 255), sendo mais uma vez possível assumir-se como um bloqueio no sistema, podendo resultar em várias configurações indesejáveis devido à falta de controlo sobre as acções das articulações.

Apesar de vários investigadores apresentarem soluções de forma a contornar os problemas gerados na introdução de rigidez e espessura ao padrão de *origami* (Fig. 43), é importante compreender três premissas abordadas pelos investigadores que não se constatam no padrão apresentado: a) são considerados apenas os padrões de dobras já formulados, o que não se considera, sendo o padrão apresentado desenvolvido pela autora; b) assumem estes mesmos padrões como repetições geométricas, simetricamente organizadas ao longo de um eixo, o que não se verifica, tendo-se como objectivo a distorção do padrão, sendo criada uma malha irregular com peças diferenciadas; c) a maioria das

[60] "This approach produces three degrees of constraint for each interior vertex that fundamentally correspond to the rotations in X, Y and Z directions of the facets around the point of intersection of incident fold lines. As a result, a rigid origami produces a kinetic motion where the fold lines fold simultaneously." (Tachi, 2011, p. 254)
[61] "Even if we succeeded in designing the consistent pattern in finite number of states, this produces multi-stable structure without rigid-foldability." (Tachi, 2011, p. 255)

investigações prende-se à alternância entre a configuração plana/tridimensional, sendo neste caso apresentada uma proposta que visa a transformação de uma estrutura que, apesar de se compactar, não assume uma forma planificada.

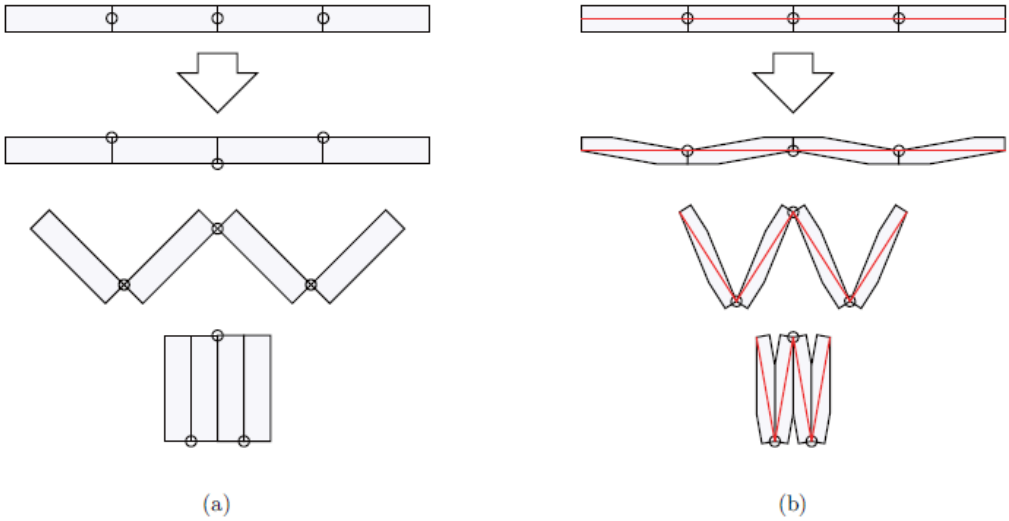


Fig. 43 - Duas abordagens na abordagem ao origami rígido: a) exemplo da técnica de 'Shift Axis'; b) método proposta com base no corte dos planos bisectores. A linha vermelha representa o origami ideal, sem introdução de espessura.

Compreende-se que o momento de dobragem é determinado pela linha poligonal da secção geral, e a linha que determina as corrugações do dobramento em acordeão, definida pela amplitude e extensão das dobras paralelas (Fig. 42). Assim, a determinação do momento de transformação prende-se à alteração da posição relativa dos pontos que controlam a mesma. (Fig.44). Compreende-se que, enquanto no padrão de Yoshimura as relações geométricas não são comprometidas, conseguindo-se manter a integridade dos alinhamentos dos pontos, devido aos ângulos da dobra se apresentarem todos na mesma direcção, no caso do padrão proposto, a tentativa de compactar a estrutura desencadeia uma série de quebras nas relações geométricas, uma vez que os ângulos de dobra se organizam em torno de um ponto de inflexão central – onde se encontram 8 dobras de vinco -, não se apresentando com a mesma direcção.

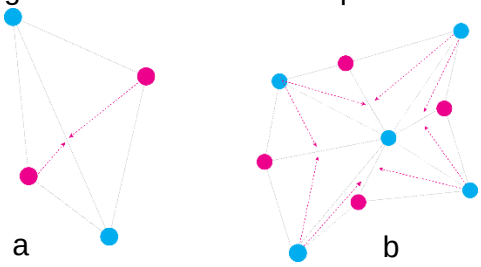


Fig. 44 - Legenda de pontos em móveis - rosa - e fixos - azul – e da direcção da sua dobra – indicação das sectas – do padrão de Yoshimura (a) e do padrão proposto (b)

Ao deformar tanto o padrão quanto a superfície ao qual é aplicado, as falhas seriam constantes, compreendendo-se que os diedros pelos quais é formado assumem, ao longo da forma, não só diferentes ângulos entre si, apresentando-se também como peças diferenciadas e não mutuamente simétricas. Ao considerar-se as faces como não simétricas na dobra reversa, impossibilita o movimento contínuo do mesmo, podendo observar-se na figura 45 a quebra dos alinhamentos, o que provoca a falha no sistema.

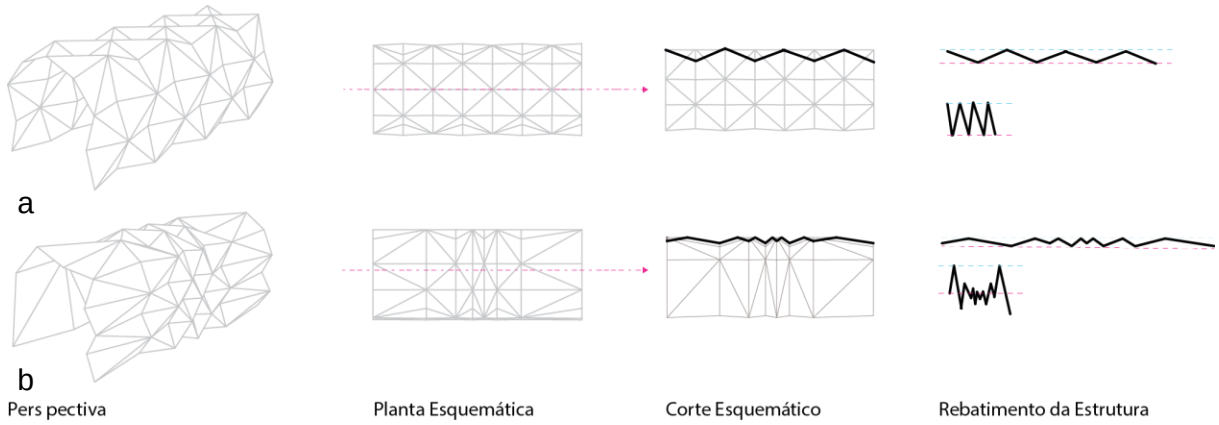


Fig. 45 - Diagrama de comparação entre a dobragem do padrão proposto: a) padrão não deformado; b) padrão deformado

4.2.3 Abordagem ao *folding* flexível

Tendo-se observado os problemas gerados quando se aborda a criação e deformação de um padrão de origami rígido, coloca-se em causa a questão da verdadeira necessidade deste assumir uma materialidade inflexível.

Reflecte-se, então, sobre a possibilidade de atingir níveis satisfatórios, tanto a nível estrutural quanto de rigidez, que respondam à problemática da arquitectura implementável enquanto conjunto de estruturas passíveis de transformações na sua configuração.

Percebe-se que, tendo em vista o objectivo de desenvolver um padrão de dobras passível a ser deformado, esta possibilidade se encontra na introdução de flexibilidade na abordagem a este padrão, através do uso de estruturas deformáveis e articulações flexíveis, considerando que estas nos abrem portas à exploração formal mais livre que se terá mostrado dificilmente alcançável através do sistema rígido, diminuindo as restrições geométricas bem como as materiais e contornando os problemas de sobre constrangimento do padrão.

Recorre-se, então, à reformulação do padrão anteriormente proposto segundo a perspectiva de outra das estruturas implementáveis que se enquadram no contexto da arquitectura transformável: A membrana aliada a uma estrutura que lhe dita a forma a adquirir e lhe confere o comportamento estrutural necessário.

4.2.3.1 Reflexão crítica sobre o padrão

Como terá sido demonstrado anteriormente, a abordagem rígida ao padrão proposto ter-se-á mostrado com falhas incontornáveis na sua aplicação a um sistema transformável no qual se aborde a irregularidade de um padrão. Assim, após uma reflexão crítica sobre o mesmo ter-se-á chegado á conclusão de que a introdução de flexibilidade se considera fulcral para a sua aplicação num contexto de arquitectura implementável.

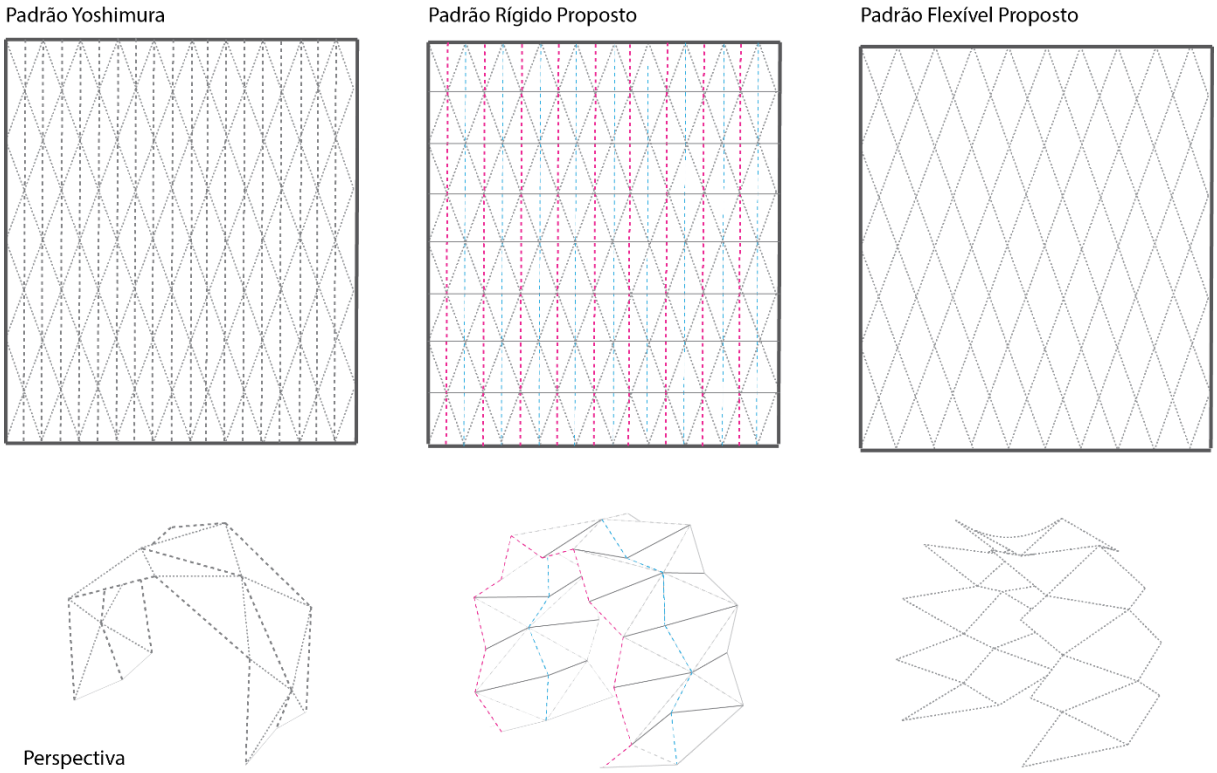


Fig. 46 - Diagrama de Comparação entre o padrão de Yoshimura, o padrão rígido proposto e o padrão flexível proposto

Tendo em vista a sua aplicabilidade, procede-se à reformulação do padrão, de forma a contornar os obstáculos encontrados na sua abordagem enquanto sistema rígido. Como terá sido anteriormente compreendido, a falha no sistema provém do sobre constrangimento causado pelo número de linhas que se intersectam no vértice, ou ponto de inflexão, uma vez que este, ao ser superior a quatro – o número considerado aceitável neste tipo de sistemas – provoca um bloqueio no sistema, que se revela incontornável quando a esse constrangimento se adiciona a problemática das faces não se considerarem simétricas entre si, sendo os ângulos dos diedros variáveis.

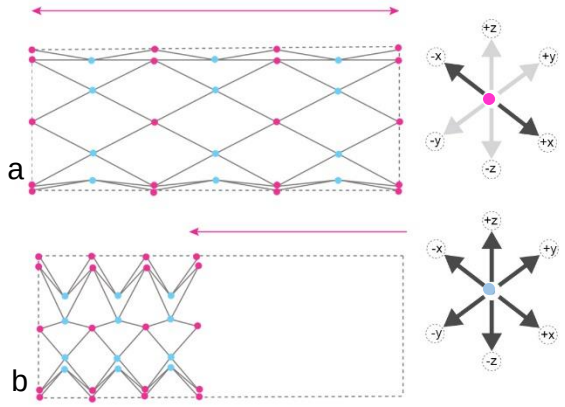


Fig. 47 - Diagrama do movimento das rótulas em planta: a) quando completamente implementado; b) no momento de compressão da estrutura.

A reformulação deste mesmo padrão prende-se na abolição das linhas de perfil de secção bem como todas as linhas perpendiculares a estas, passando o padrão a caracterizar-se pelas suas figuras em diamante. Os pontos em montanha executam agora movimentos no eixo X, enquanto os pontos em vale operam tanto no eixo X quanto em Y, num movimento de rebatimento para o seu interior. Nestes pontos funcionarão articulações rotativas

que controlam quatro eixos, funcionando estas como juntas da estrutura metálica materializada a partir das linhas (Fig. 47).

A membrana que será utilizada, cuja estrutura que a suporta se materializa a partir da união dos pontos em vale e montanha, permitirá que, na sua posição esticada, se percebam as triangulações dos diedros, criando assim as linhas paralelas do padrão que terão sido retiradas, materializando dobras imaginárias que terão deixado de ser contempladas através da estrutura, passando a ser criadas através das capacidades de tensão proporcionadas pelo material escolhido.

4.2.3.2. Parametrização do padrão flexível

Após a análise e reflexão crítica do padrão de proposto anteriormente e da sua consequente abordagem paramétrica e tentativa de aplicação numa estrutura transformável, recorre-se agora a parametrização da reformulação que se apresenta do mesmo.

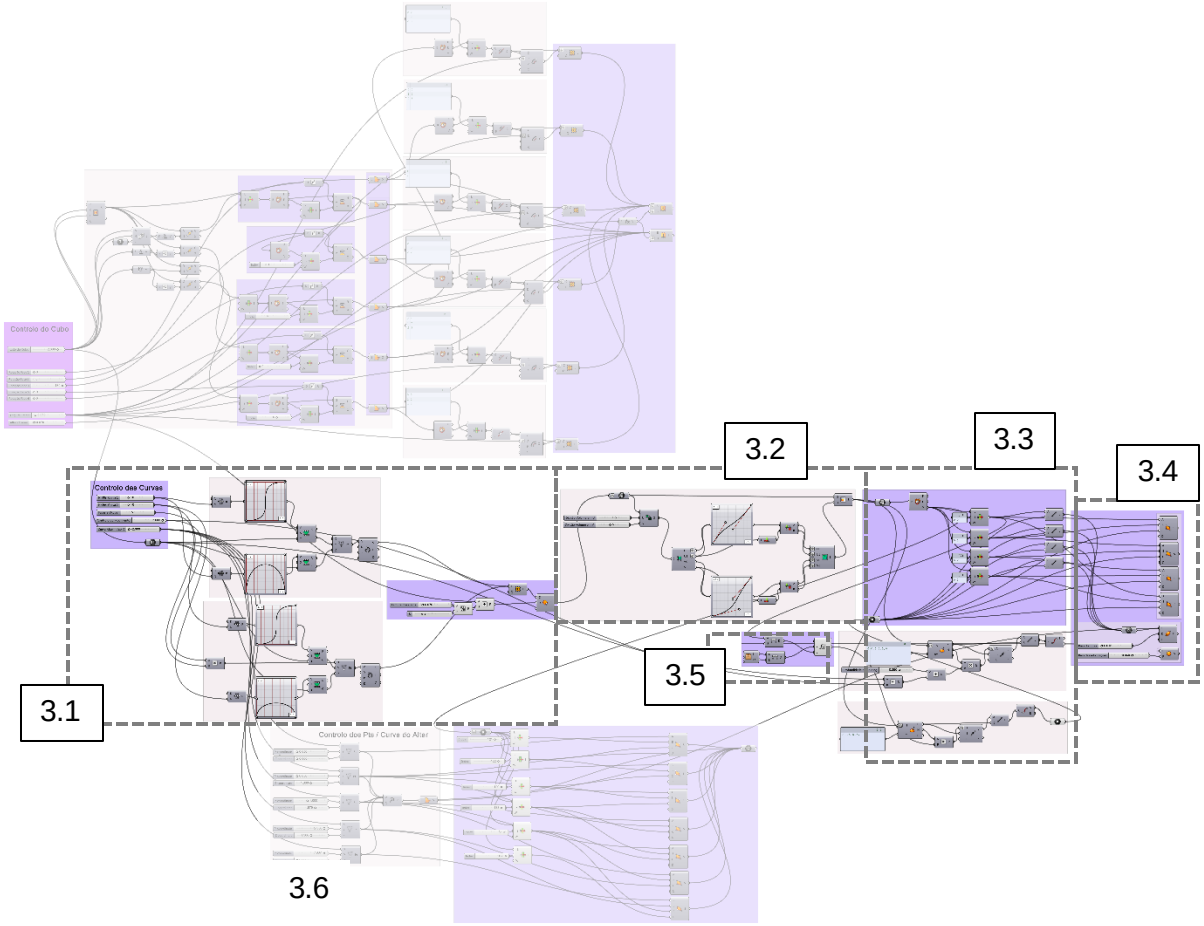


Fig. 48 - Definição paramétrica do padrão flexível

A definição paramétrica do padrão flexível desenvolve-se em torno de quatro processos. O primeiro processo é semelhante à definição anteriormente apresentada, sendo determinadas as linhas interpoladas a partir das quais é formada a superfície onde será

desenvolvido o padrão (3.1). Seguidamente debatemo-nos com o primeiro passo para a determinação do padrão - a subdivisão dessa mesma superfície tubular (3.2) . O terceiro passo corresponde à criação da estrutura, com base nas normais dos segmentos de superfícies geradas anteriormente e com os vértices das próprias (3.3). O último processo recai sobre a criação dos elementos estruturais, ou seja, da criação dos tubos de aço galvanizado da estrutura e da criação de painéis que posteriormente serão retomados quando estudada a membrana (3.4).

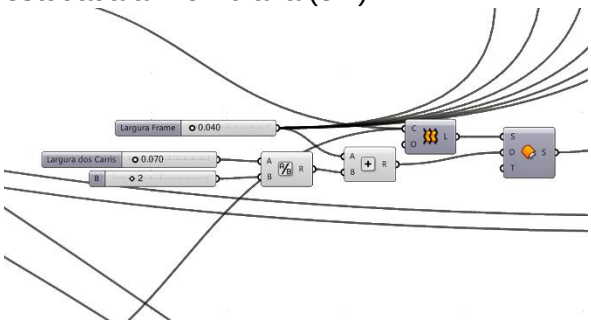


Fig. 49 - Determinação da superfície tendo em conta a espessura dos carris, numa antevisão ao sistema construtivo

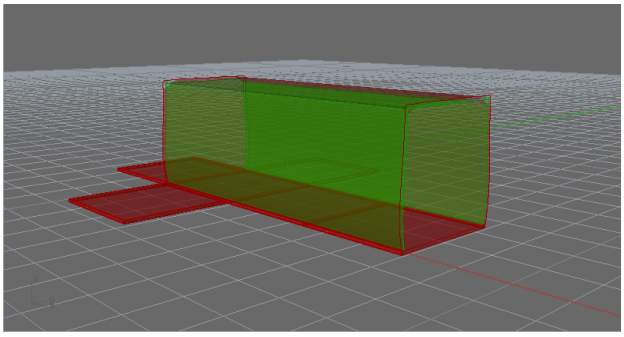


Fig. 50 - Determinação da superfície paralela à original

O desenvolvimento das curvas interpoladas que dão origem à geração do volume mantém-se, bem como a geração do mesmo a partir do comando *Loft*. Tendo em mente o processo construtivo a ser utilizado e a questão do encerramento do cubo para a configuração de transporte, cria-se uma superfície paralela à inicial, para que não ocorra nenhum erro quando se procede ao fecho do cubo (3.1).

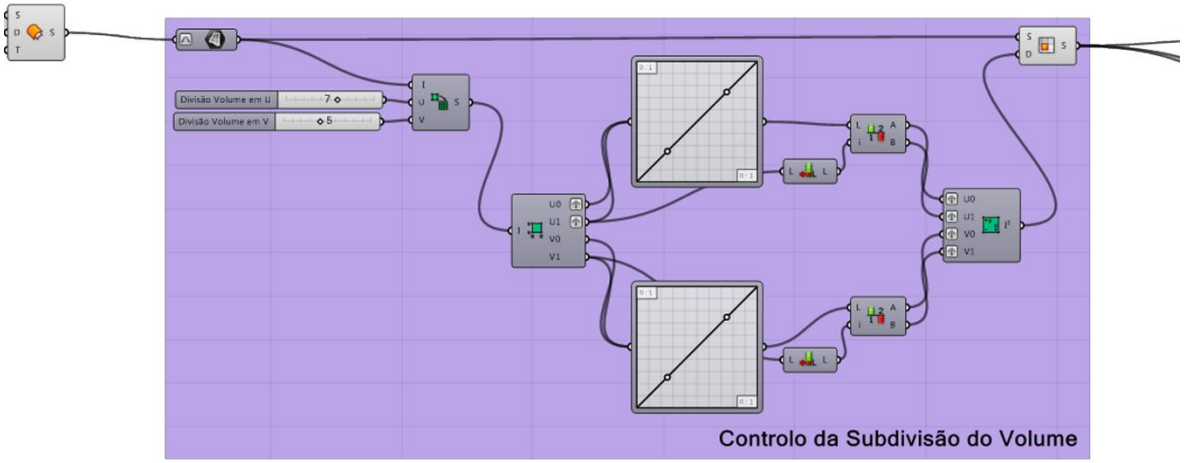


Fig. 51 – Secção da definição paramétrica das divisões da superfície a que se pretende aplicar o padrão (3.2)

O desenvolvimento da aplicação do padrão reestruturado tem início na subdivisão da forma tubular apresentada, surgindo a necessidade de encontrar pontos na mesma, assim procede-se a uma divisão da mesma em subsuperfícies. Para que se divida a superfície base em várias subsuperfícies a mesma é segmentada através do comando *Divide Domain²*, que nos permite dividir um domínio bidimensional em vários segmentos iguais, sendo este controlado por *Sliders* correspondentes a U e V. Pretende-se, no entanto, a subdivisão da

superfície em segmentos diferentes entre si, assim, recorre-se à decomposição deste domínio regular através do comando *Deconstruct Domain²*, que nos gera limites mínimos e máximos para U e V, sendo posteriormente utilizados *Graph Mappers*, que, como foi visto anteriormente, permite uma manipulação visual dos dados através de um gráfico. A criação do novo dominio, *Construct Domain²*, só é possível através da reorganização dos dados, requerendo este, novamente, um valor mínimo e um valor máximo, assim, utiliza-se um *Split List*, que separa a lista em duas partes, no qual se introduz os dados obtidos através do *Graph Mapper*, bem como o tamanho da lista original, conseguido através do *List Lenght*. Pode-se assim reintroduzir os dados no limite inferior – U0 e V0 – e no limite superior – U1 e V1 -, tendo o cuidado de tornar cada um dos valores numa lista separada para que possam ser processados, através do comando *Graft*. Temos então o domínio numérico bidimensional em U e V que introduzimos no domínio que controla a divisão da superfície base, utilizando-se para isso o comando *IsoTrim*.

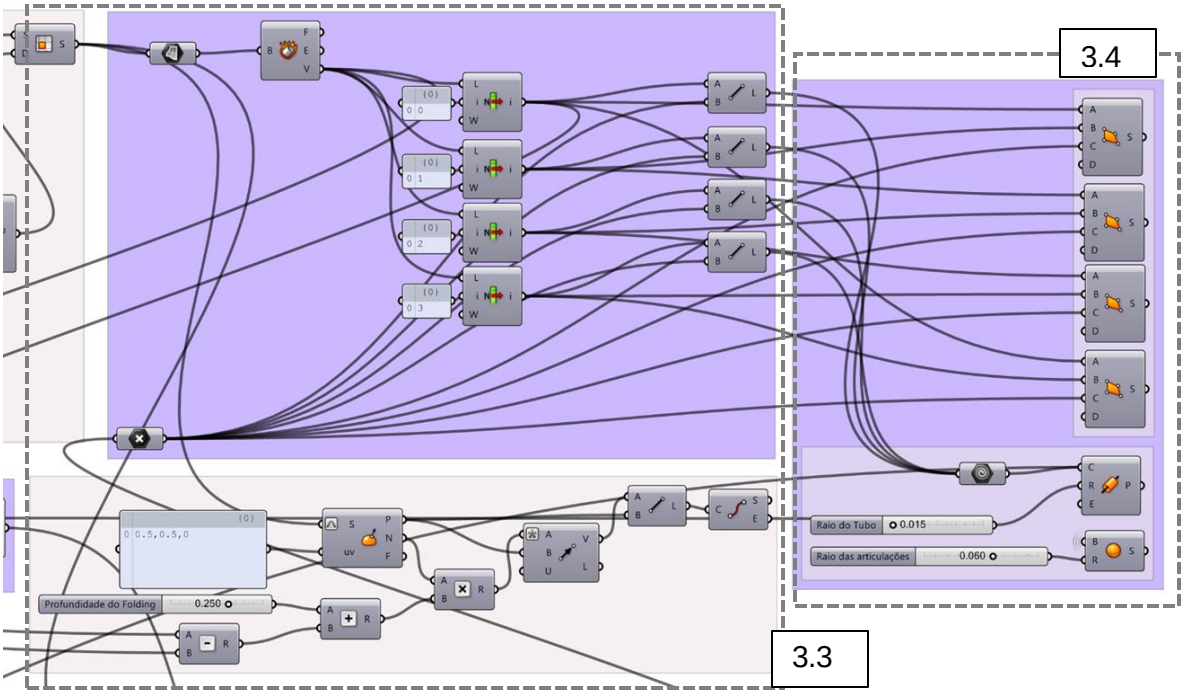


Fig. 52 - Secção da definição paramétrica da criação das linhas de estrutura (3.3) e dos elementos (3.4) - tubos, rótulas representativas (esferas) e painéis.

Uma vez que se apresente a superfície divida em múltiplas subsuperficies diferentes entre si surge a necessidade de proceder a uma explosão das mesmas, de forma a que se encontrem os vértices pelos quais é formada. Esta operação levada cabo pelo comando *Deconstruct Brep*, seguido da identificação de cada conjunto de pontos na lista – uma vez que está organizada por superfícies, sendo que cada uma das listas possui as coordenadas de quatro vértices numerados de 0 a 3 – podendo assim seleccionar-se separadamente os pontos de cada superfície quadrangular, traduzindo-se estes nos pontos em montanha do padrão.

Para que se determinem os pontos em vale é então necessário recorrer novamente ao conjunto de subsuperfície gerada pelo *IsoTrim* e avaliá-las. Através do *comando Evaluate Surface*, que se destina à avaliação das propriedades da superfície seguindo coordenadas em UV, procura-se encontrar o ponto no centro de cada uma destas, assim nasce a necessidade de reparametrizá-las para que o seu valor seja compreendido entre 0-1, introduzindo-se no domínio de coordenadas o valor 0.5, 0.5, 0, presenteando-nos o comando com os pontos de centro das superfícies bem como as direcções dos seus vectores perpendicular.

A partir destes pontos centrais serão criadas rectas perpendiculares cuja dimensão será a profundidade do *folding,* ou seja, o ângulo do diedro da dobra, sendo que voltaremos a este passo á posteriori, quando se abordar o seu fundamento para a transformabilidade do padrão. Na criação destas rectas recorre-se ao comando *Vector 2Pt*, o que cria vectores entre dois pontos, fazendo-se usar os pontos do centro da superfície como *input Point B*, e as perpendiculares conseguidas através do *Evaluate Surface* serão multiplicadas pela dimensão da profundidade pretendida para o *folding*, sendo controlada por um *Slider*. A ligação dos pontos de centro e os produzidos pelos vectores fazem-se com o comando *Line*, seguidamente encontrando-se os pontos pretendidos através do *End Points*, que oferece pontos de iniciais e finais de cada recta, assumindo-se os pontos de fim como pontos de vale.

A caracterização da estrutura faz-se através da criação de segmentos de recta que se fazem passar pelos pontos definidos em montanha e vale, estando os primeiros identificados através do *List Item* e os segundos através do *End Points* das rectas perpendiculares às superfícies. A partir destas rectas serão criados tubos com que se faz compor a estrutura – tubos de aço galvanizado de 30mm de diâmetro e 5mm de espessura, sendo o seu comprimento variável - através do comando *Pipe*, controlando o seu diâmetro através de um *Slider.* A determinação das rótulas é preliminar, uma vez que serão abordadas à frente, com o desenvolvimento de rótulas flexíveis que visam dar resposta à flexibilidade exigida pelo padrão.

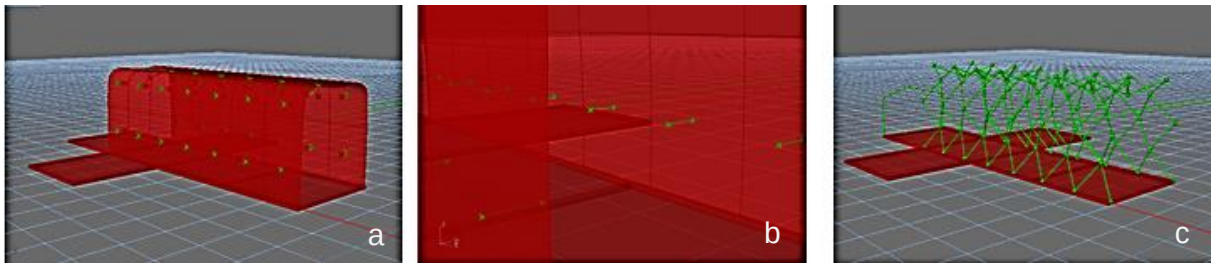


Fig. 53 - Sequência do desenvolvimento paramétrico do padrão aplicado á superfície: a) pontos centrais das subsuperfícies; b) rectas perpendiculares ás subsuperfícies determinando a dimensão do folding; c) criação de linhas através dos pontos.

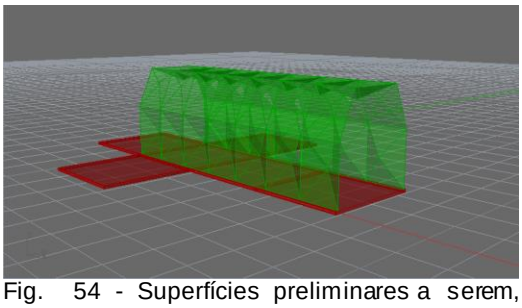


Fig. 54 - Superfícies preliminares a serem, posteriormente, estudadas

Finalmente fazem-se corresponder superfícies preliminares, que serão posteriormente estudadas enquanto membrana, fazendo-se igualmente corresponder, à semelhança das linhas que compõem a estrutura, os pontos em vale e membrana, utilizando-se o comando *4PtSurface* de forma a criar superfícies trianguladas definidas por dois pontos em montanha e um em vale.

4.2.3.3 Transformabilidade do padrão

Para que melhor se perceba o rebatimento é importante compreender o padrão como uma série de pirâmides quadrangulares alinhadas ao longo da superfície, ou seja, ao longo dos eixos X, Y e Z. Entende-se como a base da pirâmide as subsuperficies geradas, assumindo-se como vértices da base os pontos considerados em montanha, sendo o vértice da pirâmide os pontos considerados em vale.

O problema da variabilidade da estrutura quando transformada é abordado através do teorema de Pitágoras, uma vez que o plug-in *Grasshopper* necessita, para o cálculo, de uma relação matemática entre os elementos, de forma a que as linhas pela qual é formada a estrutura não sofram alterações quando se transforma.

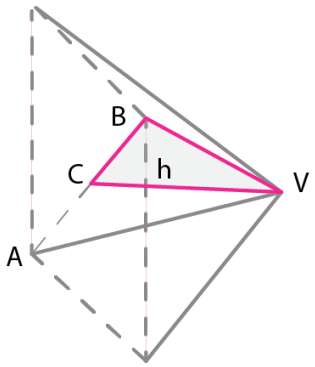


Fig. 55 - Legenda dos pontos na pirâmide

Para que se definam as relações geométricas da estrutura e da variação da sua configuração entre o estado implementado ou transportável, o programa necessita de todos os vértices (Fig. 55). Assim, assume-se a diagonal da base da pirâmide, encontrando-se através da relação entre o ponto A e B, sendo esta variável entre o estado implantado, correspondendo a x e quando transportável x/4 – incluindo o altar-, de forma a encontrar-se o centro. Na definição, esta é-nos dada através do comando *Distance* entre um dos pontos da base e o ponto inicial da recta perpendicular à superfície.

A aresta BV, a dimensão da linha pela qual a estrutura se faz compor, demonstra-se através da distância de um dos pontos da base ao vértice da pirâmide, necessitando este de ser medido na sua verdadeira grandeza enquanto implementado, elabora-se um *Cluster*, onde se coloca a definição na sua posição implementada.

A procura pela variável da altura da pirâmide (h), que se entende como a constante que mantém as dimensões das arestas entre os vértices da base e o vértice da pirâmide, que no seu estado implementado é de 0.25 m, encontra-se através da introdução no programa de

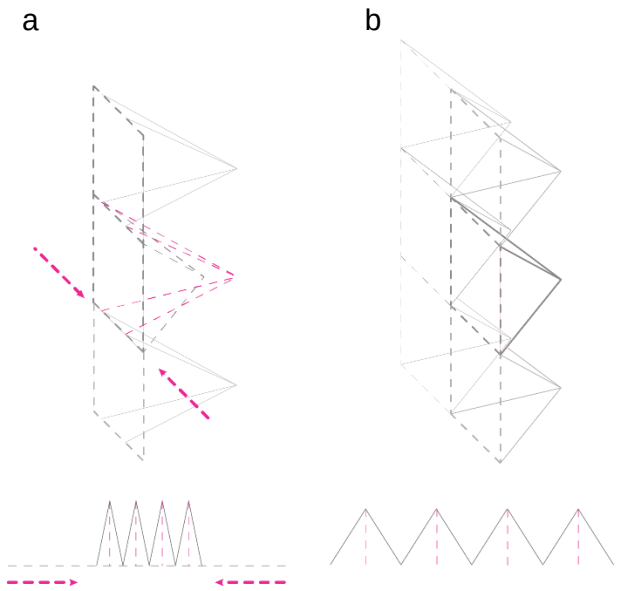


Fig. 56 - Diagrama esquemático da transformabilidade do padrão: a) fechado; b) aberto.

uma função matemática sobre o teorema de Pitágoras - $\sqrt{(BC^2-h^2)}$ que se traduz como Sqrt(x^2-y^2) - sendo que o seu movimento transformável é controlado pela relação entre a dimensão do lado da pirâmide e a dimensão da altura da mesma. Esta função que nos dá os valores da altura de cada uma das pirâmides é então ligada à multiplicação do vector que gera os pontos em vale, o que nos permite que, à medida que se controla o movimento transformável do padrão, que se assume no controlo da distância da curva interpolada que tem mais valor em X valor este controlado pela multiplicação da dimensão do cubo pelo número de quadrados que ocupa na implantação, sendo que a estrutura varia entre x e x/3, o *Slider* que controla este movimento varia na mesma proporção, desencadeando alterações devido á relação geométrica e matemática que faz a relação entre toda a definição paramétrica.

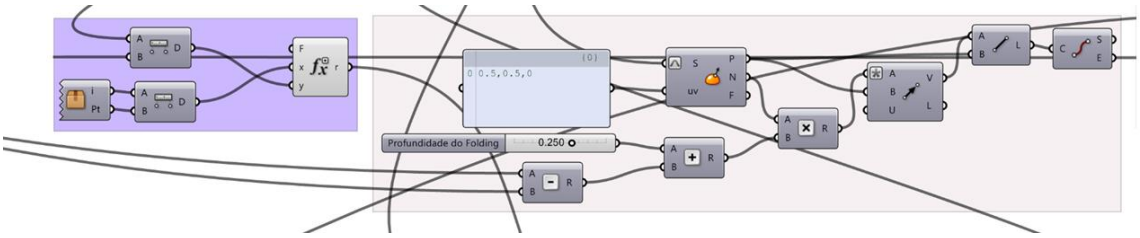


Fig. 57 - Secção da definição paramétrica (3.5) do controlo da transformabilidade do padrão

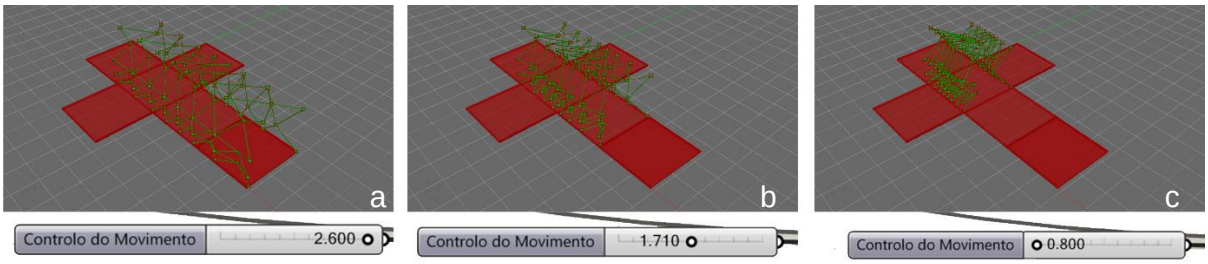


Fig. 58- Processo de transformação em ambiente digital: a) implementado; b) em movimento; c) encerrado

4.2.4 Desenvolvimento da proposta

4.2.4.1. Ponderações formais e conceptuais

Enquanto exercício académico, a presente dissertação procura uma exploração conceptual em resposta a uma reflexão que se debruça, em parte, no paradigma do mundo em movimento, numa abordagem metodológica através dos sistemas paramétricos enquanto ferramenta de arquitectura, por outra parte, na aplicação dos fundamentos da arquitectura transformável e implementável para o desenvolvimento de uma proposta de uma capela a N.S. do Cabo, imagem da santa peregrina.

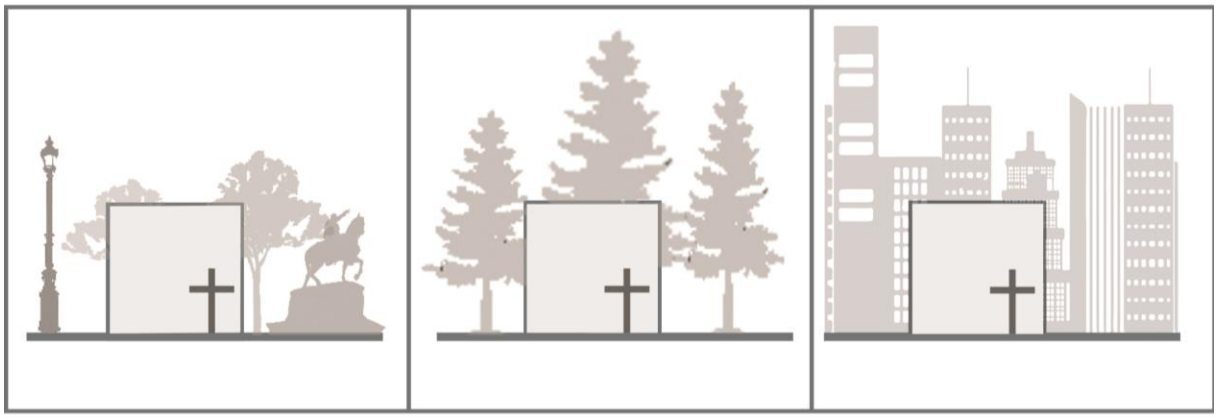


Fig. 59 - Diagrama de hipóteses de implantação da proposta que visa a incógnita do carácter itinerante

Como terá sido visto anteriormente, a organização da proposta rege-se a partir do módulo de transporte - o cubo - e da configuração que assume quando implantado e planificado - a cruz. A cruz define então a implantação da proposta, simbolizando "A conjunção dos opostos, a ação de forças centrífugas ou centrípetas, a propagação da vida ou incêndio, encruzilhada, a relação vertical, que se esforça estabilidade horizontal"[62] (Kieckhefer, 2004, p. 137), a relevância da morte sacrificial há 21 séculos na antiga Palestina para os momentos concretos da vida aqui e agora.

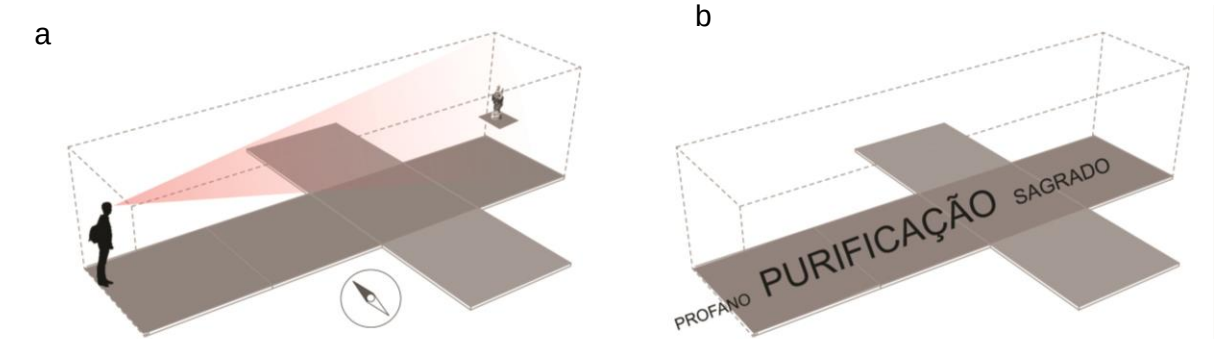


Fig. 60 - Diagramas de justificações das opções no desenvolvimento da proposta: a) espaço volumétrico, orientação da implantação e evidência do foco visual; b) evidência do percurso e da aplicação do conceito das fases de peregrinação.

[62] "The conjunction of opposites, the action of centrifugal or centripetal forces, the spreading of life or fire, crossroads, the relation of vertical striving to horizontal stability" (Kieckhefer, 2004, p. 137)

Assumindo-se o altar na cabeceira da cruz, uma ideia arcaica que dita que a partir de um centro projectam-se os quatro horizontes referenciando as quatro direcções cardeais (Eliade, 1986), regendo-se de acordo com a tradição católica, que dita que o altar deve encontrar-se na extremidade Este, direcção reconhecida de acordo com o Jardim Éden, onde se acredita que a Humanidade terá começado, bem como a direcção a partir do qual Cristo viria no Juízo Final, além da mais óbvia, a do nascimento do Sol. (Kieckhefer, 2004)

O do volume formal da proposta desenvolve-se no sentido longitudinal do altar, seguindo não só os constrangimentos impostos pelo padrão, mas considerando-se o melhor posicionamento relativamente à evidência do foco da capela, sentido de orientação comum. A base do percurso longitudinal assume as fases de peregrinagem – profano; purificação; sagrado - enquanto conceito, enfatizando o sentido de passagem, e assumindo-se como percurso de fluxo e refluxo, "a procissão e o retorno: todas as coisas fluem de Deus e voltam a Deus; as almas devotas voltam-se para Deus em oração e retornam para o mundo"[63] (Kieckhefer, 2004, p. 27), sinalizando o processo de acesso ao Deus transcendente.

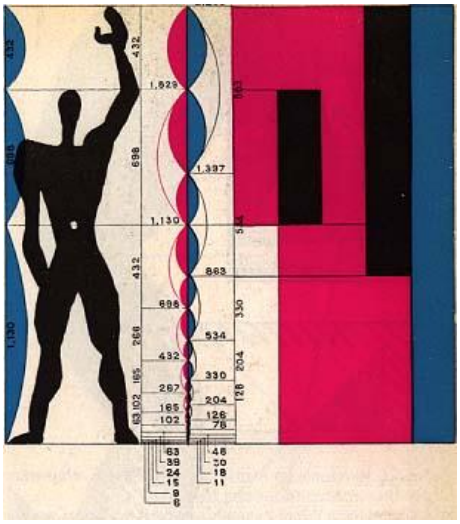


Fig. 61 - 'Modulor' de Le Corbusier

A aplicação do conceito é evidenciada através da relação de imanência e transcendência que se faz materializar através das curvas ascendentes e descendentes - adquirem o prestígio do transcendente, da realidade absoluta, da eternidade (Eliade, 1957/1992). Fazemo-nos valer do 'Modulor' (Fig. 61) do arquitecto Le Corbusier (1887-1965) enquanto sistema de proporções, regendo-se os conceitos envoltos através do mesmo, assim, a entrada no espaço religioso, simbolicamente a deixada para trás do mundo profano- o primeiro estágio de peregrinação- faz-se materializar pela altura do Homem (1.83 m) numa tentativa de extracção de uma experiência do sacrifício, da reverência que se pretende invocar na entrada deste espaço. O momento de entrada considera-se também como o ponto de partida para a curva ascendente, que representa o ascetismo, a auto-transcendência humana, incorporando o segundo estágio de peregrinação - a purificação. O culminar desta curva dá-se no momento exactamente antes do altar, ponto na qual se intersecta a curva ascendente, que rege a altura da nave, e a curva descendente, simbolizando a imanência divina, a relação entre o céu e a terra. A determinação da altura até a cruz é determinada pelo duplicar da altura do homem segundo o 'Modulor' – 3.66m – representando o divino irrealizável ao qual se aspira.

[63] "procession and return: all things flow out from God and return to God; the worshiping soul turn to God in prayer and returns into the world." (Kieckhefer, 2004, p. 27)

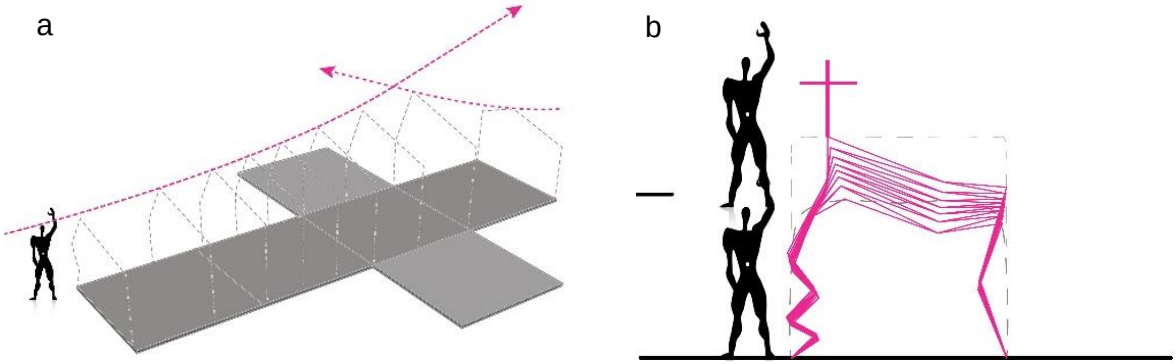


Fig. 62 - Diagrama referente ao dimensionamento: a) curva ascendente e descendente que controlam a proposta; b) dimensionamento da altura máxima

A manipulação do volume é feita, em ambiente digital, no *plug-in* através dos controlos das curvas interpoladas cujos pontos são gerados recorrendo ao controlo pelos *Graph Mappers*, sendo introduzidas as dimensões correspondentes. Quanto ao controlo do remate da capela, no quadrante do altar-mor, são gerados cinco pontos cujas coordenadas se encontram controladas através de *Sliders*, gerando-se através destes uma linha contínua – *PolyLine* – fazendo-se posteriormente um *Loft* de forma a encontrar a superfície que interliga a esta com a curva interpolada no extremo da nave.

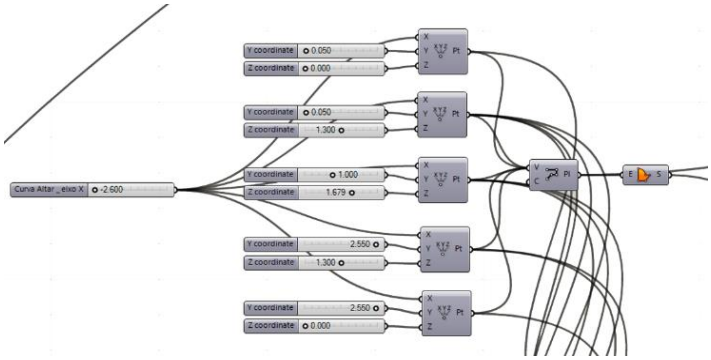


Fig. 63 - Secção de definição paramétrica correspondente à determinação do altar (3.6)

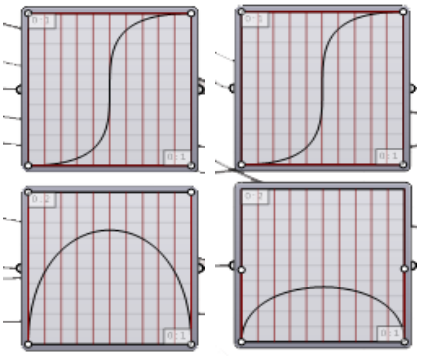


Fig. 64 - Graph mappers que controlam as curvas

Uma vez gerado o volume, deparamo-nos com o início da aplicação do padrão de *folding* previamente gerado. A primeira consideração a ter em conta prende-se ao número de dobras em U e V, gerados pela divisão da superfície tubular . Neste operação, tendo em mente não só as limitações construtivas que determinam a dimensão máxima dos comprimentos dos tubos com que se faz compor a estrutura, que respondem à dimensão máxima que possibilite compactar da mesma, bem como às dimensões pré-estabelecidas pelo cubo – configuração transportável e de implantação – como a numerologia e simbologia cristã, aplica-se uma divisão do volume tubular que se faz corresponder à nave em V com o valor de 5- número que representa o cosmos, o Homem-, sendo recorrentemente presente na Bíblia, livro sagrado, e uma divisão por 7 em U- representando a união entre o mundo sagrado e o profano- tendo uma relação com o 8: “o número oito representa o oitavo dia (o dia da

ressurreição de Cristo, após o sétimo dia da semana), a oitavo era do mundo (o da eternidade, após as tradicionais sete eras) e a oitava da vida humana (o da vida eterna) "[64] (Kieckhefer, 2004, p. 92), a consumação. A Nave faz-se assim subdividir em dobras que lhe conferem uma complexidade dentro da sua simplicidade. Complexidade que se faz materializar pela dobragem enquanto processo morfogenético, considerando-se que:

> A complexidade do interior é crucial para a criação de um sentimento de fascínio que há sempre algo mais do que aquilo que é imediatamente visto. (...) Uma igreja feita pela simplicidade pura e dura pode evocar um espírito de meditação simples e recolhida, mas uma igreja cheia de uma plenitude das formas de fusão em um único todo também pode provocar esta resposta simples, mais facilmente do que um que compromete e chama a atenção para um imagem discreta e depois outro[65] (Kieckhefer, 2004, p. 111)

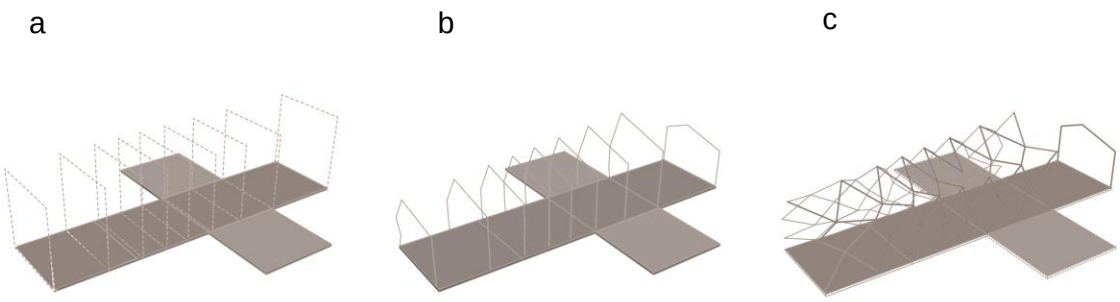


Fig. 65 - Divisoes do Volume: a) planos seccionadores; b) Perfis das secções; c) estrutura proposta.

No paralelismo entre a teoria de folding e a simbologia cristã prende-se também a questão da ordem da repetição, uma expressão material do infinito, "envolvendo repetição de formas arquitectónicas e decorativas de comunicar uma sensação de infinito, presumivelmente, a infinita variedade da ordem criada visto como exemplar da criação divina"66 (Kieckhefer, 2004, p. 112). O padrão escolhido baseia a sua representação no diamante, sendo materializado pela forma geométrica que o divide, o triângulo, símbolo da trindade – Pai, Filho e Espírito Santo. Na proposta apresentada, a manipulação destas dobras faz-se no sentido de, mais uma vez, evidenciar tanto o centro do foco do altar, no sentido da

[64] "the number eight stands for the eighth day (the day of Christ's resurrection, after the seventh day of week) the eighth age of the world (that of eternity, after the traditional seven ages) and the eighth of human life (that of eternal life)" (Kieckhefer, 2004, p. 92)

[65] "The complexity of the interior is crucial for creating an alluring sense that there is always something further than what is immediately seen. A church made by pure and stark simplicity can evoke a spirit of simple and collected meditation, but a church filled with a plenitude of forms fusing into a single whole can also elicit this simple response, more readily than one that compromises and calls attention to one discrete image and then another" (Kieckhefer, 2004, p. 111)

[66] "involving repetition of architectural and decorative forms to communicate a sense of infinity,presumably the infinite variety of the created order seen as exemplary of divine creation" (Kieckhefer, 2004, p. 112)

manipulação em V, definindo a direcção do mesmo, e em U quando se materializa o conceito de peregrinação, tendo inicio com dobras espaçadas, na entrada na capela, e consequentemente, o deixar para trás do mundo profano, assumindo-se mais dobras no percurso de purificação, representando os obstáculos no caminho, até que se alcança um momento em que as dobras deixam de ser notáveis, aquando a aproximação do sagrado.

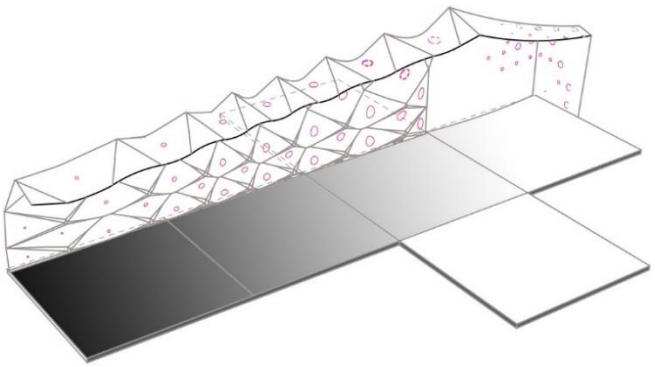


Fig. 67 - Diagrama de um corte perspéctico esquemático que visa a percepção do espaço interior bem como representação do controlo de luz

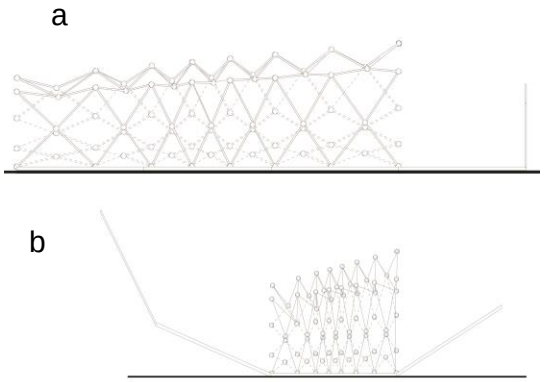


Fig. 66 - Diagrama da estrutura proposta em transformação: a) implantada; b) estrutura rebatida com o cubo a encerrar.

A evidência do objecto de foco, no caso presente, a imagem de Nossa Senhora do Cabo Espichel, pode ler-se na moldura, representada pelas dobras, ao longo da nave, da aproximação, bem como da continuidade na diferenciação, sendo clara a diferente abordagem no tratamento do altar-mor, na deliberada diferenciação, sendo removidas as dobras neste espaço, permitindo um espaço etéreo, uma estrutura desmaterializada, uma leveza gritante, que não se destaca pela altura do pé direito, mas sim pela sua diferenciação mantendo o sentido de pertença, de simplicidade, um destaque do objecto, evidenciando-se esta também através do controlo de luz, sendo que as perfurações que permitem a entrada de luz no espaço tornam-se progressivamente maiores ao aproximar-se do ponto de foco. A peça que aloja a imagem é, também ela, uma diferenciação na continuidade, remetendo às formas piramidais de que se compõe a estrutura e distinguindo-se como elemento singular.

As materialidades, bem como a opção de se apresentar uma proposta de exosqueleto, prendem-se com o carácter etéreo que se pretende extrair no seu interior, existindo sempre uma deliberada marcação entre o profano e o sagrado, o claro e o escuro, o simples e o complexo. O cuidado neste sentido estende-se também ao mobiliário que compõe o espaço, retirando-se o ênfase a todo o mobiliário, fundamentando-se que, numa abordagem contemporânea, o espaço não deve ser confinado por elementos secundários, permitindo-se assim, tanto a evidência do foco principal do edifício, a sua razão de ser, bem como uma dinâmica espacial mais abrangente.

4.2.4.2 Estudo da membrana

Considerando-se o meio mais leve para a organização espacial e tendo em conta a flexibilidade que oferece, adopta-se a membrana enquanto superfície a ser aplicada na proposta de um edifício itinerante. Estruturalmente pertencentes aos sistemas de tensão de formas activas, estas transmitem apenas forças de tensão, sendo modeladas através das forças aplicadas. De acordo com Achim Menges, as "Membranas são, portanto, definidas através do deslocamento de determinados pontos de limite ou das forças de pré-tensionamento que estão directamente correlacionados com a forma do material"[67] (Menges, 2008, p. 75). Numa abordagem ao processo de *form-finding* digital da membrana é importante compreender que o "relaxamento dinâmico é um método de elementos finitos que envolvem a *mesh* digital que se instala num estado de equilíbrio através de cálculos iterativos baseados em propriedades específicas de elasticidade e material da membrana, combinados com a designação dos pontos de limite e as forças relacionadas"[68] (Menges, 2008, p. 75)

A utilização do *add-on Kangaroo* permite-nos a exploração de estruturas de membranas tensionadas, permitindo-nos relaxar *meshs* de forma a fazê-las corresponder a qualquer superfície topológica, de forma a explorar as possíveis soluções de relaxamento da mesma do ponto de vista do *form-finding*, pretendendo-se estabelecer uma relação com a estrutura previamente definida, de forma a criar um gerar um objecto arquitectónico.

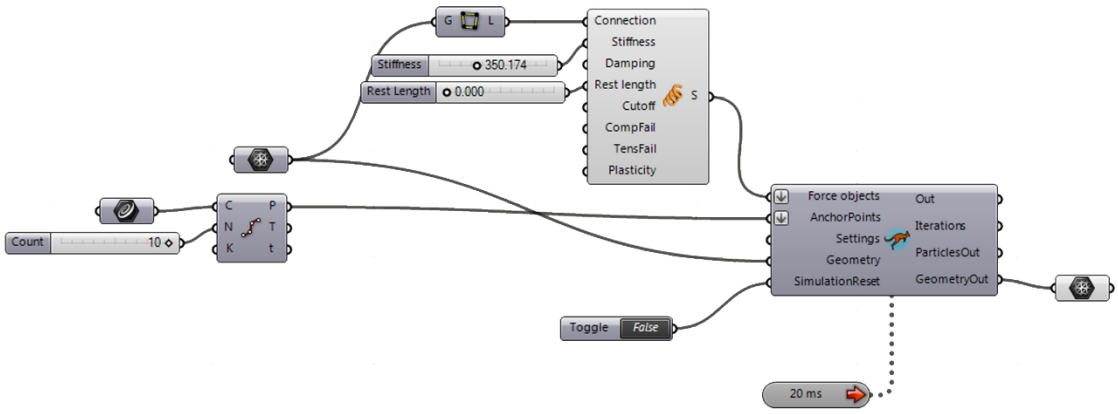


Fig. 68 - Definição paramétrico do relaxamento da membrana através do add-on Kangaroo

A definição paramétrica começa pela transformação das superfícies trianguladas geradas na definição na qual se aborda um padrão enquanto estrutura flexível. Estas

[67] "Membranes are therefore defined through the displacement of particular boundary points and the pre-tensioning forces, which are directly correlated with material form" (Menges, 2008, p. 75)
[68] "dynamic relaxation is a finite element method involving digital mesh that settles into an equilibrium state through iterative calculations based on specific elasticity and material properties of the membrane, combined with the designation of the boundary points and related forces" (Menges, 2008, p. 75)

superfícies trianguladas terão sido criadas com base no comando *4Pt Surface,* uma vez que o *Grasshopper* não dispõe de um comando para a geração de superfícies através de 3 pontos, gerando uma superfície que uniria dois pontos em montanha e um em vale, numa superfície triangular. O comando *Mesh Surface* permite-nos transformar o conjunto de geometrias num objecto em *mesh* referenciado.

A partir destes objectos em *mesh*, encontra-se a necessidade de se extrair as arestas por que é formada, recorrendo-se ao comando *WB Edges*, utilizando-se para tal o *add-on Weaverbird,* cujas ferramentas auxiliam nos processos de transformação, incluindo no trabalho sobre *meshs*. Não se dispondo de vectores de força exteriores, uma vez que não são, nesta abordagem, consideradas forças relativas ao meio, assumem-se as arestas das superfícies como forças de molas, representando a resistência material, actuando como força contrária à da tensão exercida pela estrutura que a tensiona. Estas arestas serão então transformadas em linhas que actuam como molas, através do comando *Springs From Line* presente no *add-on Kangaroo*, comando este que permite o controlo de variadas actuantes na abordagem às forças aplicadas sobre a *mesh*. Estas arestas transformadas em forças de mola são então introduzidas no componente principal da definição paramétrica que aborda o estudo do tensionamento das membranas, o *Kangaroo Physics*, sendo estas introduzidas no *Force Objects*.

Os segmentos de recta que, em conjunto, perfazem a totalidade da estrutura são introduzidas na definição paramétrica da membrana sob a forma de *curves*, e, uma vez que o comando *Kangaroo Physics* apenas assume pontos de âncora, é necessário proceder a uma divisão destes segmentos de forma a encontrar pontos contidos na mesma que actuem como pontos de âncora, usados na fixação da membrana perante a estrutura. Estes pontos são introduzidos no *input Anchor Points* do componente *Kangaroo Physics*, sendo que para tal se executa um *Flattern* no mesmo, para que todos os pontos sejam assumidos da mesma forma pelo comando.

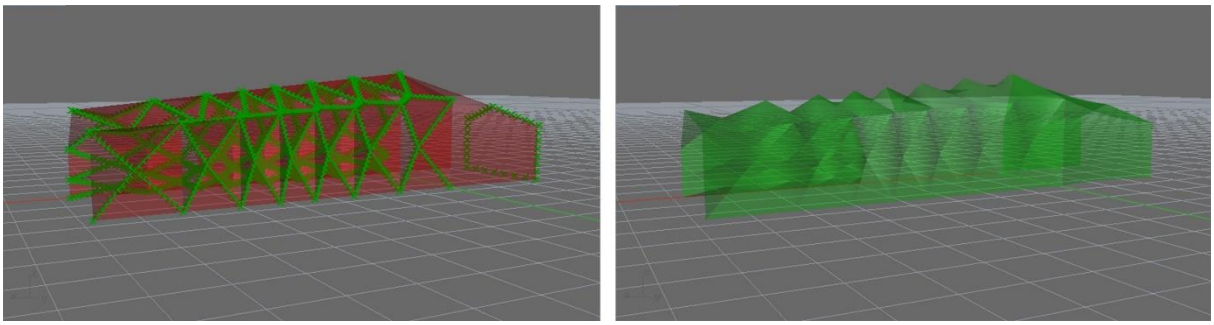


Fig. 69 - Processo de relaxamento da membrana: a) determinação dos pontos ancorados; b) produto final da mesh da membrana.

Finalizada a simulação, e dando por cumprida esta definição paramétrica, procede-se à transposição da geometria obtida para o ambiente de trabalho do programa *Rhinoceros*,

para tal utiliza-se o comando *Bake*, que transforma a geometria seleccionada no *Grasshopper* numa geometria no programa mãe. Já dentro do *Rhinoceros*, tendo um conjunto de *meshs*, procede-se ao comando *Rebuilt Mesh Normals*, de forma a suavizar as superfícies e posteriormente ao comando *MeshToNURB*, uma vez, para além das NURBS se constituírem como definição nativa do Rhinoceros, demonstra-se complexo trabalhar superfícies em *mesh*.

4.2.4.2.1 Entrada de luz – perfurações

Como terá sido demonstrado anteriormente, a luz mostra-se como um factor fundamental quando se aspira a realização de uma proposta de um edifício de carácter sacra. A consideração da incógnita da implantação tem um peso fulcral neste factor, uma vez que não permite conferir uma certeza acerca da entrada de luz directa no espaço. A determinação das perfurações que visam a entrada de luz dentro do edifício prendem-se à materialidade escolhida para actuar enquanto pele da proposta, composta por uma membrana em conjunto com um exosqueleto, assim, as perfurações materializam-se sob a forma de círculos, tendo em conta a malha que compõe a membrana, não sendo passível a abordagem a formas geométricas ângulares, uma vez que o material poderia ceder. Os recortes circulares na membrana levam-nos a recorrer ao processo de corte bidimensional, tendo-se o cuidado de colocar nos mesmos argolas metálicas que previnem que se rasgue.

Nave

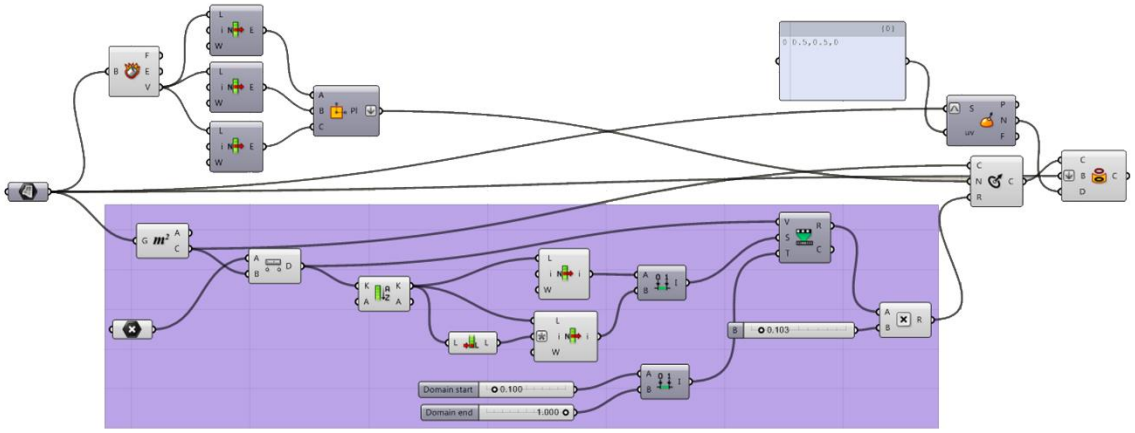


Fig. 70 - Definição paramétrica de attractor points na abordagem às perfurações circulares que visam a entrada de luz no espaço.

Uma vez encontradas as superfícies que compõem a membrana, através da definição de relaxamento da *mesh* no qual se terá recorrido ao *add-on Kangaroo*, encontramo-nos na posse de um conjunto de *meshs*. Uma vez que se demonstra complexo e limitativo o trabalho sobre este tipo de superfícies, toma-se a decisão de transformar as mesmas em superfícies NURBS, assim, procedendo-se ao comando *Mesh To Nurb*, no *software Rhinoceros*.

Retomando o *plug-in Grasshopper*, reintroduz-se as superfícies NURBS no mesmo, encontrando nestas os seus pontos de centro, através do comando *Area*. Efectuando-se uma

explosão das mesmas, através do comando *Brep Deconstruct*, tomando os vértices das mesmas e formando um plano, recorrendo ao comando *Plane3Pt*.

Um ponto será definido em *Rhinoceros*, ponto este que funcionará como um ponto atractor, sendo que através do comando *Distance* serão medidas as distâncias entre este ponto e cada um dos pontos centrais das superfícies introduzidas, sendo que esta distância determinará o domínio cujo qual controlará o raio das circunferências. Posteriormente, o comando *Sort List* organiza as distâncias que, através de um *ListItem* se retira o maior e menor valor, para que se possa criar um domínio máximo e mínimo, através do comando *ConstructDomain*. O comando *Remap Numbers* permite-nos então atribuir domínios numéricos, utilizando-se os valores obtidos no comando *Distance* como *input Value*, que se pretende remapear, o domínio obtido através do *Construct Domain* como *input Source* e é criado um novo domínio, com as dimensões mínimas e máximas cujo raio das circunferências deve obedecer, introduzindo-o como *input Target*. O resultado é então multiplicado pelo factor que se pretende. Recorre-se ao comando *Circle CNR*, cujos *inputs* são o centro, o raio e a direcção, utilizando os pontos centrais da superfície enquanto centro dos pontos, o vector extrai-se a partir dos planos formados anteriormente com o comando *Plane3Pt*, sendo que os resultados do *Remap Numbers* são considerados como raio das circunferências.

As circunferências situam-se, no entanto no plano formado por 3 pontos da superfície NURBS introduzida. Desta forma, é necessário recorrer a uma projecção dos mesmos para a superfície, de forma a poder ser feita a perfuração em cada uma das superfícies. Com este fim, recorre-se ao comando *Project*, utilizando-se os círculos como geometria que se pretende projectar, para que se descubra a direcção, recorre-se ao comand *Evaluate Surface*, explicado anteriormente, que nos oferece os vectores perpendiculares à mesma e como objecto para a qual se projecta, utilizam-se as superfícies originais. A partir do momento em que estamos na posse de todas as geometrias, procede-se a um *Bake* das circunferências, procedendo-se á subtracção das geometrias no ambiente do programa *Rhinoceros*, uma vez que se demonstrava demoroso o processo em *Grasshopper*.

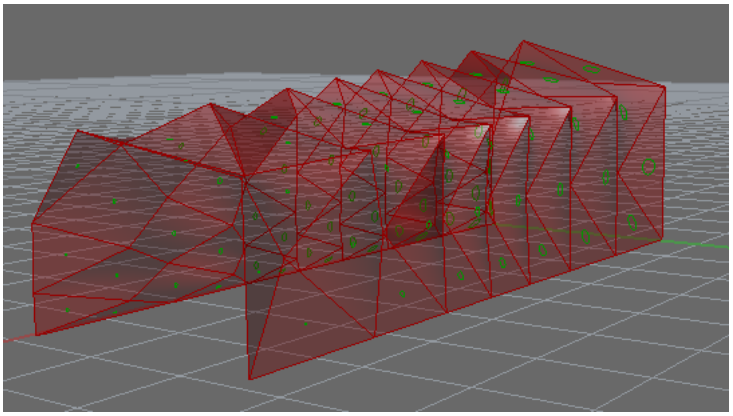


Fig. 71 - Determinação das perfurações na membrana através do uso de uma definição de attractor points

Quadrante do Altar

As perfurações lumínicas no espaço do Altar a Nossa Senhora do Cabo Espichel terão seguido a mesma lógica paramétrica, no entanto, ter-se-á considerada importante a presença simbólica de um dos maiores símbolos e memorandos cristãos – a cruz. Assim, seguindo a mesma toada, é representada no programa *Rhinoceros* uma cruz na superfície do altar-mor, sendo incorporada nas 5 superfícies que a compõem. Esta cruz é introduzida como geometria no *plug-in Grasshopper*, sendo encontrados pontos ao longo desta através do comando *Divide Curve*, pontos estes que vêm substituir o ponto que, na definição anteriormente apresentada,

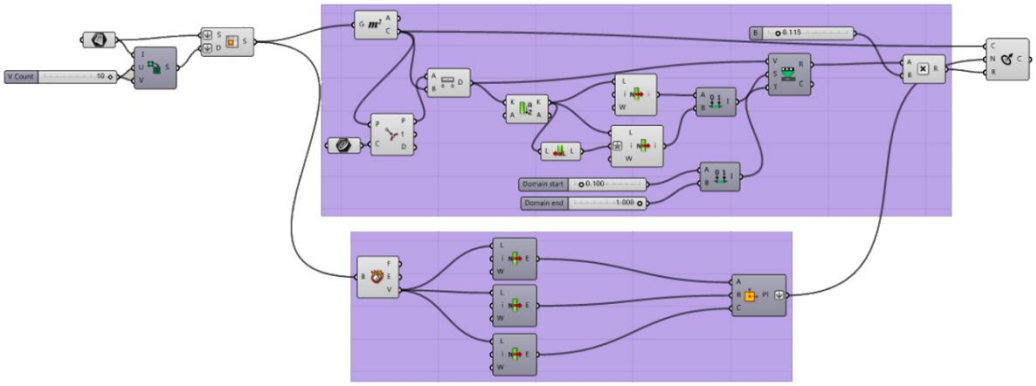


Fig. 73 - Definição paramétrica das perfurações no quadrante do altar-mor através de attractor curve

determinava a distância que controlava o domínio usado no raio das circunferências. Nasce também a necessidade de subdividir as superfícies que compõem a membrana do altar, de forma a valermo-nos de uma malha de pontos na mesma, sendo que para tal se subdividem as superfícies em subsuperfícies, através do comando *IsoTrim*, conforme explanado anteriormente. Uma vez determinadas as distâncias dos pontos centrais das subsuperfícies aos pontos que constituem a linha da cruz, estão reunidos todos os elementos necessários à finalização da definição, sendo que se assumiu a abolição dos círculos mais distantes da geometria da cruz, por um lado devido à perda de leitura da geometria, por outro devido às dimensões exageradamente reduzidas do raio.

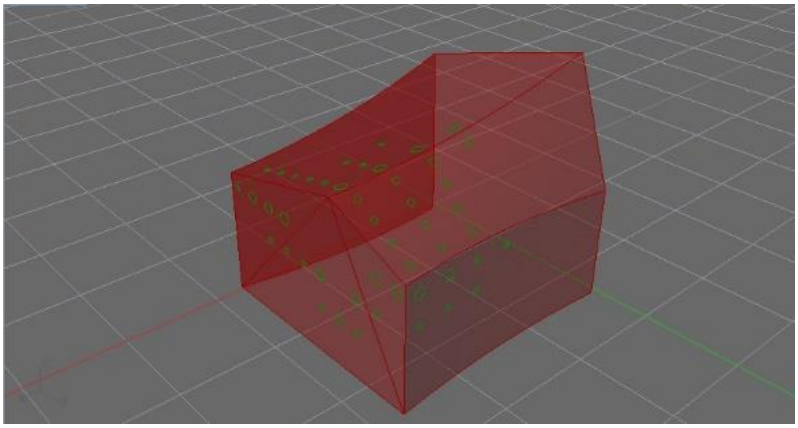


Fig. 72 - Determinação das perfurações nas superfícies do quadrante do altar-mor

4.2.4.3 Laterais

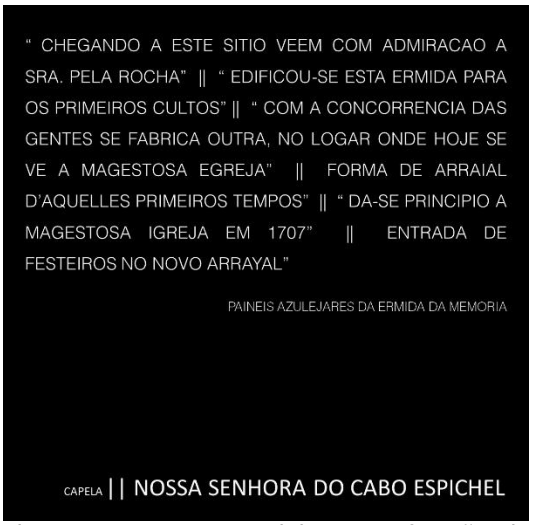


Fig. 74 - Imagem que origina as perfurações da lateral Sul do cubo

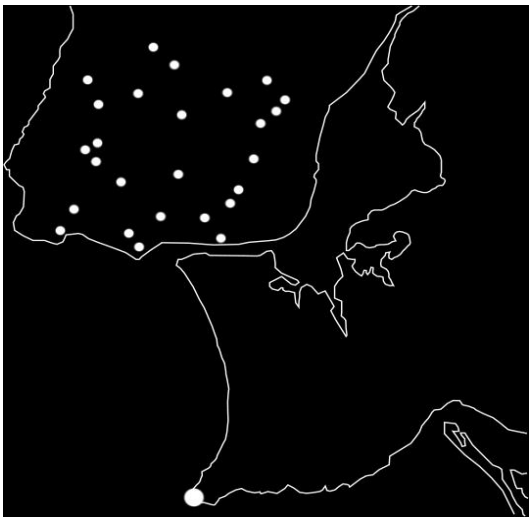


Fig. 75 - Imagem que origina as perfuração da lateral Norte do cubo

O rebatimento da configuração transportável da proposta, o cubo, oferece-nos uma implantação que remonta à cruz, símbolo católico por excelência. No entanto, quando se assume uma volumetria formal tubular, onde apenas da maior dimensão da cruz – a vertical – se faz compor o espaço coberto, gera-nos um problema do que fazer com as laterais a Norte e Sul. Assumindo a importância desta implantação a título simbólico, formal e mesmo prático, o problema das faces laterais é contornado através da sua adopção enquanto ferramenta cultural e educativa. Aceita-se então que o pavimento destas se fazem compor de chapas de aço escovado (2550x2550x10mm) recorrendo-se ao processo de corte bidimensional de forma a perfurar as mesmas, sendo estas perfurações alusivas ao objecto de foco na proposta - Nossa Senhora do Cabo Espichel.Assim, é elaborada uma simples definição cujo objectivo recai sobre a transformação de uma imagem estabelecida – nomeadamente o mapa dos círios saloios e das frases dos painéis azulejares que figuram na Ermida da Memória e nos contam uma história, extremamente resumida, do culto à imagem– em círculos que a delimitam.

No *plug-in Grasshopper* é então introduzida a superfície que se pretende tratar, sendo feita nesta uma grelha de pontos gerada pelo comando *Surface Divide*. É então introduzido o componente *Image Sampler*, cujo *input* é a grelha de pontos gerada, no qual se carrega a imagem, tendo o cuidado de

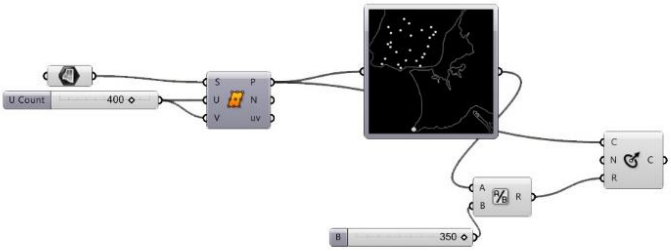


Fig. 76 - Definição paramétrica das imagens que compõem as perfurações nas laterais do cubo

reparametrizar os valores da dimensão da imagem, garantir que a imagem se assume em escala de cinzas e seleccionar o ícone *Interpolate*, o que garante uma harmonia da *imagem*, uma vez que este mistura os pixéis que se posicionam entre a intersecção. O *output* do componente *Image Sampler* é então introduzido num factor de multiplicação que controlará a dimensão do raio assumida em cada círculo, ligando o mesmo ao *input Radius* do componente *Circle CNR*, introduzindo como pontos de centro os pontos da grelha previamente gerada na superfície.

4.2.4.4 Rótulas flexíveis

As rótulas surgem como uma dificuldade encontrada na procura por materiais e sistemas que respondam à base conceptual do projecto e possibilitem a materialização da ideia. Num contexto de trabalho académico realiza-se então um estudo de uma possibilidade, que não ultrapassa o grau de conceptual, em direcção ao contorno desta dificuldade.

Através do *plug-in Grasshopper* efectua-se então uma definição paramétrica de forma a que, teórica e conceptualmente, seja abordada a funcionalidade das rótulas flexíveis que são propostas de forma a contornar a problemática das juntas necessárias à materialização da proposta.

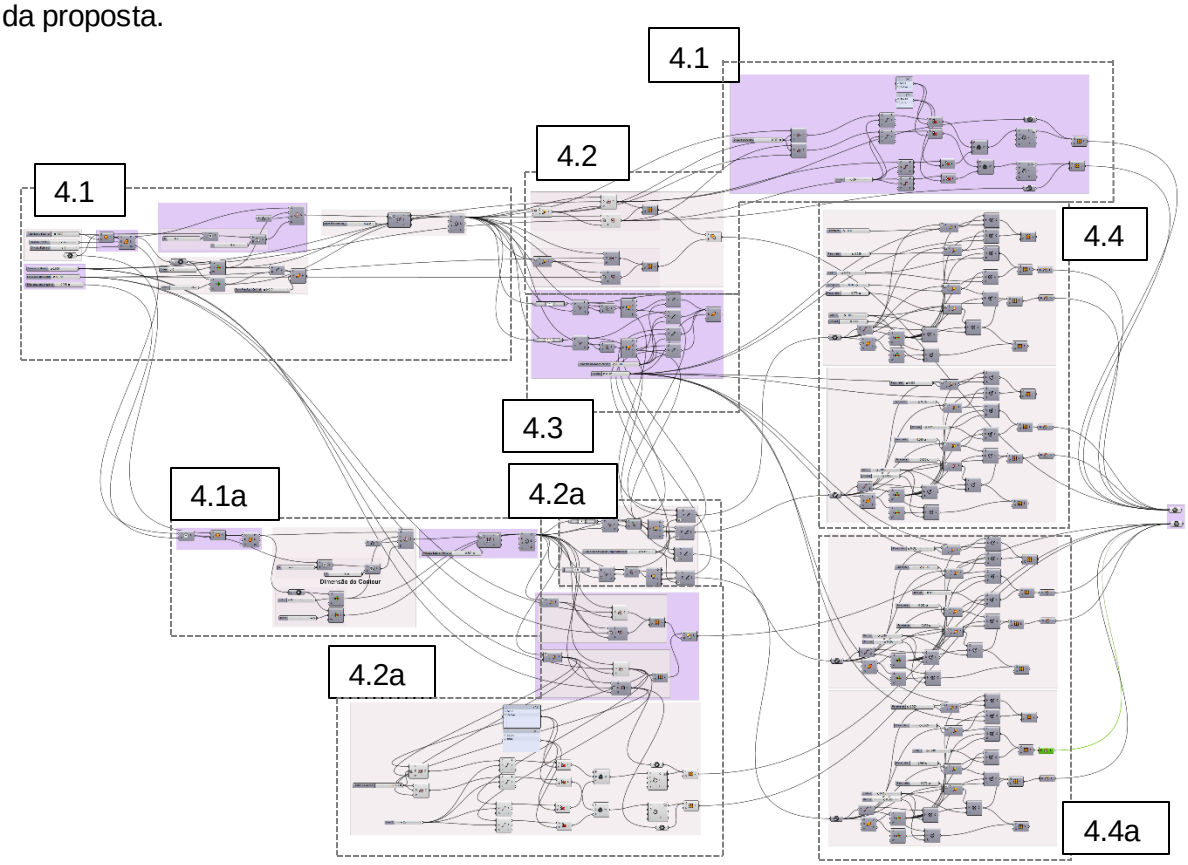


Fig. 77 - Definição paramétrica das rótulas flexíveis

Considera-se que a definição paramétrica que visa o desenvolvimento de rótulas flexíveis assume X processos. O primeiro (4.1) destes prende-se à determinação dos

segmentos de esfera por que é formada a rótula, sendo determinada uma esfera, que se divide horizontalmente, criando secções circulares, a partir dos quais se criará uma curva interpolada que determina a rotação. No segundo processo (4.2) é gerada a superfície que compõe o 'gomo', sendo determinada a largura da sua superfície bem como a abertura

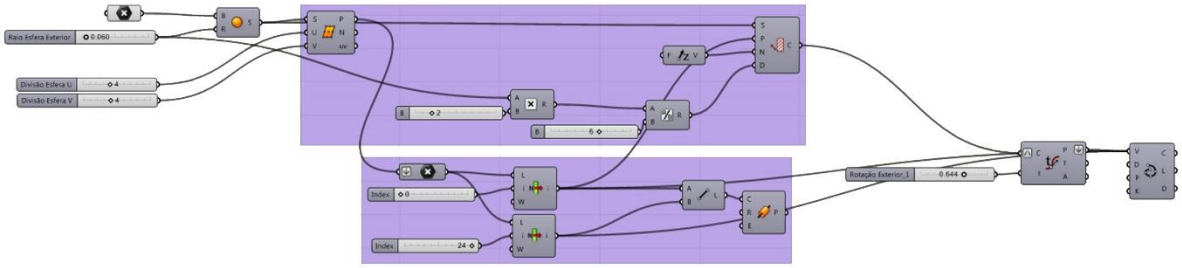


Fig. 78 – Secção da definição paramétrica do controlo de uma das secções de esfera em torno do eixo Z (4.1)

dentada. No terceiro processo (4.3) é controlada a posição ao longo do segmento. No quarto e último processo determina-se (4.4) os tubos e os encaixes dos mesmos nas rótulas.

A abordagem às rótulas flexíveis é feita através de uma esfera, geometria que contempla a possibilidade de uma rotação de 360º, assim é criada uma esfera de raio 0.08m, a partir da qual se encontrarão as suas linhas de contorno no eixo Z, através do comando *Contour*, sendo dividida em secções que distam 0.025m entre elas. Estas linhas de contorno servirão para que seja encontrado o segmento de uma curva que roda em torno do eixo central definido no eixo Z, sendo para tal efectuado um *Evaluate Curve* das mesmas, tendo o cuidado de as reparametrizar, utilizando-se um *Slider* para que se possa determinar directamente qualquer ponto contido nas linhas. A partir dos pontos encontrados nas linhas de contorno, estando estes alinhados devido à utilização de um só *Slider* para todas elas, é criada uma curva interpolada, sendo este o segmento que dará origem ao segmento de esfera, semelhante a um gomo. Para a execução deste segmento é necessário criar um plano perpendicular à mesma que funcionará de plano base para a criação de curvas paralelas, utilizando-se para isso o comando *Offset Loose*, que cria paralelas da curva com base nos seus pontos de controlo, sendo efectuadas duas paralelas, em direcções opostas, de forma a perfazer a dimensão pretendida, 0.04m.

A partir desta paralelas à curva interpolada que controla o movimento de rotação em torno do eixo Z são criadas novas paralelas cujo objectivo se prende em definir a abertura presente nos conjuntos de 'gomos' onde serão encaixados os tubos de que se faz compor a estrutura. Após a criação das curvas paralelas, estas são divididas, através do comando

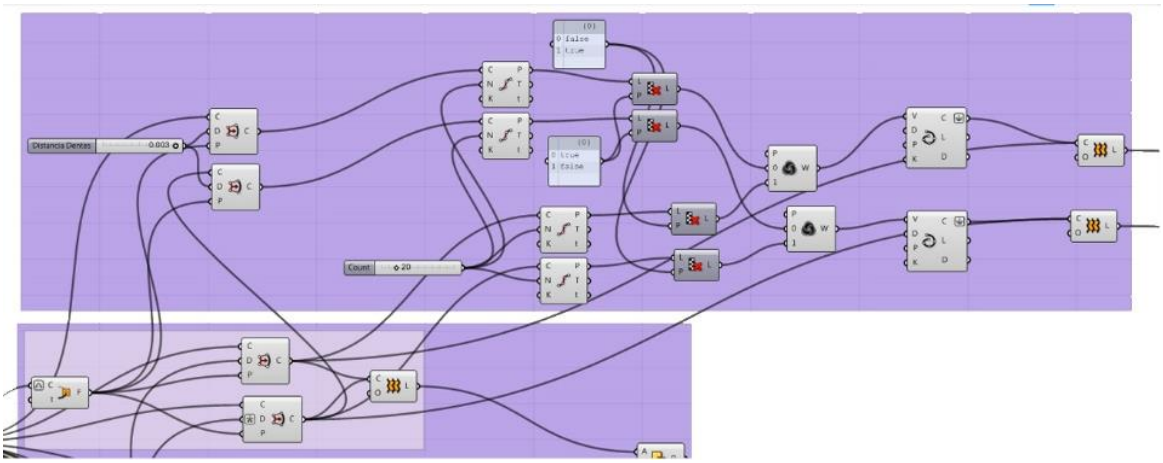


Fig. 79 – Secção da definição paramétrica dos 'gomos' da articulação(4.2)

Divide Curve, encontrando-se um conjunto de pontos, pertencentes às mesmas, procedendo-se á selecção dos que nos são úteis na criação dos 'dentes' que asseguram a fixação dos tubos quando a estrutura se encontra implementada, recorrendo para tal ao comando *Cull Pattern*, segundo um padrão de verdadeiro/falso, executando-se seguidamente o comando *Weave*, de forma a reunir, numa lista apenas, os pontos necessários de ambas as rectas para que se proceda à definição de linhas interpoladas que passam por estes, criando a ondulação pretendida. Tendo-se concluido este passo, procede-se à geração das superfícies que compõem os 'gomos', através do comando *Loft*, sendo importante compreender que cada 'gomo' actua conceptualmente como um conjunto através da reunião de dois elementos individuais, ligados através de elásticos que garantem a distância máxima que se podem afastar, deixando que o tubo se mova ao longo da peça, retomando novamente a sua forma inicial. Dependente do parafuso central, quando se atarraxam, são exercidas forças que travam a rotação dos gomos e o fixam na posição desejada.

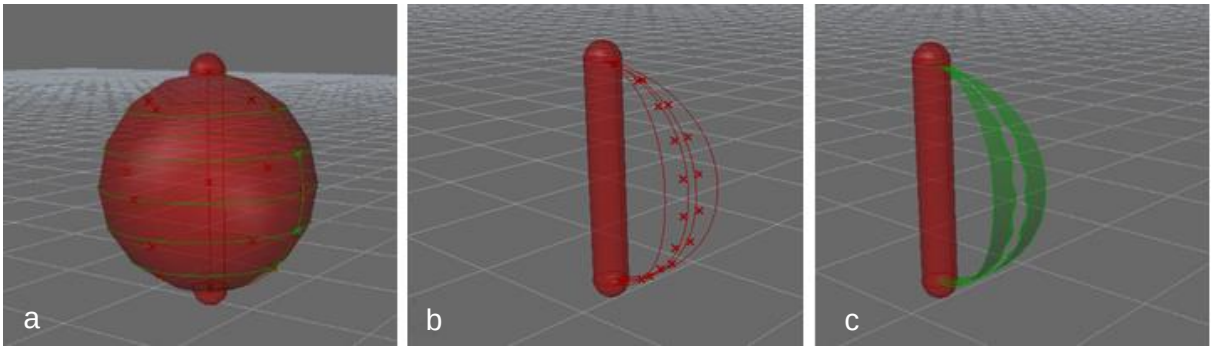


Fig. 80 - Processo de desenvolvimento paramétrico das rótulas flexíveis: a) esfera inicial na qual se encontram pontos pela qual se passa uma curva interpolada; b) Curvas paralelas que compõem cada elemento individual; c) Segmento da articulação

Para que se possa testar o movimento do tubo que perfaz a estrutura no segmento de esfera é necessário retomar as curvas interpoladas criadas anteriormente e recorrer ao *Curve Closest Point*, no qual se encontra o ponto mais próximo contido numa curva, utilizando-se o comando *PointOnCurve* que nos possibilita determinar a posição deste, actuando visualmente

como um *Slider*. Sendo determinado um ponto na curva, cujas coordenadas são variáveis através do *Point On Curve*, é necessário encontrar o plano que lhe seja perpendicular, assim, retomando às curvas interpoladas, é criado um *Curve Frame*, cujo parâmetro a ser avaliado nos é dado no *Curve Closest Point*, procedendo-se posteriormente á desconstrução do plano, com o *Deconstruct Plane*, sendo a partir destas criado uma *Line SDL*, uma linha definida por um ponto inicial – o ponto variável na curva interpolada encontrado no *Curve Closest Point* -, uma direcção – dada pelo *Decompose Plane* - e uma dimensão controlada por um *Slider*.

O processo repete-se para a criação de uma esfera interior, que trará à rótula flexível dois novos eixos em torno da esfera, fazendo assim com que o grau de rotação permitido pela mesma seja o maior possível, uma vez que elas se podem sobrepor até ao centro, onde se encontra o encaixe para o tubo com que se faz compor a estrutura.

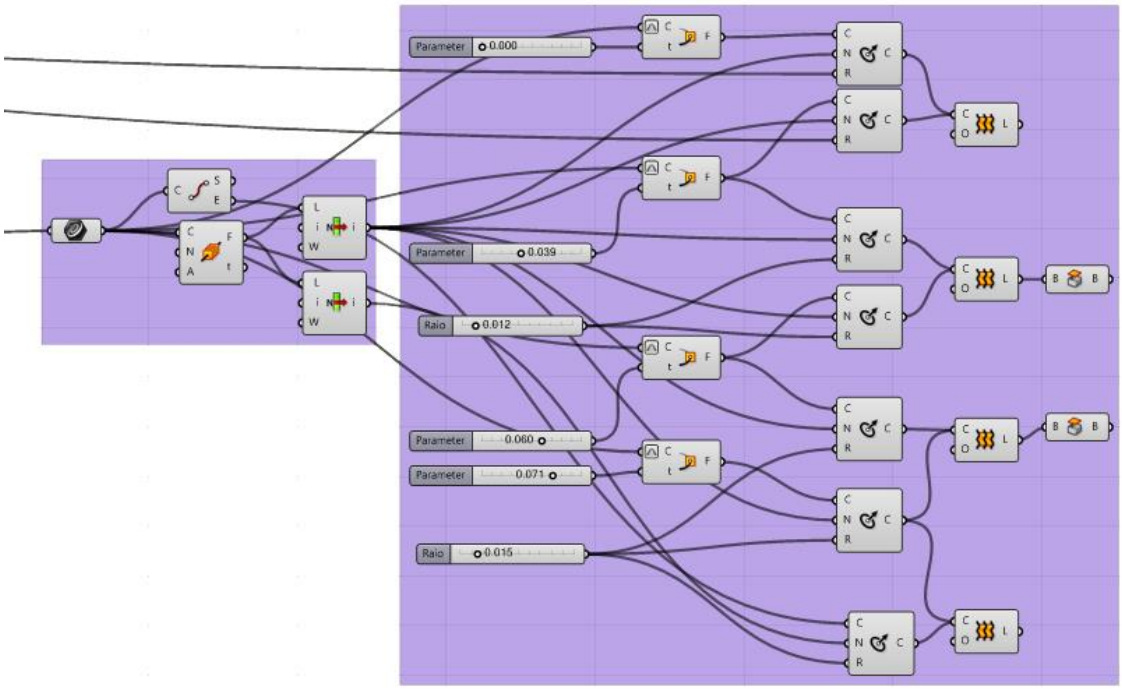


Fig. 81 – Secção da definição paramétrica da representação dos tubos e das suas peças de encaixe na rótula (4.4)

O eixo central, apesar de se apresentar como um parafuso, é representado parametricamente por um cilindro, considerando-se que, numa abordagem de experimentação, a definição exaustiva do mesmo não seria essencial, encontrando-se através dos pontos limite em Z, sendo ligados por um segmento de recta, a partir do qual se efectua o comando *Pipe*, sendo o raio controlado por um *Slider,* de 0.018m, cujo cume foi definido como *Round*, para que este, possivelmente, ao exercer pressão sobre a membrana, não provoque estragos. Este cilindro servirá então de eixo de rotação dos segmentos da esfera – exterior e interior-, sendo também a ligação entre eles, sendo os mesmos encaixados aquando a montagem.

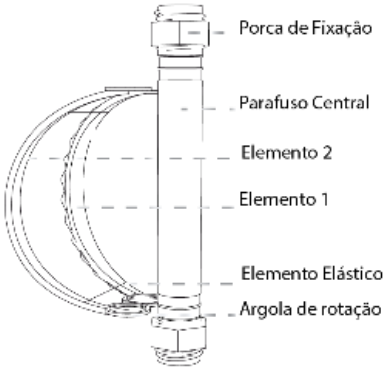


Fig. 83 - Legenda dos elementos que compõem a rótula

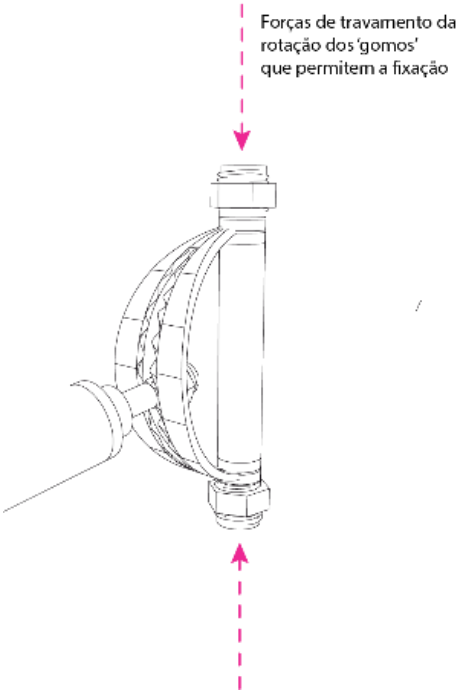


Fig. 82 - Diagrama de actuação da rótula

Apesar dos tubos com que se faz compor a estrutura terem um diâmetro de 0.03, para minimizar o impacto destes sobre as rótulas, de maneira a que não limitem a rotação para que estão pensadas, ou mesmo para que a dimensão do raio das esferas com que parametricamente as rótulas são controladas, ter-se-á definido que os tubos tivessem como limites 'grampos' que se encaixassem nos mesmos e nas rótulas, sendo estes compostos por uma rosca e um travamento interior, que quando as mesmas atingissem a posição necessária à estabilização da estrutura permitissem uma fácil e rápida forma de travamento, um aparafusamento, exercendo estas pressão entre o segmento da rótula e a 'rosca' a ser apertada, não exigindo assim mão-de-obra especializada para a sua montagem.

Como é demonstrado na figura 84 as rótulas presentes na estrutura apresentam diferentes casos de necessidades (Anexo VII), podendo encontrar-se casos em que existe a necessidade de um, dois ou quatro segmentos de esfera por rótula flexível, assim, a montagem das mesmas respeita a lógica em todos os casos de forma semelhante, sendo montadas apenas o número de segmentos necessários, podendo assumir-se no mesmo segmento um ou dois encaixes para a estrutura tubular.

No panorama de trabalho académico e como referido anteriormente, o estudo das rótulas flexíveis assume-se como meramente teórico e conceptual, não tendo havido testes além das experimentações paramétricas que assegurem o seu correcto funcionamento, e, assumindo a falha interdisciplinar, não é proposto qualquer material para a materialização das mesmas, assumindo-se também que as dimensões consideradas poderão ser questionáveis.

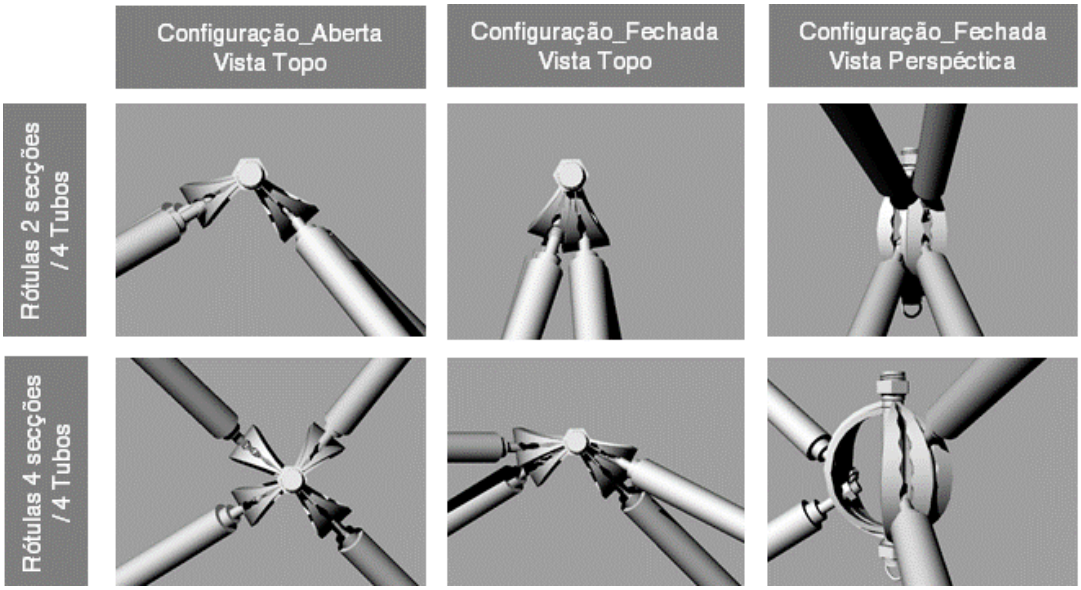


Fig. 84 - Diagrama comparativo da configuração das rótulas propostas

4.2.4.5 Do conceptual ao materializável

Apesar de não ser um ponto de extensamente contemplado na presente dissertação, considera-se importante, de um ponto de possível materialização da proposta, a ponderação da sua fabricação. Num contexto de trabalho académico e assumindo-se que não foi contemplada a experimentação material da proposta, elaboram-se de seguida algumas considerações sobre a possível materialização da proposta apresentada.

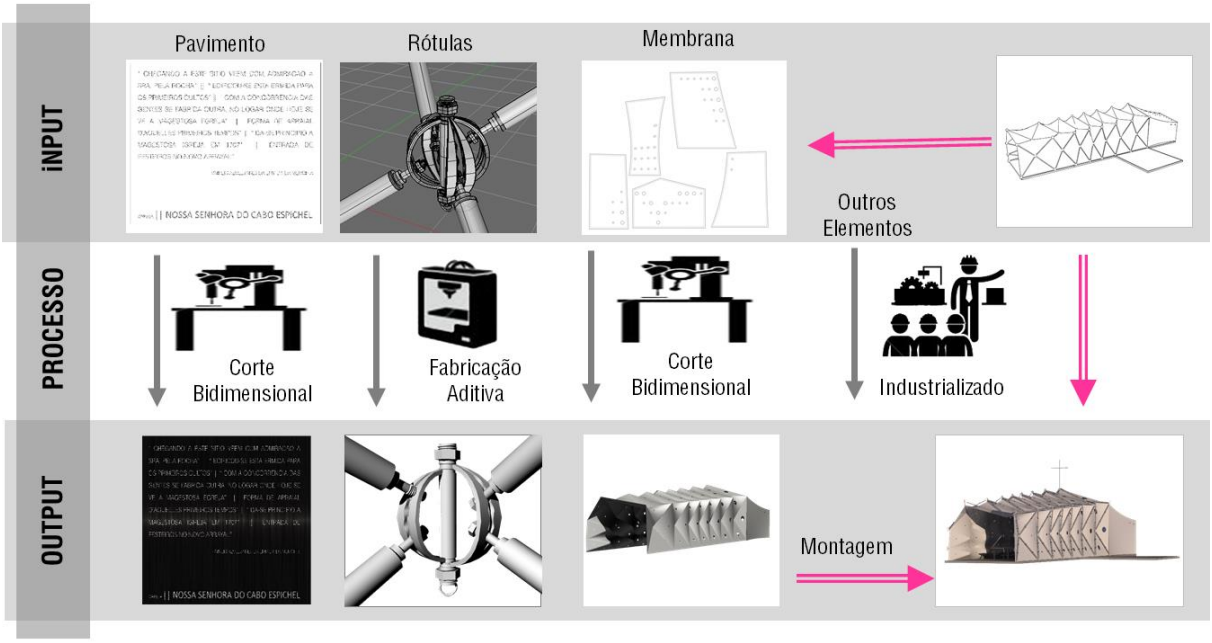


Fig. 85 - Hipótese de fabricação dos elementos

Considerações do material

Membrana – A escolha do material – membrana branca composta de tecido de poliéster com revestimento de PVC – justifica-se por este se considerar elástico, sendo fácil a sua aplicação a estruturas tensionadas, apresentando a facilidade de ser colado a quente, considerando-se especialmente apropriado para a aplicação à arquitectura transformável. No que diz respeito à transmissão de luz, as membranas conseguem-se coeficientes de transmissão em percentagens que variam entre 3 a 20%. No que diz respeito à durabilidade, no caso da aplicação à proposta, esta considera-se aumentada, uma vez que, apesar da durabilidade deste tipo de membranas apresentar-se entre os 20-25 anos – o ciclo do círio para o qual é desenvolvida – e de ser uma aplicação exterior, é de salientar que, à partida, ela se encontrara implementada durante o mês de Setembro, ou seja, 30 dias por ano, reduzindo assim o impacto causado pelos agentes climáticos – temperatura, humidade, radiação solar e ventos. Na questão da manutenção, assume-se que se devem prever limpezas periódicas, quanto à eventual reparação – dependendo do grau de gravidade –, esta pode normalmente ser efectuada grau de gravidade – in loco, não sendo o caso procede-se à desmontagem da mesma.

Rótulas – Compreendendo-se a multidisciplinariedade requerida no desenvolvimento do projecto que se apresenta, não é proposto um material específico param a fabricação as rótulas, uma vez que esta determinação dependeria de análises estruturais e conhecimentos aprofundados no campo da engenharia, não sendo estes contemplados na presente dissertação.

Tubagem da estrutura – A estrutura é composta por tubos de aço galvanizado de 30 mm de diâmetro, 5 mm de espessura, sendo o seu comprimento variável.

Pavimento – No pavimento são aplicadas placas de aço escovado negro (2570 x 2570 x 50 mm), devendo-se a sua aplicação a aspirações estéticas, sendo importante o contraste com a membrana branca, cuja reflexão se fizesse sentir apesar de ser pouco notória, tendo-se em consideração que, uma vez aplicado ao pavimento, este teria de apresentar atrito.

Restantes elementos construtivos – Por uma questão prática, aceita-se que todos os elementos construtivos presentes na proposta e não descritos anteriormente, se encontram disponíveis no mercada, assumindo-se a sua utilização por questões práticas.

Processos de fabricação

Membrana - De uma forma generalista, consideram-se duas hipóteses distintas de fabricação da membrana: a primeira e mais corrente, recai sobre as técnicas de corte bidimensional, largamente utilizadas na fabricação digital, e recorrentemente aplicada ao *folding; a segunda* das hipóteses recai sobre a fabricação formativa, um processo no qual são aplicadas forças no material de forma a atingir a forma pretendida através da deformação dos mesmos. A proposta apresentada baseia-se, no entanto, na primeira hipótese, reconhecendo-se o afastamento da dobragem efectiva do material, tendo em conta que se apresentam superfícies de dupla curvatura, procede-se à planificação das superfícies por que é constituída a proposta, tornando-a bidimensional e passível a ser cortada nas máquinas disponíveis, sendo que após o corte, procede-se à montagem das peças para que a superfície actue como uma.

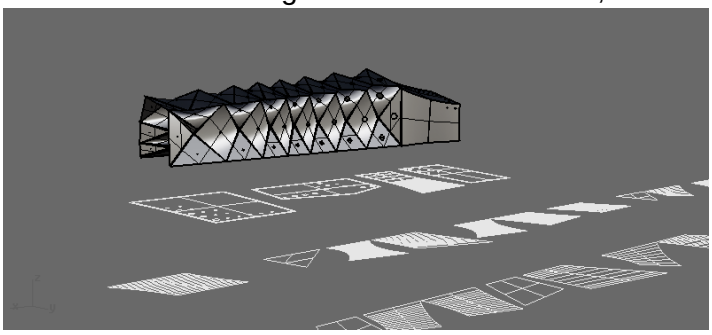


Fig. 86- Modelo da membrana com conjunto de superfícies planificáveis

Assim, depois de se transformar a *mesh* numa *polysurface*, procede-se ao desenrolar da superfície (*Smash*), tendo-se o cuidado de garantir que a mesma não se sobrepõe nem altera as dimensões previstas, assegurando-se assim o controlo sobre as possíveis lacunas geradas pelo *software*. Uma vez planificados todos os segmentos de superfície por que é composta a membrana, desenha-se uma paralela ao seu contorno, sendo estas irão actuar enquanto juntas, permitindo a colagem e evitando que esta se desfie. Tem-se, também, em consideração as dimensões de cada uma das peças, tendo em mente o tamanho dos rolos do material bem como das máquinas de corte. Os recortes circulares na membrana levam-

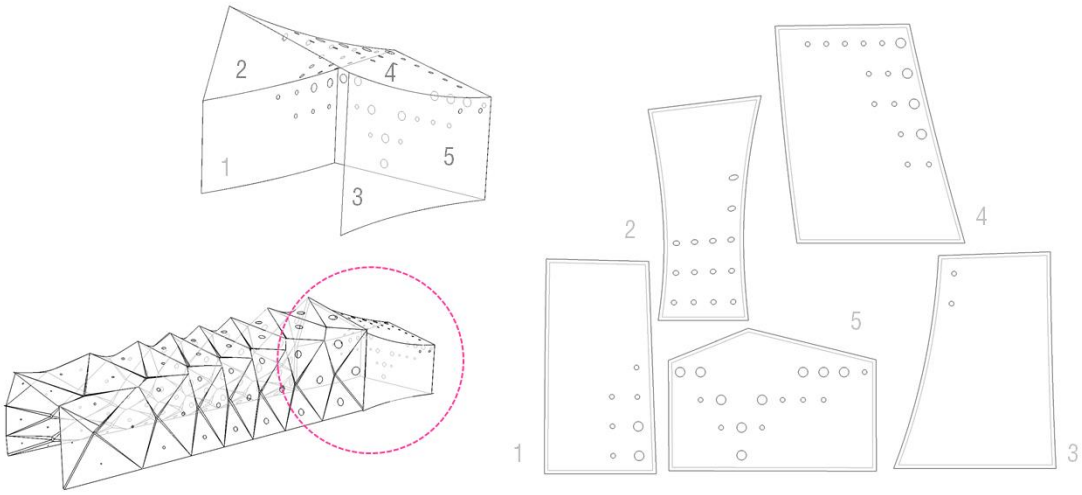


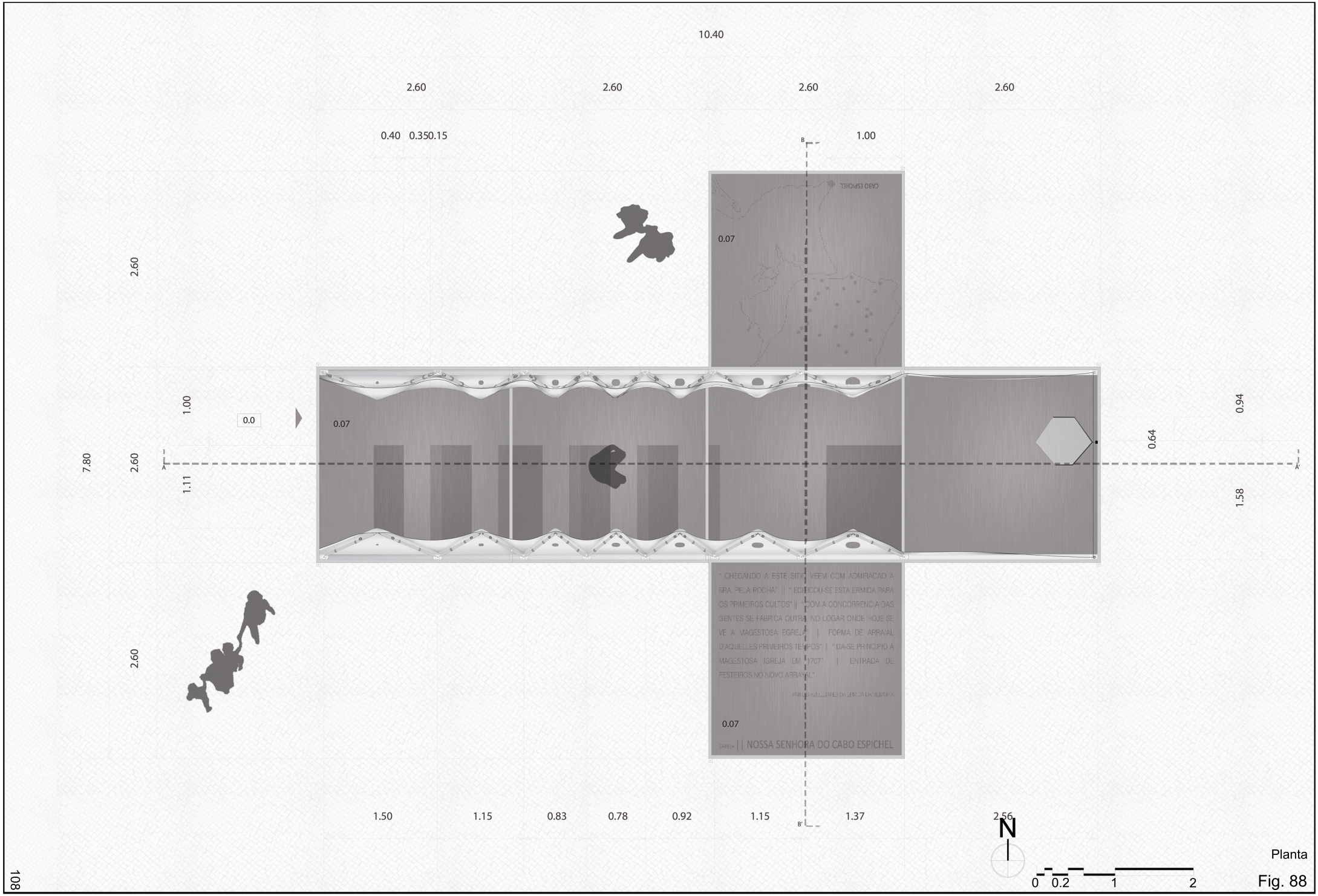
Fig. 87 - Planificação de uma secção da membrana

nos a recorrer ao processo de corte bidimensional, tendo-se o cuidado de colocar nos mesmos argolas metálicas que previnem que se rasgue.

Rótula – Apesar de não se especificar um material, compreende-se que a fabricação das rótulas poderia recair sobre o processo de fabricação aditiva, apresentando-se nos dias que correm, inúmeras opções de materiais que podem ser fundidos, sendo o objecto criado *layer-by-layer,* sendo posteriormente montado. Como modelo para impressão tridimensional seria utilizado o modelo das rótulas proposto, sendo separado de forma a cada um dos elementos ser impresso individualmente.

Pavimento – A proposta apresentada contempla a perfuração das chapas de aço escovado, sendo estas perfurações circulares de diferentes dimensões, assume-se que o processo do seu fabrico digital mais adequado seria o de corte bidimensional, sendo importante a ponderação da espessura e a densidade do material.

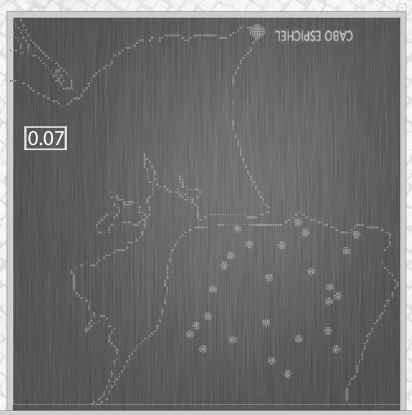
Capítulo V
Representação da Proposta



Planta

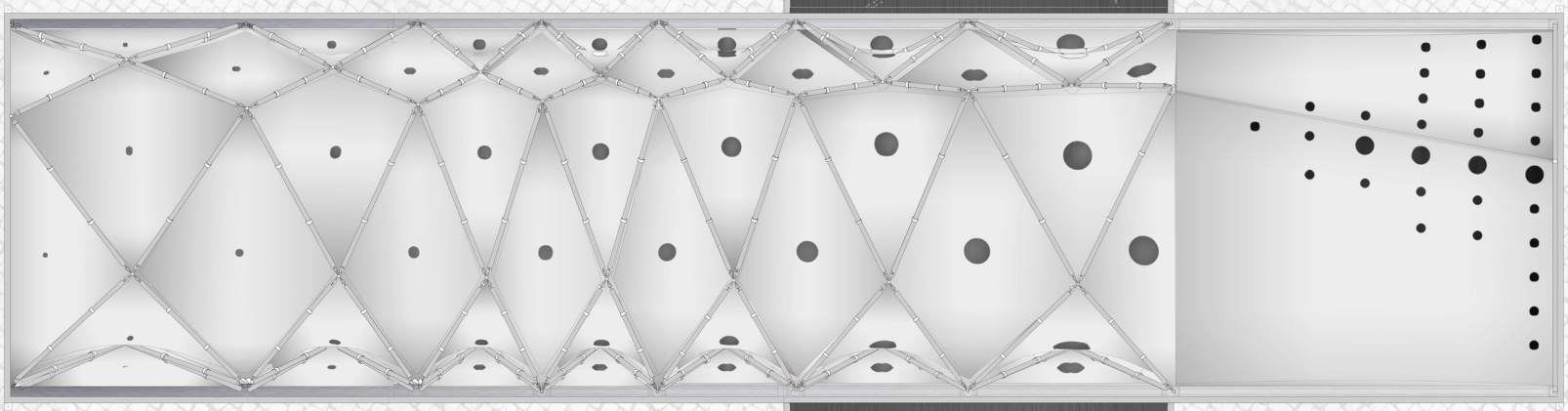
Fig. 88

B



0.0

A



A′

" CHEGANDO A ESTE SITIO VEEM COM ADMIRACAO A SRA. PELA ROCHA" || " EDIFICOU-SE ESTA ERMIDA PARA OS PRIMEIROS CULTOS" | " COM A CONCORRENCIA DAS GENTES SE FABRICA OUTRA, NO LOGAR ONDE HOJE SE VE A MAGESTOSA EGREJA" | FORMA DE ARRAIAL D'AQUELLES PRIMEIROS TEMPOS" | " DA-SE PRINCIPIO A MAGESTOSA IGREJA EM 1707" | ENTRADA DE FESTEIROS NO NOVO ARRAYAL"

PRIMEIRAS ZULLIAPES DA IGREJA DA VILLA OF A

0.07

CAPELA || NOSSA SENHORA DO CABO ESPICHEL

B′

N

Planta de Cobertura

0 0.2 1 2

Fig. 89

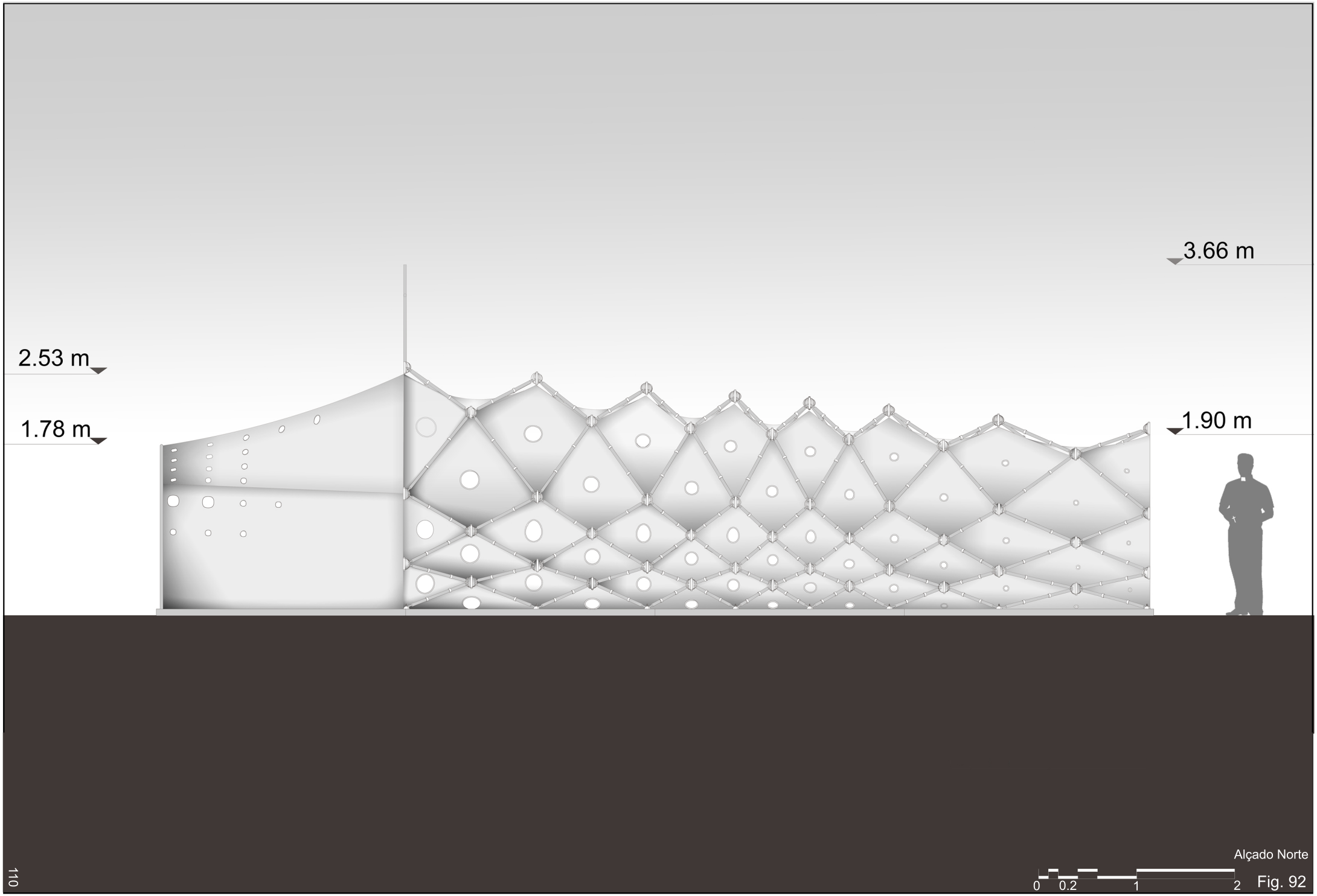
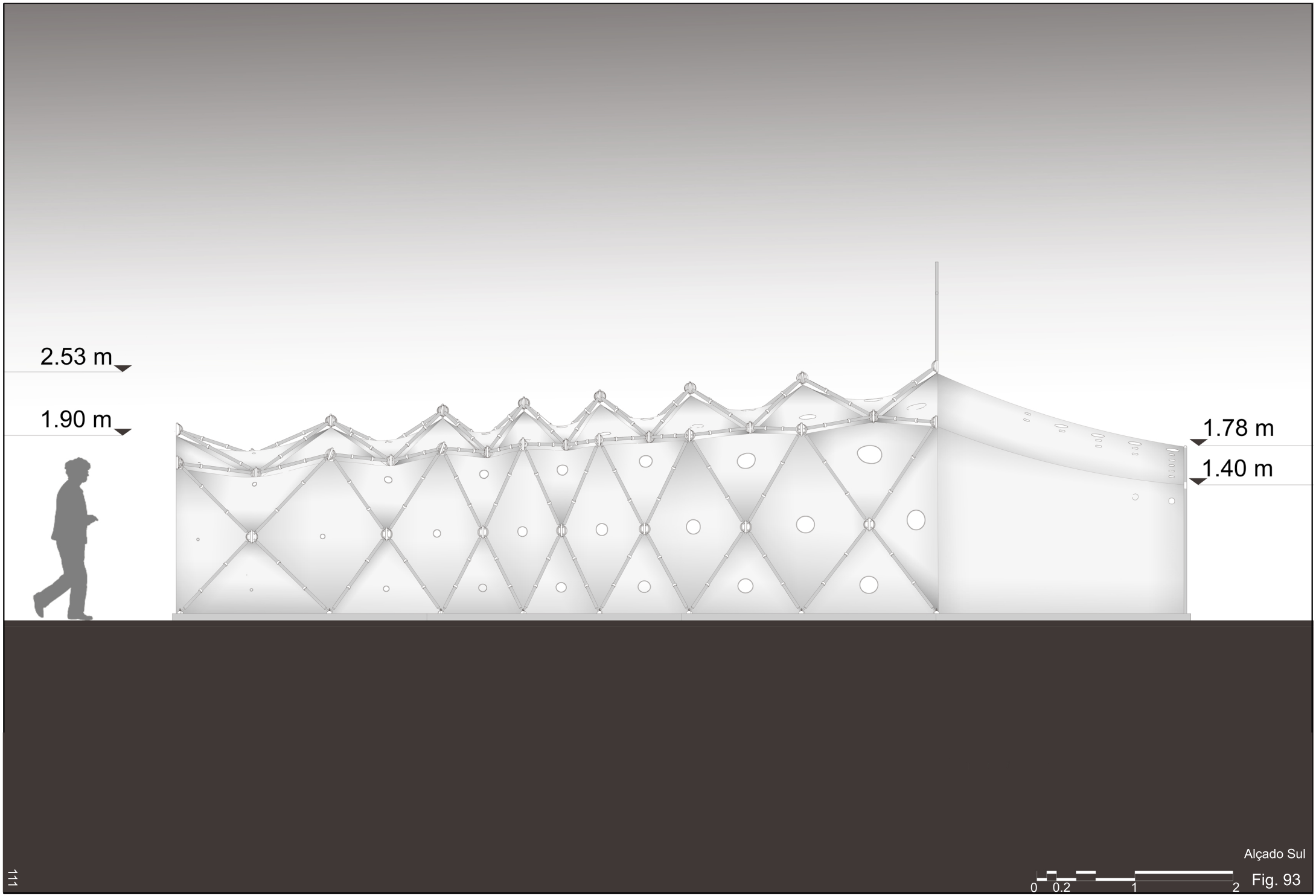


Fig. 92



Alçado Sul

Fig. 93

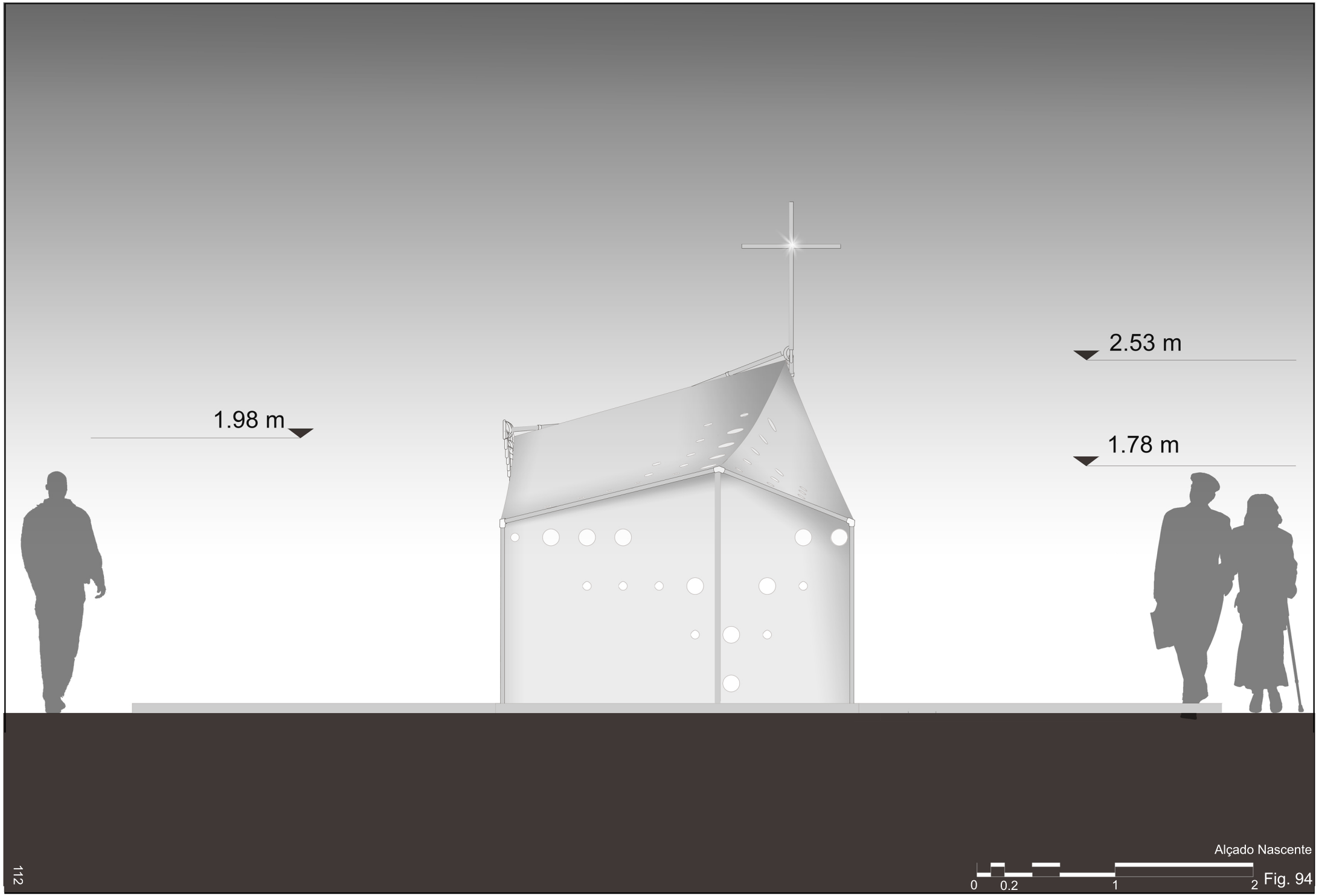
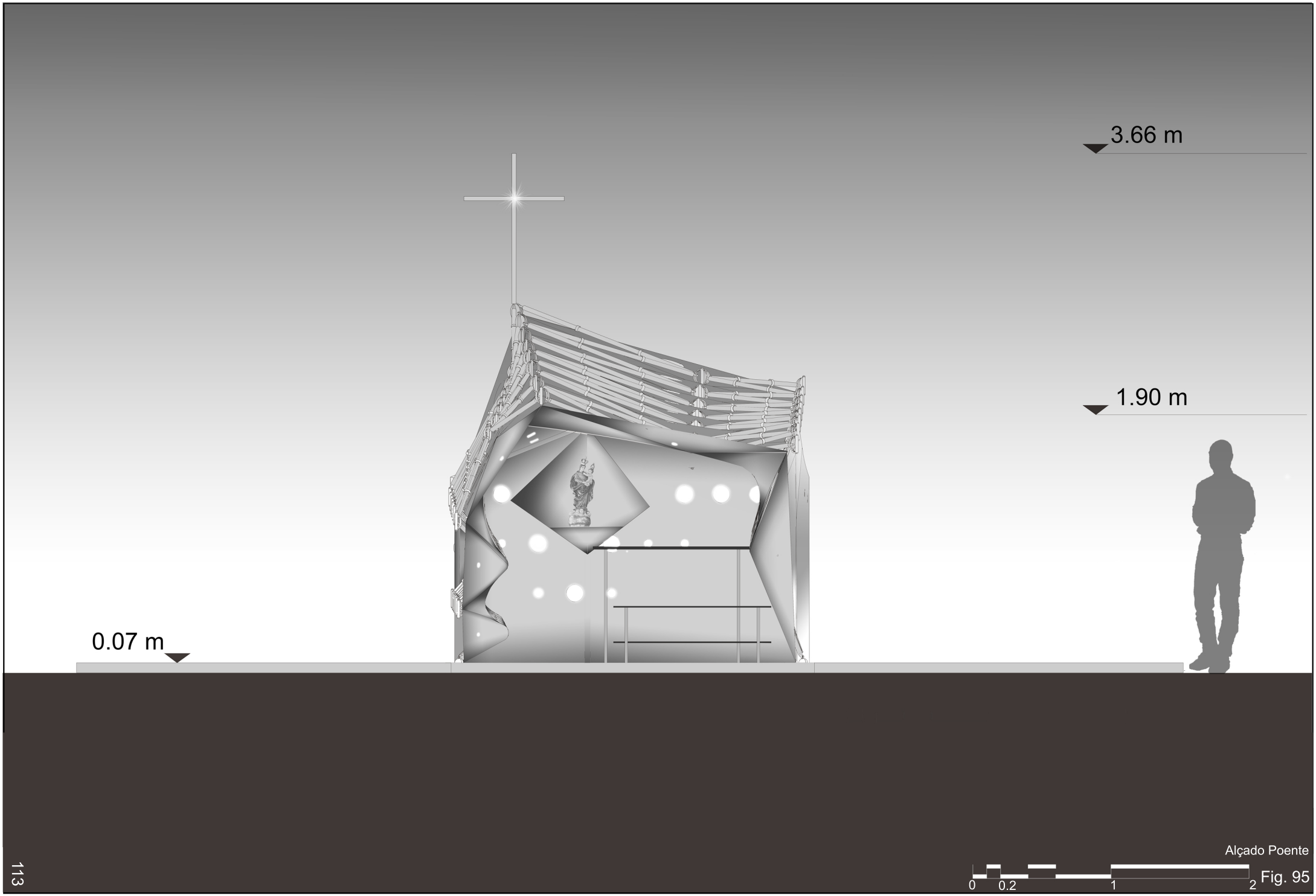
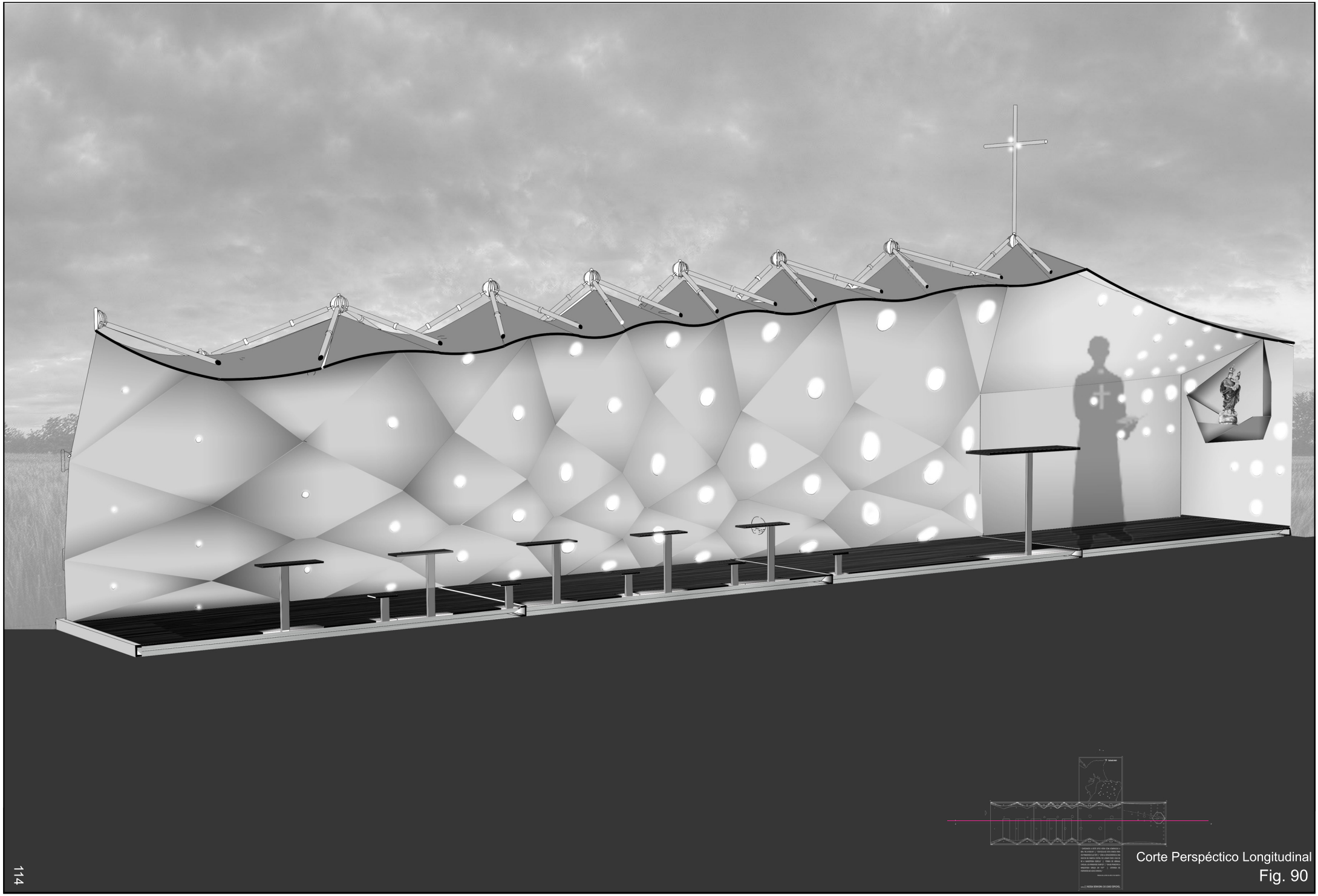


Fig. 94

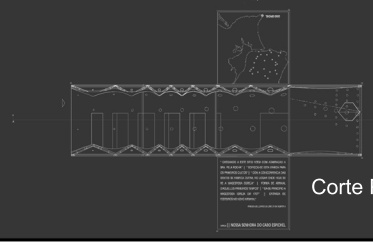


Alçado Poente

Fig. 95



Corte Perspéctico Longitudinal
Fig. 90



Corte Perspéctico Transversal
Fig. 91

Render com fotomontagem Exterior – Hipótese de Implantação.

Fig. 96

Render com fotomontagem Interior

Fig. 97

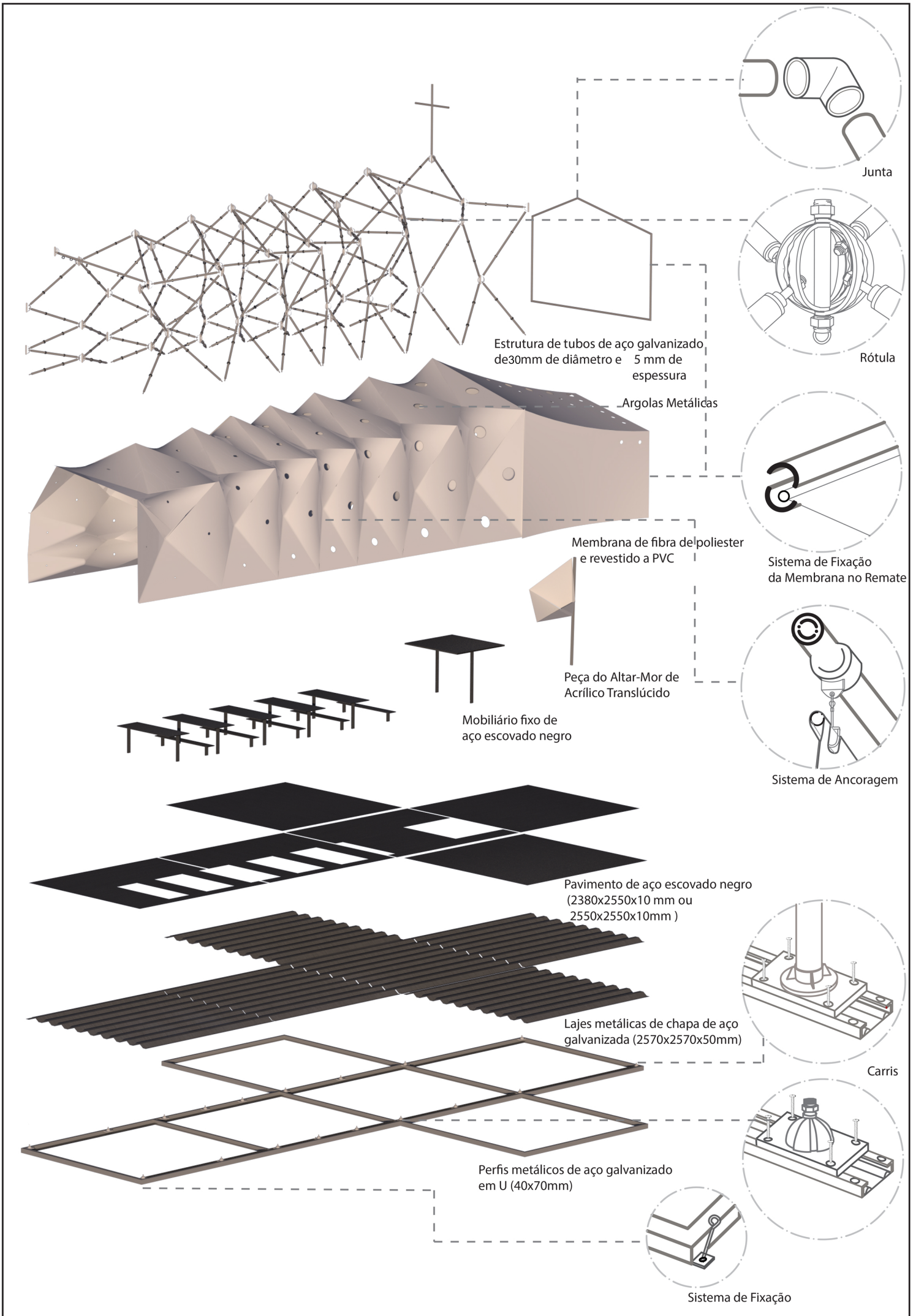


Diagrama de Materiais e Detalhes Fig. 98

Conclusão

A ideia de objecto estático, imutável e permanente encontra-se intimamente enraizada no pensamento arquitectónico, preconceito secular sobre o qual a maioria da produção arquitectónica se tem vindo a sedimentar. As limitações desta arquitectura estática e rígida no contexto urbano têm vindo a ser exponencialmente evidenciadas como consequência da globalização e das tecnologias da informação, tendo vindo a fomentar a reflexão sobre a mesma. Emerge, assim, naturalmente a ideia de flexibilidade na arquitectura, conceito tão antigo como a própria, face à evolução social e demanda económica que se fazem sentir, compreendendo em si a capacidade de se adaptar aos variados requisitos da envolvente, novos sítios, novas tecnologias ou mesmo nova função ou configuração.

A arquitectura sacra aparece-nos enquanto alusão à perenidade, à sedimentação, ao testemunho cultural de uma tradição que se faz espelhar numa sociedade, num contexto no seu sentido mais abrangente. Toma-se então ao longo da dissertação uma postura de reflexão crítica perante estes conceitos sólidos e imutáveis, fazendo-lhe uma abordagem na qual se tenta introduzir a liberdade e a flexibilidade de forma a conceder à proposta uma perspectiva contemporânea, cujo reflexo espelhe as pessoas dinâmicas, progressivas e adaptativas que hoje somos. No carácter itinerante do culto a Nossa Senhora do Cabo Espichel encontra-se a ideia motriz sobre a qual se debruça o desenvolvimento da dissertação, aparecendo como manifestação cíclica tradutora do objectivo que se pretende – o desenvolvimento de um espaço transportável – actuando como aglutinador da arquitectura transformável e transportável à celebração da identidade religiosa.

O fundamento da dissertação prende-se então à compreensão teórica das implicações da arquitectura religiosa aliadas aos princípios da arquitectura transformável, explicitados através de conceitos, teorias e métodos abordados sob uma perspectiva de aplicação no desenvolvimento do projecto, exigindo um contacto com diversas áreas do conhecimento, tendo sido fundamental o percurso académico, utilizando como ferramentas conceitos e métodos apreendidos nas mais variadas áreas do plano curricular.

Dissimilando o mundo do design computacional em oposição ao design manual, considera-se crucial a compreensão de que o primeiro acarreta consigo termos e processos que, nos dias que correm, ultrapassam o campo da representação e atingem novas e inesperadas formas, o que se traduz não só na rapidez e facilidade do processo de concepção arquitectónica, mas numa maior liberdade face à exploração, implementação e desenvolvimento de um projecto inteiramente através das novas estratégias e ferramentas trazidas pelo conceito de digital. Assim, a abordagem metodológica projectual levada a cabo na dissertação foca-se no desenvolvimento de um objecto arquitectónico num ambiente estritamente digital, compreendendo-se as limitações que a opção acarreta, nomeadamente no campo da experimentação física e de testes materiais.

Compreende-se, ao longo do desenvolvimento da dissertação, a evidente relação entre as possibilidades oferecidas por um programa cujos limites se encontram nas capacidades apresentadas pelo utilizador, sendo crucial o conhecimento do programa a um nível aprofundado, permitindo uma aceleração e simplificação do processo, funcionando o desenvolvimento deste trabalho, também, como catalisador das capacidades, sendo que o conhecimento adquirido terá sido exponencial e proporcional ao tempo que se foi investindo no mesmo.

Adopta-se o sistema de *Folding*, numa incidência a um padrão de *origami*, enquanto processo morfogénico, utilizando-se o mesmo enquanto ideia motriz na abordagem paramétrica, reconhecendo as potencialidades dos sistemas paramétricos quando se desenvolve um projecto com um determinado nível de complexidade e relações geométricas e numéricas definidas, sendo importante ter em conta a distância entre o objecto idealizado e a materialização do mesmo, dando-se, no presente caso, um ênfase à experimentação digital.

Após a fase de desenvolvimento da primeira definição paramétrica – o *folding* rígido- , na qual se terá seguido um processo focado na exploração, experimentação e selecção, ter-se-á percebido que as premissas formuladas não respondiam da forma esperada, persistindo uma falha no sistema quando se tentava compactar o padrão, funcionando o mesmo apenas sob uma perspectiva de desdobramento plano. Não tendo sido utilizado o padrão de Yoshimura como base geométrica na abordagem paramétrica, mas sim um padrão desenvolvido e alicerçado no mesmo, compreende-se que a utilização de um sistema rígido, que se apresentaria mais facilmente fabricável e construível, produzia diversos graus de limitações quando se lhe conferia espessura - problema que seria contornável - no entanto desejava-se obter uma distorção geométrica, de forma a obter um padrão irregular composto por peças diferenciadas e não simétricas, o que impossibilitaria a capacidade de encerramento da estrutura, que se considera essencial. A reflexão crítica do padrão formulado, seguido da reformulação do mesmo, leva-nos à evolução da proposta, assumindo esta contornos drasticamente diferentes do que havia sido esperado, encaminhando-nos num contexto construtivo - o estudo da membrana - que, apesar de não ser o esperado inicialmente, se enquadra igualmente nas premissas apresentadas que dizem respeito tanto à arquitectura transformável, quanto à técnica de *folding.* A criação paramétrica ter-se-á desenvolvido em compasso com o projecto, cujas relações geométricas terão determinado o processo de evolução do mesmo, sendo que as várias etapas foram nascendo à medida que se elevavam as necessidades apresentadas, podendo-se destacar a fase de parametrização do padrão, a fase do estudo da membrana, a fase do estudo das entradas de luz e posteriormente, a fase do desenvolvimento das rótulas flexíveis.

A relação entre o programa proposto anteriormente, que confere a transformabilidade

e a transportabilidade a um objecto arquitectónico dedicado à prática religiosa – concretamente à devoção a Nossa Senhora do Cabo Espichel -, aliado ao processo de morfogénese escolhido para a sua materialização terá elevado constrangimentos que se mostraram excessivos e complicados de contornar, levando à limitação formal da proposta. Considerava-se imperativo seguir dimensões que lhe conferissem o carácter transportável, não podendo exceder os máximos estipulados para transporte rodoviário, bem como seguir as relações geométricas impostas pelo padrão de *origami* escolhido para a deformação, que lhe confere a transformabilidade, limitando assim a proposta ao nível da implantação, dimensionamento e forma volumétrica. Dado o carácter itinerante da proposta, não foi considerada a influência no local ou no meio ambiente, ter-se apenas definido a sua orientação a título de controlo de luz, sendo importante salientar que, devido á incerteza sobre a implantação se considera apenas enquanto luminosidade e não como entrada de luz directa. Opta-se assim por contemplar conceitos mais subjectivos, evidenciando-se conceitos de valor simbólico que funcionam como catalisadores e inspiradores na determinação do projecto de carácter religioso.

A ponderação do Modelo de Gestão para o Projecto de Estruturas Transformáveis terá constado ao longo de todo o processo de desenvolvimento do projecto, culminando numa reflexão crítica sobre a resposta da proposta às premissas elevadas por Maziar Asefi. Confinando em si três elementos fulcrais – o transporte, a implementação e o armazenamento – o cubo assume-se enquanto elemento primário, oferecendo-nos uma resposta no âmbito da expansão, transporte e implementação da proposta. Contemplando as dimensões necessárias de forma a permitir o transporte segundo um meio rodoviário, quando rebatido oferece-nos também a implantação da proposta – a cruz latina – sendo que dentro deste se encontra a totalidade do edifício, estando a sua estrutura rebatida no interior da geometria. A estrutura proposta, que visa a transportabilidade, necessita apenas de ser montada uma vez, juntando todos os elementos, sendo que para cada transporte, a estrutura é simplesmente compactada e armazenada no cubo. No momento da sua implantação, a configuração de transporte transforma-se então na configuração da implantação, sendo que as faces do cubo se transformam no pavimento da capela, que, após a sua extensão, a sua estrutura, ligada a carris que facilitam a implementação da mesma, necessita apenas de que seja fixada ao terreno – através de estacas – e de que a sua estrutura seja travada – operação para a qual são somente necessárias duas pessoas, tendo-se em mente a importância da simplicidade da facilidade de execução. A ponderação sobre os custos não se contempla, uma vez que estão presentes elementos, nomeadamente as rótulas, que são propostas pela autora num âmbito conceptual de trabalho académico, não se podendo, assim, antever os custos relativos à fabricação das mesmas. A escolha dos materiais prende-se, por um lado, à consideração

da beleza e funcionalidade, por outro á manutenção e reparação. No que diz respeito á beleza e funcionalidade, compreendem-se as limitações impostas pelo padrão e pela implantação da proposta, limitando os graus de liberdade e criatividade, que, apesar dos constrangimentos se consideram, na opinião da autora, satisfatórios na resposta ao programa que se apresenta. A estimativa de média de vida da membrana utilizada se prende aproximadamente aos 20-25 anos, compreendendo-se assim que, após concluir um ciclo no círio saloio, sendo montada e desmontada 25 vezes, a membrana teria de sofrer manutenção, no entanto, entende-se também que as mesmas apresentam uma boa capacidade de se manterem fiáveis e limpas durante um longo período de tempo.

Reconhece-se o afastamento ao objecto final, não sendo contemplados na dissertação elementos estritamente construtivos, assumindo-se a mesma enquanto uma abordagem conceptual de uma possível realidade, sendo deixado em aberto o carácter construtivo da proposta para uma futura investigação, sendo evidente a complexidade da mesma num campo materializável, elevando-se a problemática do desenvolvimento das rótulas flexíveis, que nascem na dissertação como um contorno a um problema com que nos defrontamos.

Bibliografia

Acharya, L. (2013). Flexible architecture for the dynamic societies. Dissertação apresentada à Faculdade de Humanidades, Ciências Sociais e Educação da Universidade de Tromso para a obtenção do grau de mestre, orientada por Elin Kristine Haugdal, Tromso. Acedida em 13 de Novembro de 2013, disponível em http://munin.uit.no/bitstream/ handle/10037/5462/thesis.pdf?sequence=1.

Afshar, N. F., & Amir, M. H. (2010). Transformable Architectural Structures. In.: Cruz, P. J. S. (Eds). *First International Conference on Structures and Architecture* (*pp* 536-543). First International Conference on Structures and Architecture - ICSA 2010; Guimaraes, Portugal, Julho 21-23, 2010. CRC Press.

Afify, H. & Elgheffar, Z. (2007). *Advanced Digital Manufacturing Techniques (CAM) in Architecture Authors* (pp. 67-80). 3rd Int'l ASCAAD Conference on Em'body'ing Virtual Architecture; Alexandria, Egito. Acedido a 30 de Janeiro de 2014, disponível em http://ascaad.org/conference/2007/006.PDF.

Álvaro, A. B. (2010). Santuário de Nossa Senhora do Cabo Espichel, Sentido para um Restauro. Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa para a obtenção do grau de mestre, orientada por Doutor Pedro Paula da Silva Marques de Abreu, Lisboa. Acedida a 20 de Junho de 2014, disponível em https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/4694/1/Santu%C3%A1rio%20de% 20 Nossa%20Senhora%20do%20Cabo%20Espichel%20-%20Texto%20Principal.pdf

Arida, S. (2004). Contextualizing Generative Design. Dissertação apresentada ao Departamento de Arquitectura d Instituto de Tecnologia de Masssachussets para a obtenção do grau de mestre, orientada por Terry Knight, Massachussets. Acedida em 13 de Setembro de 2013, disponível em http://www.researchgate.net/publication/37599430Contextualizinggenerative_design

Asefi, M. (2009). Design Management Model for Transformable Architectural Structures. In.: Asefi, M. (Eds.). *Proceedings of International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009* (pp. 2366-2378). IASS Symposium 2009; Valencia, Espanha, 28 Setembro – 2 Outubro, 2009.

Asefi, M., & Foruzandeh, A. (2011). Nature and Kinetic Architecture: The Development of a New Type of Transformable Structure for Temporary Applications. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 513-526.

Blog Ao sabor do Vento. (2012, 2 de Maio). Romarias do Mês de Maria [texto colocado no blog http://aquimentem2.blogs.sapo.pt/) enviado para http://aquimentem2.blogs.sapo.pt/23668.html. Acedido em 25 de Setembro de 2014.

Buckminster Fuller Institute. (s.d.) Acedido a 17 de Setembro de 2014 em https://bfi.org/about-fuller/big-ideas.

Buri, H., & Weinand, Y. (2008). ORIGAMI - Folded Plate Structures, Architecture. In.:*10th World Conference on Timber Engineering;* Miyazaki, Japão, Junho, 2-5, 2008.Miyazaki: 10th WCTE.

Cardoso, C. (2009). Desenvolvimento de um método de controle de distorções para aplicação em problemas de design de superfície de formas tridimensionais não planificáveis. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do grau de mestre, orientada por Eduardo Andre Perondi, Rio Grande do Sul. Acedida em 13 de Novembro de 2014, disponível em http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000731039&loc=2010&l=e562e5ea8e9cf196

Carpo, M. (2004). Ten Years of Folding. In G. Lynn, *Folding in Architecture* (pp. 14 - 19). West Sussex: Wiley Academy.

Cordescu, A., Kronenburg, R. & Siegal, J. . (2002). *Mobile: The art of portable architecture.* Nova Iorque : Princeton Architectural Press.

Dino, I. G. (2012). Creative Design Explorations by Parametric Generative Systems in Architecture. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 207-224.

Duarte, J., Fonseca, J.& Henriques, G. (2009). TetraScript: Sistema integrado para optimizar a iluminação natural num espaço circunscrito. SiGraDi. São Paulo. Acedido a 28 de Novembro de 2014, disponível em http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2009_1105.content.pdf

Durmisevic, E. (2006). Transformable Building Structures. Dissertação apresentada Universidade Técnica de Delft para obtenção do grau de doutor, orientada por Fons Verheijen, Sarajevo. Acedido a 28 de Novembro de 2013, disponível em http://www.utwente.nl/ctw/gtbcenter/publications_folder/transformable_building_structures.pdf.

Eliade, M. (1992). *Sagrado e Profano*. (2nd ed.). São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora Ltda.. (Originalmente publicado em 1957)

El-Zanfaly, D. (2009). An Algorithm Approach to Digital Architecture Design.Dissertação apresentada ao Departamento de Arquitectura da Universidade de Alexandria para a obtenção do grau de mestre, orientada pelo Doutor Samir B. Hosni, Alexandria. Acedida em 16 de Outubro de 2013, disponível em http://www.dzanfaly.com/Thesis.pdf.

Friedman, N., & Farkas, G. (2011). Roof Structures in Motion - On Retractable and Deployable Roof Structures Enabling Quick Construction or Adaptation to External Excitations. *Concrete Structures*, 41-50.

Henriques, G. C. (2012). TetraScript: A Responsive Pavillion, From Generative Design to Automation. International Journal of Architectural Computing, 87-104. Acedido em 28 de Novembro de 2014, disponível em http://www.academia.edu/6631636/TetraScript_A_Responsive_Pavilion_From_Generative_Design_to_Automation.

Iwamoto, L. (2009). *Digital Fabrication - Architectural and Material Techniques.* Nova Iorque: Princeton Architectural Press.

Kenneth Snelson (s.d.). Acedido a 17 de Setembro de 2014 em http://kennethsnelson.net/category/family-album/.

Kieckhefer, R. (2004). *Theology in Stone, Church Architecture from Byzantium to Berkeley.* Nova Iorque: Oxford University Press.

Kolarevic, B. (2000). Digital Morphogenesis and Computational Architectures. In.: *Construindo (n)o espacio digital (constructing the digital Space): Proceedings of the 4th Iberoamerican Congress of Digital Graphics* (pp. 98 - 103). 4th SIGRADI Conference Proceedings; Rio de Janeiro, Brasil, Setembro 25-28, 2000. Rio de Janeiro: SIGraDi.

Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age - Design and Manufacturing.* Nova Iorque: Spon Press.

Kotnik, T. (2010). Digital Architectural Design Explorations of Computable Functions. *International Journal of Architectural Computing*, 2-16.

Kronenburg, R. (2002). *Houses in Motion.* Massachussets: Academy Press.

Lawlor, R. (1982). *Sacred Geometry: Philosophy and Practice.* Londres: Thames&Hundson.

Liapi, K. A. (2002). Transformable Architecture Inspired by the Origami Art: Computer Visualization as a Tool for Form Exploration. *ACADIA*, 381-388.

Lynn, G. (1993). *Folding in Architecture*. Massachussets: Academy Press.

Menges, A. (Março de 2008). Membrane Spaces. *Architectural Design, 74-79.*

Mitchell, W. (2004). Computer Aided Architectural Design Futures 2005. In.: Brown, A. & Martens, B. (Eds.). *Constructing Complexity* (pp. 41-50). Proceedings of the 11th International CAAD Futures Conference held at the Vienna University of Technology; Viena, Austria, Junho 20-22, 2005.

Nossa Senhora do Cabo. (2013). Acedido em 17 de Setembro de 2014 em http://lindaavelha.wordpress.com/2013/04/04/homenagem-ao-cirio-de-nossa-senhora-do-cabo/#.

Original Mongolian Yurt (s.d.) Acedido em 17 De Setembro de 2014 em http://mongolian-yurt.com/about-contact-us.html.

Oxman, R. (2006). Theory and design in the first. *Design Studies*, 229-265.

Pato, H. B. (2008). *Nossa Senhora do Cabo: Um Culto nas Terras do Fim.* Lisboa: Artemágica.

Pato, H. B. (2013). A Senhora do Cabo (História e Culto). In http://lindaavelha.wordpress.com/about/oracao-a-nossa-senhora-do-cabo/historia-e-culto-da-senhora-do-cabo/#. Acedido em 28 de Dezembro de 2014 em http://lindaavelha.files.wordpress.com/2014/04/a-senhora-do-cabo.pdf.

Payne, A., & Issa, R. (2009). *The Grasshopper Primer, Second Edition - for version 0.6.0007.* Retirado: Setembro, 16, 2013, de http://static.squarespace.com/static/51c6f9f3e4b0e47ad1bbc71c/t/521cf940e4b021571fc7d3a5/1377630528615/Grasshopper%20Primer_Second%20Edition_090323.pdf.

Reese Tipis (s.d.). Acedido em 17 de Setembro de 2014 em http://www.reesetipis.com/tipi_galleries/tipi_gallery_03/pages/DSCN1296.htm.

Rajchman, J. (2004). Out of the Fold. In: G. Lynn, *Folding in Architecture* (pp. 77 - 79). West Sussex: Wiley Academy.

Santos, L. (2009). Sistemas Generativos de Projecto: Integração de Ferramentas Digitais no Projecto de Arquitectura. Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre orientada por Maria Luísa de Oliveira Gama Caldas, Lisboa.

Schlaich, J., Bergermann, R., & Sobek, W. (1989). Tensile Membrane Structures. In.: *Invited Lecture in the LASS-CONGRESS in Madrid* (pp. 13 - 32). Madrid, Espanha, Setembro, 1989. Acedido em 20 de Julho de 2014, em http://elib.unistuttgart.de/opus/volltexte/2010/5318/pdf/sob12.pdf.

Šekularac, N., Šekularac, I. J., & Tovarović, C. J. (2012). Folded Structures in Modern Architecture. *Architecture and Civil Engeneering*, 1-16.

Selected Works of Frei Otto and his Teams. (s.d.) Acedido a 17 de Setembro de 2014 em http://www.freiotto.com/FreiOtto%20ordner/FreiOtto/HauptseiteGross.html.

Stavric, M., & Wiltsche, A. (2013). Investigations on Quadrilateral Patterns for Rigid Folding Structures. In.: Stavric, M., & Wiltsche, A. (Eds.). Open Systems: Proceeding of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (pp. 893-902). CAADRIA 2013; Hong Kong, Hong Kong, Abril, 7-10, 2013. Acedido em 18 de Junho de 2014 em http://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/caadria2013_178.content.pdf.

Tenda Tuareg. MMM's "Everything is Possible" (2008). Acedido em 17 de Setembro de 2014 em http://everythingspossible.wordpress.com/2008/07/20/camel-riding-and-the-touareg/#.

Tachi, T. (2011). Rigid-Foldable Thick Origami. Em R. J. Patsy Wang-Iverson, *Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education* (pp. 253-263). Londres: CRC Press.

Terzidis, K. (2006). *Tools Makers vs Tools Users (or both?).* Harvard School of Design.

Werner, C. (2013). Transformable and Transportable Architecture, analysis of buidings components and stratagies for project design. Dissertação apresentada à Escola Superior Técnica de Arquitectura da de Barcelona da Universidade Técnica da Catalunha, para a obtenção do grau de Mestre, orientada por Ramon Sastre Sastre, Barcelona. Acedida em 20 de Agosto de 2014 em http://issuu.com/carolinademarcowerner/docs/tesis_de_m__ster_carolina_de_marco_

Vyzoviti, S. (2004). *Folding Architecture.* Amsterdão: BIS Publishers.

Anexos

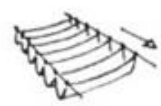
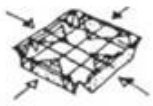
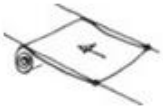
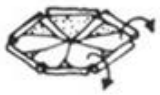
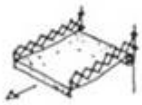
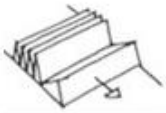
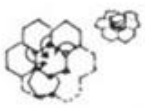
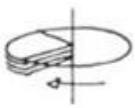
Anexo I - Quadro de Comparação das classificações atribuídas pelos diferentes autores à Arquitectura Implementável e Transformável.

Investigadores	Grupos de Classificação
Zuk e Clark Arquitectura Cinética através de aplicações arquitectónicas e aspectos estruturais	1. Cinética controlada por estruturas estáticas 2. Estruturas de Auto-montagem dinâmica 3. Componentes cinéticos 4. Arquitectura reversível 5. Arquitectura incremental 6. Arquitectura deformável 7. Arquitectura móvel 8. Arquitectura Discartável
Robert Kronenburg	1. Portáteis Manufacturados como um todo 2. Transportáveis montados no local 3. Descontinuos desmontados para transporte
Alan Brookes Tipo de estrutura de arquitectura portátil sob perspectiva de pré-fabricação	1. Plano 2. Pantográficas 3. Membranas 4. Pneumáticos 5. Tensegrity 6. Cápsulas ou casulos

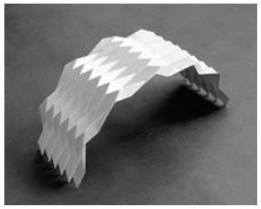
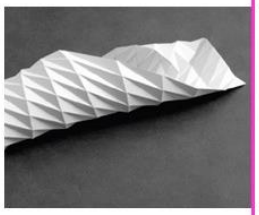
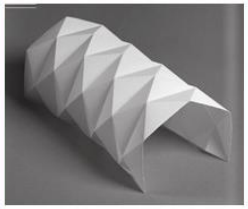
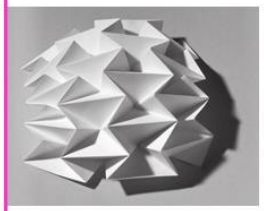
Maziar Asefi
 	
Tipos Estruturais de arquitectura transformável
	1. Estruturas de tracção transformáveis
	  1. Membranas tensionadas transformáveis
	  1. Estruturas texteis transformáveis
	  2. Estruturas pneumáticas
	  2. Estruturas de compressão elástica
	  1. Tensegrity
	  2. Estruturas de cabo
	2. Estruturas transformáveis de flexão e compressão
	  1. Estruturas de barras espaciais
	  1. Pantográficas com barras rectas
	  2. Pantográficas com barras anguladas
	  3. Estruturas Reciprocas
	  2. Estruturas de *Space Frames*

Feliz Escrig Tipos de Estruturas Transformáveis	1. Estruturas dobráveis de tração 2. Cobertura de Tensegrity 3. Cobertura Rectáctil 4. Estruturas em Guarda-Chuva 5. Estruturas Móveis 6. Estruturas Implementáveis 7. Estruturas Elevadas

Anexo II - Quadro de consideração da relação entre o sistema Construtivo, o tipo de movimento realizado e as formas geradas

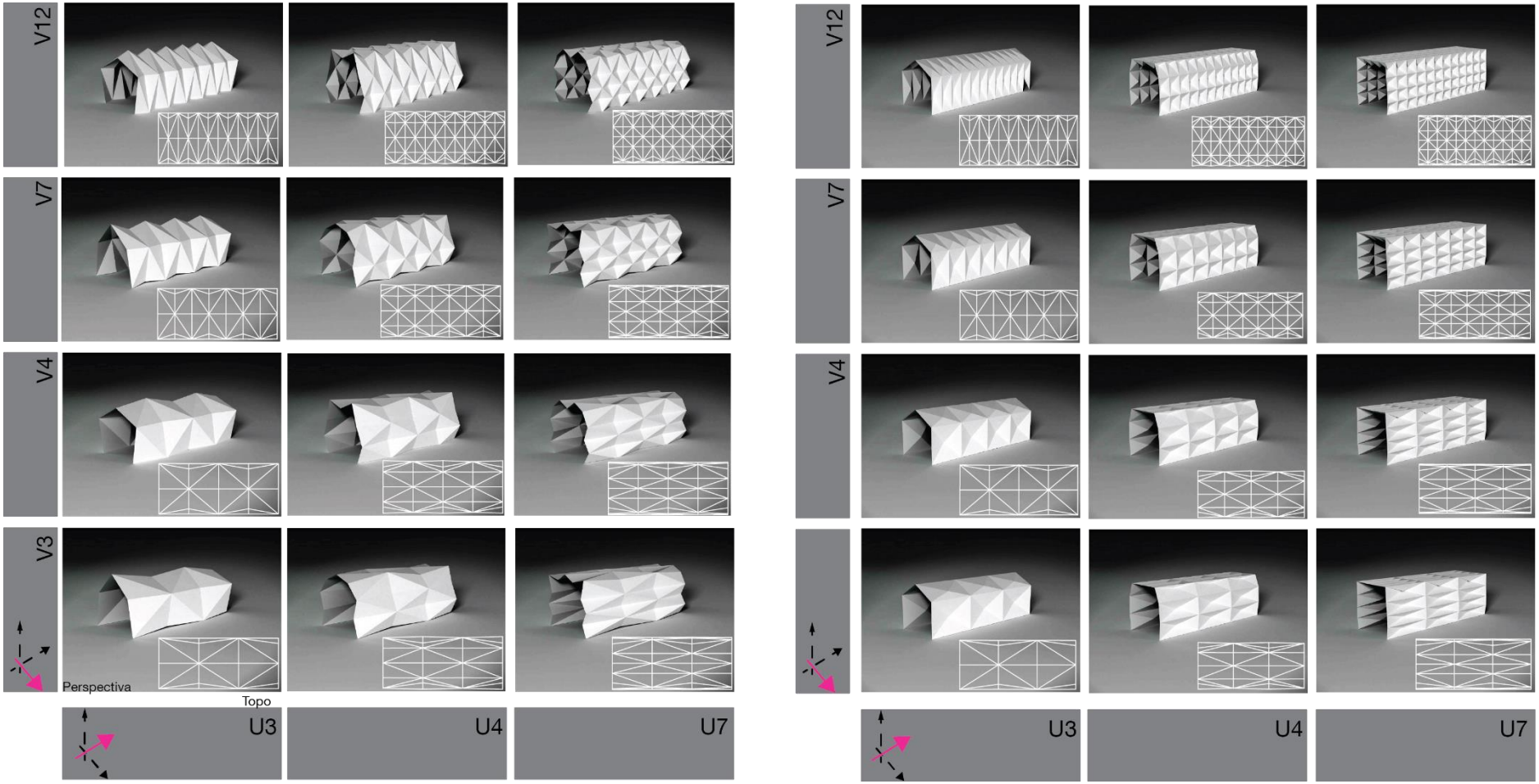
Sistema Construtivo	Tipo de Movimento	Direcção do Movimento			
		Paralelo	Central	Circular	Periférico
Membranas, estrutura de suporte de carga estática	Recolher				
	Rolar				
Membranas, estrutura de suporte de carga móvel	Deslizar				
	Dobrar				
	Rodar				
Construções rígidas	Deslizar				
	Dobrar				
	Rodar				

Anexo III - Quadro de Ponderação sobre os vários padrões de Origami Estudados

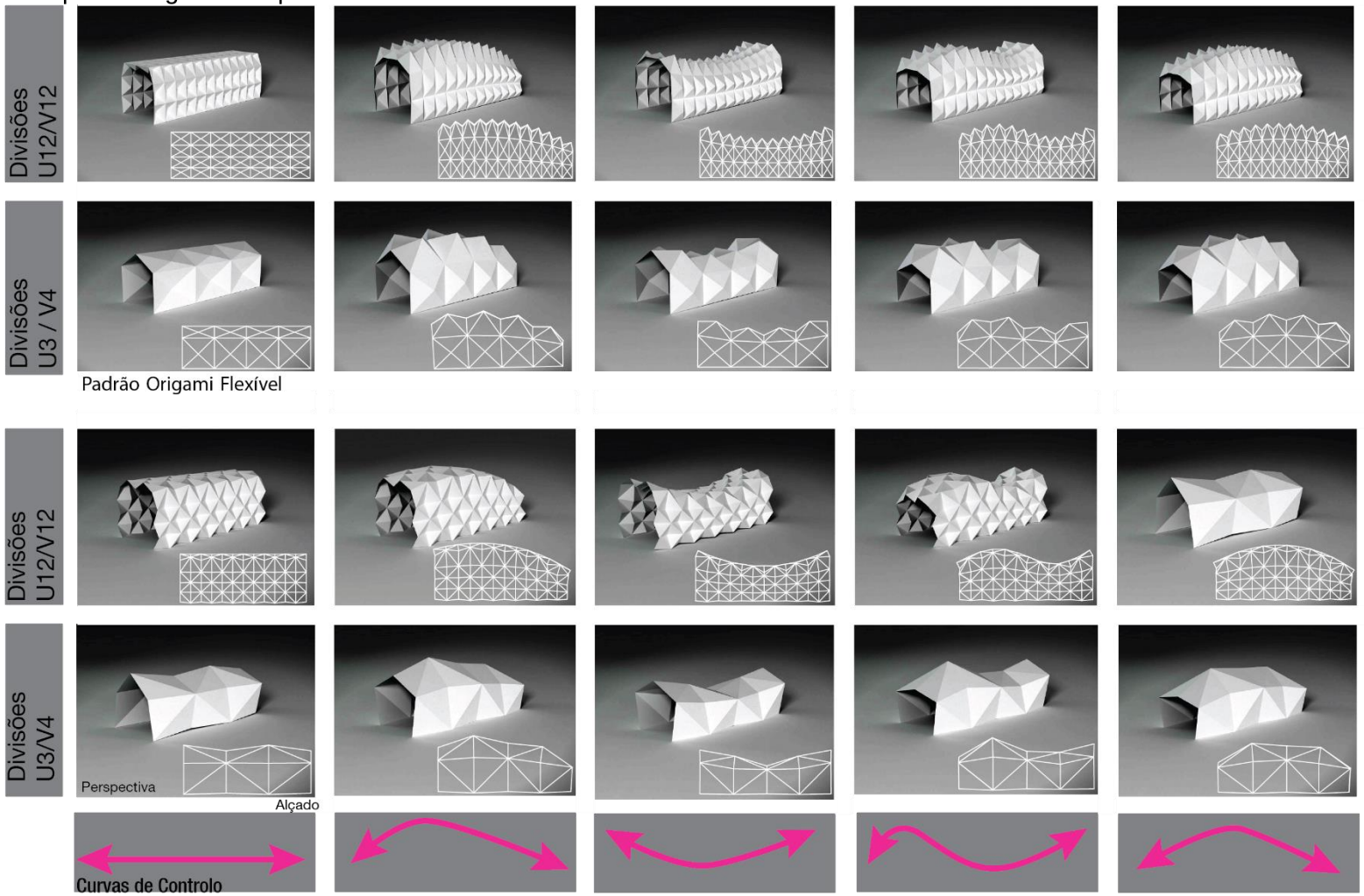
	Miura Ori	Diagonal	Yoshimura	Water Bomb	Hiperbólico Parabolóide	Acordeão
Implantação	+ + +	+ +	+ + +	+ +	+ +	+ + +
Transporte	+ + +	+	+ +	+ + +	+ + +	+ +
Rigidez Estrutural Implantado	- -	+ +	+ + +	+ + +	+	+ +
Selado	+	+	+	- - -	-	+ + +
Eficiência material	+ + +	+	+ +	-	+	+ +
Simplicidade	+ +	+ +	+	- - -	- -	+ + +
Forma	+	+	+ +	+ +	+ +	- - -
Fabricação / Construção	+++	+	+++	--	+	+++

Anexo IV - Quadro de Experiências formais sobre o estudo de divisões do volume no padrão rígido e no padrão flexível.



Experiências formais onde se visa a abstracção, experimentação formal e o estudo da correspondência da forma quando alterados os parâmetros. Como critério foram utilizadas as bases da numerologia cristã.

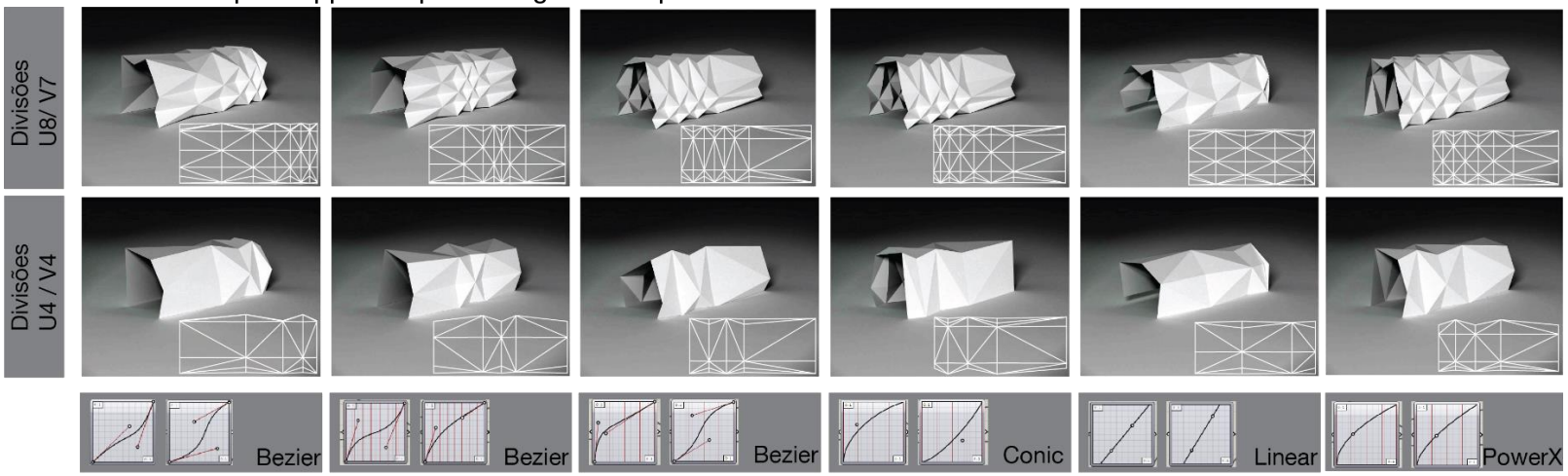
Anexo V - Quadro de Experiências formais sobre o estudo do volume através do controlo de curvas no padrão rígido e no padrão flexível



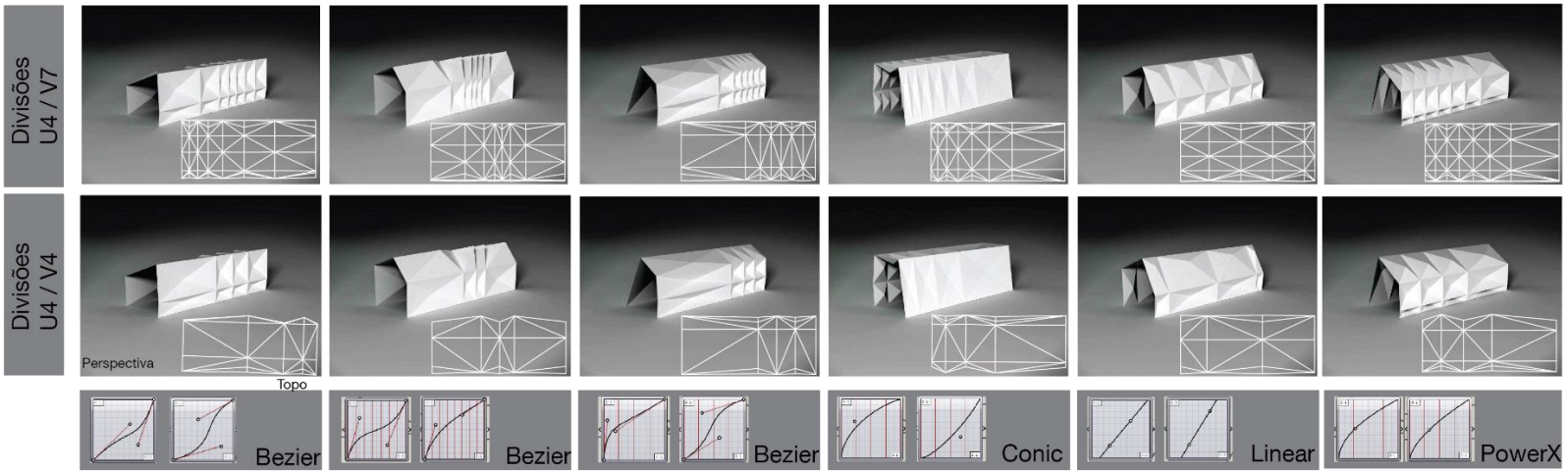
Experiências formais onde se visa a abstracção, experimentação formal e o estudo da correspondência da forma quando alterados os parâmetros. Como critério foram utilizadas curvas de controlo para a determinação das superfícies.

<

Anexo VI - Quadro de Experiências formais sobre o estudo do volume através de variações nos controlos de Graph Mapper no padrão rígido e no padrão flexível



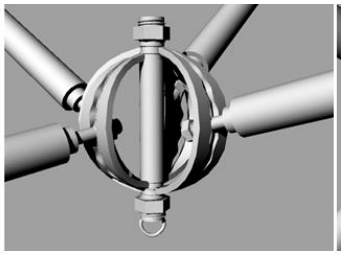
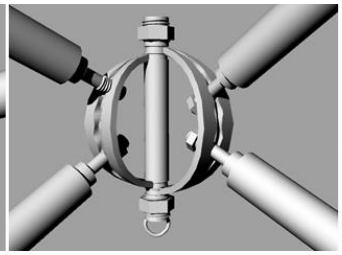
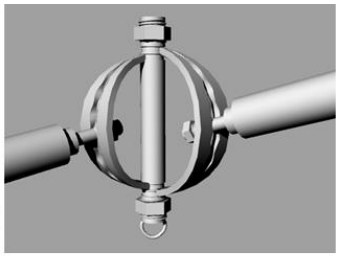
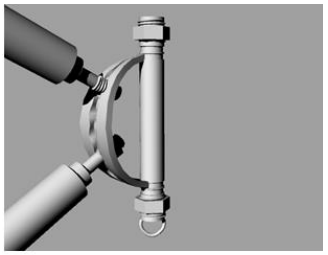
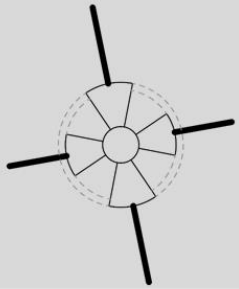
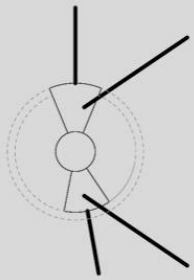
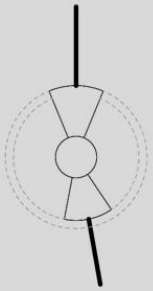
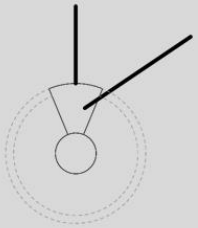
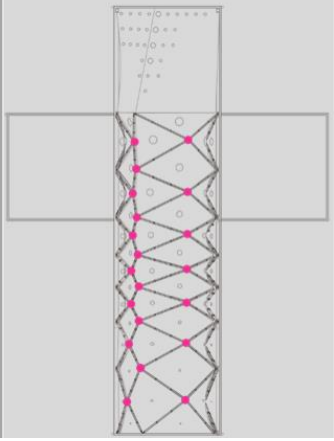
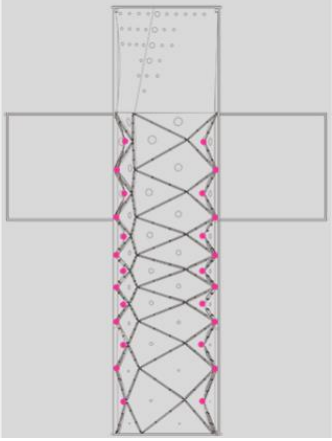
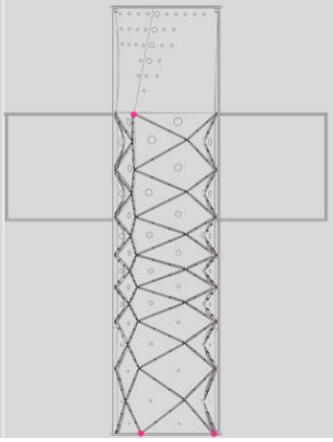
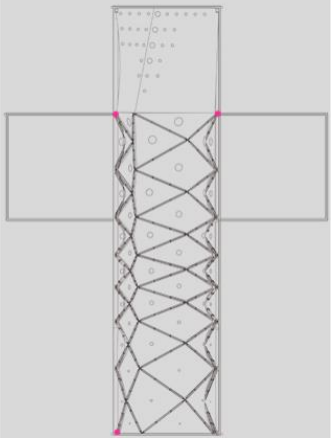
Padrão Rígido



Padrão Flexível

Experiências formais onde se visa a abstracção, experimentação formal e o estudo da correspondência da forma quando alterados os parâmetros. Como critério foram utilizadas variações nos Graph Mappers de controlo da deformação do padrão.

Anexo VII - Quadro de relação das rótulas flexíveis propostas com o seu posicionamento na proposta

	4 Secções 4 tubos	2 Secções 4 tubos	2 Secções 2 tubos	1 Secção 2 tubos
				
Esquema				
Implantação