

Desenvolvimento de um algoritmo paramétrico para a construção de catenárias autoportantes de terra

Development of a parametric algorithm for the construction of self-supporting land-line catenaries

Pedro Oscar Pizzetti Mariano, Mestrando do Pós Arq, Universidade Federal de Santa Catarina.

pedro.pm@hotmail.com

Alice Teresinha Cybis Pereira, PhD, Universidade Federal de Santa Catarina.

acybis@gmail.com

Resumo

O presente trabalho trata do desenvolvimento de uma programação paramétrica para se gerar uma catenária que utilize terra como matéria prima. É descrito as tecnologias para o desenvolvimento da programação, o motivo da escolha dos materiais e as técnicas para a construção da catenária. O objetivo é demonstrar que o uso dos softwares paramétricos e generativos podem ser aplicados a construções sustentáveis de baixo custo. Demonstrando que desenvolvimento de uma forma plástica diferenciada em construções de terra pode ser projetada a partir de softwares contemporâneos, permitindo a desmistificação do uso da tecnologia em projetos de autoconstrução. O resultado obtido é de um código paramétrico desenvolvido através da metodologia de modelo interativo incremental. Esta programação permite diferentes aplicações plásticas, e de interpretação do projeto, dando a oportunidade ao projetista e construtor ampliarem seu vocabulário de formas em construções que utilizem a terra como matéria prima.

Palavras-chave: Catenária; Parametrização; Terra; Programação.

Abstract

The present work deals with the development of a parametric programming to generate a catenary that uses earth as raw material. It describes the technologies for the development of programming, the reason for the choice of materials and the techniques for the construction of the catenary. The goal is to demonstrate that the use of parametric and generative software can be applied to sustainable low cost buildings. Demonstrating that development of a differentiated plastic form in land constructions can be projected from contemporary software, allowing the demystification of the use of technology in self-construction projects. The result obtained is a parametric code developed through the methodology of incremental interactive model. This programming allows different plastic applications and project interpretation, giving the opportunity for the designer and builder to expand their vocabulary of shapes in constructions that use the earth as raw material.

Keywords: Catenary; Parameterization; Earth; Programming.

1. Introdução

A arquitetura rotineiramente necessita incorporar novos estudos e teorias específicas dentro de seus campos de conhecimento, potencializando sua área de atuação e incorporando colaboradores de outras disciplinas, Alvez (2012). Como exemplo da ampliação de novas formas em arquitetura, o uso de softwares paramétricos e generativos possibilita o aprimoramento das possibilidades de se desenvolver formas geométricas exclusivas para determinadas situações, ou ainda repetir padrões formais complexos já existentes a partir de sequências já programadas.

Ferramentas, BIM, paramétricas e generativas, além de organizar e ampliar a capacidade do projetista, ainda podem proporcionar o desenvolvimento de projetos sustentáveis através de inúmeras soluções. Segundo John (2001), o desenvolvimento de uma sociedade sustentável vem através da transformação de conceitos culturais e tradicionais, implicando em uma mudança ideológica de padrões sociais, econômicos e ambientais. Dentro da construção civil as mudanças necessárias devem ocorrer por intermédio da redução de resíduos, utilização de materiais reciclados, uso racional da água e energia, melhoria da infraestrutura, entre outros pontos referentes tecnologia e materiais.

Segundo a PNUMA, as construções sustentáveis e o conjunto de atividades que as cercam devem ser responsáveis para se manter as necessidades de vivências, entorno e infraestrutura, sem comprometer os recursos e a demanda das futuras gerações. Estes conceitos demonstram que a busca por condições de vivência e moradia também implicam em soluções ambientais, e tal iniciativa deve estar envolvida por diversos setores organizacionais, como construtores, iniciativa privada e o projetista.

Uma amostra que necessitamos de um enriquecimento na eficiência das construções que utilizam de matérias primas alternativas e uma ampliação do diálogo entre a tecnologia e as técnicas construtivas é demonstrada por Eires, (2008). Ele descreve que é estimado que mais de 3 bilhões de pessoas habitem construções feitas de terra crua, independente da tecnologia empregada, o que representa uma porcentagem significativa da população mundial. Os abrigos feitos de terra e largamente utilizados em diversas localidades são desenvolvidos como construções artesanais e em suma sem o emprego de novas tecnologias ou softwares.

Entretanto, mesmo com o partido das construções sustentáveis ser aceito e utilizado por projetistas e designers, o uso dentro das tecnologias paramétricas e generativas ainda possui poucas fontes documentais e publicadas. É comumente encontrado informações publicadas que envolvam estes softwares e programações em estudos realizados de sustentabilidade a respeito de condicionantes climáticas térmicas e análises das variáveis lumínicas. É usualmente encontrado também publicações que envolvam avaliações estruturais com estes softwares, mas frequentemente são relatos de avaliações complexas e sem envolver ou focar em materiais ecologicamente corretos.

Assim pretende-se investigar se o uso destas ferramentas digitais de projeto pode auxiliar o arquiteto e construtor a desenvolver uma cobertura catenária que possa ser executada com materiais alternativos, como o tijolo de adobe. O estudo pretende utilizar espaços controlados parametricamente com variáveis como dimensão, curvatura e altura, coordenadas pelo projetista e verificar se a alteração destes parâmetros resulta em modelos diferenciados de catenárias.

Com o objetivo que esta estrutura possa ser utilizada como moradia, abrigo ou outra função específica, e que a terra seja a matéria prima no processo de construção destas catenárias, é proposto o desenvolvimento de uma programação paramétrica. Que possa auxiliar construtores e projetistas a desenvolverem estruturas autoportantes podendo ser construídas com terra ou derivados ecologicamente sustentáveis, sem o emprego de materiais primas escassa, ferramentas de alto custo e demasiadamente poluentes.

2. Referencial teórico

De acordo com John (2001), dentre os problemas econômicos e ambientais que a construção civil enfrenta, este setor ainda é responsável pela edificação das moradias o que lhe implica uma responsabilidade social de grande amplitude. Assim o desenvolvimento social sustentável em locais onde há uma heterogeneidade de renda e recurso, é de suma importância. (JOHN 2001).

Para o desenvolvimento de propostas mais sustentáveis projetistas e design podem utilizar de programas BIM, paramétricos e generativos para obter uma variedade maior de possibilidades e potencializar seu poder de escolha. Com estas novas ferramentas o encarregado pelo projeto pode fazer simulações e avaliar de maneira precisa o resultado final da proposta por meio digital. Segundo Gonçalves (2006), os critérios e desempenho dos projetos podem ser avaliados por ferramentas computacionais. Em termos de métodos existe uma tendência mundial para a avaliação do comportamento do edifício, de maneira que os resultados podem ser transformados em pontos, que podem valer peso na adequação de um projeto para alguns selos específicos como o BREEAM e o LEED.

2.1 Materiais

Para o desenvolvimento desta proposta paramétrica, o material escolhido para o desenvolvimento da arquitetura foram os que possuem como fonte a terra, pois é uma matéria prima que ainda apresenta abundância e segundo Eires, (2008), é utilizado por larga escala da população mundial. Construções feitas de terra tem sua história decorrente de milhares de anos e ainda são constantemente utilizadas em diversos territórios e países. Dentre as mais comumente usadas, Heathcote (2011), destaca quatro. As paredes feitas em adobe compostas de tijolo lama, paredes feitas com terra batida, tijolos de terra prensados e as espigas de adobe.

Ferreira (2012), comenta que para uma construção ser considerada uma construção em terra ela deve possuir para sua confecção alguma técnica que utilize terra como matéria prima sem recorrer a sua cozedura. E Segundo a Craterra, existem dezoito variações de técnicas de construção em terra, que são agrupadas em três grupos, referente a estrutura de cada material. São divididas em construções que usam a terra sob a forma monolítica, sob a forma de alvenaria e como enchimento de uma estrutura de suporte.

Estes métodos de construção a base de terra podem ser considerados processos vernaculares de construção, e podem se adaptar a arquitetura contemporânea. De acordo com Ferreira (2012), a execução deste tipo de construção comumente apresenta baixo custo, pois

a sua mão de obra é de em determinadas situações é realizada por uma comunidade ou individualmente em um sistema de autoconstrução.

Segundo Ferreira (2012), dentre os métodos e materiais que utilizam a terra como fonte, foram selecionados dois sistemas para se aprofundar, os sistemas construtivos da taipa de mão e do tijolo de adobe. Eles foram escolhidos pois além de possuir as vantagens, sociais e econômicas são considerados como métodos de baixo impacto ambiental provenientes de uma série de fatores. Possuem baixo custo para sua produção e coleta de sua matéria prima, e em determinados casos não é necessário o transporte nem maquinário que produzam uma quantidade excessiva de poluentes.

Os tijolos de adobe são elementos utilizados em construções de terra, apropriado para climas quentes. Os blocos de adobe são constituídos de areia, argila, água e em alguns casos elementos fibrosos, são postos em moldes e deixados a secar no sol. Contudo de acordo com Silva (2010), este material possui uma desvantagem estrutural, pois o barro e a argila não possuem resistência elástica, podendo danificar ou rachar com trepidações ou outros movimentos, não sendo recomendado para locais com atividades sísmicas. Mas as paredes estruturas construídas em tijolos de adobe apresentam aspectos positivos em outro tipo de trabalho estrutural. Segundo Varum, *et all* (2008), estudos demonstraram que os tijolos de adobe apresentam valores significativos a respeito da resistência a compressão. Demonstrado assim ser um elemento que pode ser aplicado de maneira eficaz em estruturas que necessitam de materiais com boa resistência a compressão, como cúpulas, arcos e catenárias.

2.2 Catenárias

Para a utilização dos tijolos de adobe em uma estrutura possa ter seu resultado plástico diferenciado foi se optado pela utilização de catenárias. Rabasco (2011), descreve que uma catenária é uma estrutura autoportante que pode criar um espaço habitável. Ela teve a sua utilização em uma escala ampliada a partir de 1944, com seu uso em coberturas para abrigar tropas durante a segunda guerra mundial. Antes disso o uso das catenárias estava associado a funções singulares em arquitetura consideradas altamente técnicas.

Rabasco (2011), comenta que as catenárias passaram pela a história da arquitetura como arcos de grandes proporções. Este elemento construtivo é constantemente visto na formação da história da arquitetura, partindo de construções tradicionais como casas indígenas e edificações históricas como na igreja de Ctesifonte em Bagda Iraque, (figura 01). Os materiais utilizados para a construção das catenárias em suma são tijolos de adobe, tijolos cerâmicos e pedras, variando dependendo das matérias que cada sitio fornece.



Figura 1: Ctesifonte. Fonte: latunicadeneso.wordpress.com/2014/03/28/la-batalla-de-carras-el-mayor-triunfo-de-los-partos/.

Rabasco (2011), ainda descreve os escritórios de arquitetos que iniciaram a utilização de elementos como catenárias já em um período mais contemporâneo, e aparecem fortemente utilizadas e estudadas nas investigações do arquiteto Antoni Gaudí, (figura 02), e outros autores durante o século XIX. Este sistema pode ser percebido em diversas obras do arquiteto Gaudí como na casa Milá, Palau Guell, Sagrada Família, entre outras.



Figura 2: Amostras dos estudos de Gaudi para a Sagrada Família. Fonte: onossograndequintal.com/2013/03/24/a-sensacional-barcelona-de-antoni-gaudi-espanha/

Durante a década de 50 após a segunda guerra mundial as catenárias continuaram sendo estudadas e aplicadas pelo arquiteto espanhol Rafael de la Hoz. Nesta mesma década esta tipologia de estrutura começou a ser utilizada pelo exército dos Estados Unidos da América, que a utilizavam em edifícios de armazenamento e de vivência. Rabasco (2011), também descreve que logo as catenárias começaram a ser consideradas em partidos arquitetônicos e em outras tipologias, a partir do momento que seus conceitos deixaram de ser associados a elementos de engenharia. Tendo assim a sua forma apropriada para inúmeras tipologias de construções, como igrejas, habitações sociais e outras

Minke (2007), descreve que as construções que possuem cúpulas de barro, como catenárias, podem ter diversas utilidades além de habitações como salões multiusos, escolas entre outros. O autor comenta que é uma solução interessante para o tripé sustentável, sendo

uma solução econômica e ecológica, e por promover a possibilidade da autoconstrução ainda pode tornar seu uso sustentável socialmente. Estas construções também oferecem vantagens como o equilíbrio da humidade interna e a conservação de calor.

Para também contemplar o viés ambiental da sustentabilidade na programação paramétrica, as catenárias serão desenvolvidas para serem estruturadas com materiais como o bambu e a cana. Pois segundo Barrionuevo (2011), estes materiais possuem características mecânicas e físicas além da capacidade de reduzir o CO² na atmosfera. A utilização desta mescla de materiais para o sistema construtivo da catenária teve sua escolha embasada em um estudo da Universidade Nacional de Engenharia do Peru, UNI, de Varum *et all* (2008) que realizou pesquisas e ensaios em laboratório para demonstrar a resistência a cargas estáticas e dinâmicas de estruturas aperfeiçoadas feitas de adobe e bambu. O estudo foi iniciado pois na América Latina, em diversos países, as famílias mais pobres estão carentes de necessidades básicas de moradias e serviços do governo.

Este estudo de Varum *et all* (2008), junto com a Pontífice Universidade Católica do Peru PUCP, demonstraram que a cana e o bambu se mostram materiais complementares na fabricação de muros e paredes de adobe, pois permitem um reforço estrutural dentro de certas condições. Porém os valores de resistência dos materiais podem alterar conforme a espécie, umidade e condições ambientais.

Além da caracterização dos materiais Silva (2010), descreve que há outros elementos essenciais para o planejamento a respeito da eficiência de uma construção. Como os sistemas de geração de energia, água e soluções de ventilação, todos são essenciais para a concepção de um projeto eficiente. Porém as estratégias bio-climáticas também devem ser aconselhadas para a prática da sustentabilidade em projetos, pois cada local apresenta condições climáticas, solares e entornos diferenciados, fazendo com que as decisões de projeto sejam modificadas dependendo destas condições.

2.3 Programação

Para potencializar o planejamento das catenárias e o desenvolvimento da estrutura com os tijolos de adobe reforçados com estruturas em bambu e cana, o desenvolvimento da programação será feita com o auxílio de um software de programação visual, que permite o desenvolvimento de modelos paramétricos ou generativos. Segundo Gursel (2012), nas últimas décadas a emergente atualizações e aprimoramentos em computadores esta desenvolvendo novas áreas na arquitetura e no design, engajada no design generativo, cognitivo e prático. Com o desenvolvimento e apropriação das ferramentas CAD os arquitetos já estão buscando novas perspectivas e softwares de projeto que possibilitam explorar novas ideias de design.

Segundo Gursel (2012), o design generativo requer do projetista princípios de computação e de design, pois o projetista deve explorar diversas alternativas e variações para alcançar um resultado. O projeto generativo esta vinculado a dois significados. Buscando o resultado de projeto na ação simultânea de desenhar um objeto (desenho como uma atividade), ou na busca do resultado da ação do design.

O processo generativo tanto para o design quanto para a arquitetura é formado por quatro elementos básicos, sendo que a materialização do projeto só é possível através do quarto e

último passo. E por este motivo o design generativo é considerado um sistema de produção e não só uma representação da construção ou produto final. As quatro etapas descritas por Gursel (2012), são, o input (o início, condições e parâmetros), o mecanismo de geração (algoritmos e regras), output (a variação das gerações) e a escolha da melhor variação.

A arquitetura e o design paramétrico possuem semelhanças com os princípios do design generativo. Os parâmetros deste tipo de design são as informações postadas no início da geração da programação, podendo ser alterados no decorrer do projeto sem perder as informações do processo anterior. Quando alterado o parâmetro o resultado final do objeto é modificado, porém o resultado é somente um único objeto, diferente do processo generativo onde há uma possível sequência de potenciais resultados.

3. Metodologia

O processo de investigação do presente trabalho ocorreu durante duas fases distintas, sendo a primeira de cunho teórico e a segunda prática. Na fase teórica se buscou identificar e compreender os estudos já existentes a respeito de programas generativos e paramétricos, construções sustentáveis, aspectos formais, estruturais catenárias e possíveis matérias para a aplicação da proposta. Já no segundo período da pesquisa foi desenvolvido a programação dentro de um programa de modelagem visual, concebido os parâmetros que podem ser modificados e analisados os resultados gerados.

Para o desenvolvimento da visualização e modelagem das catenárias o programa escolhido foi o modelador Rhinoceros 3D, um software de modelamento coordenado pelas funções Nurbs. Para o desenvolvimento da programação das catenárias foi necessário a utilização de um plug-in para o Rhinoceros 3D o software Grasshopper. Neste plug-in é possível de se desenvolver uma programação visual, permitindo alterar os parâmetros e visualiza-los simultaneamente. Ainda como complemento para a programação foram utilizados outros dois plug-ins para o Grasshopper, o Weavibird, que permite a criação de fracionamento e organização de superfícies, e o Kangaroo Physics, que proporciona a aplicação de determinadas forças em vetores programados.

Antes de se iniciar o desenvolvimento da programação foram desenhadas seis possibilidades de se desenvolver as catenárias, (figura 03), imaginando usos distintos para esses ambientes. Cada ambiente deve ser cabível de se projetar e simular uma cobertura catenária, construída a partir de tijolos de adobe ou taipa, materiais que possuem resistência adequada para este tipo de cobertura.

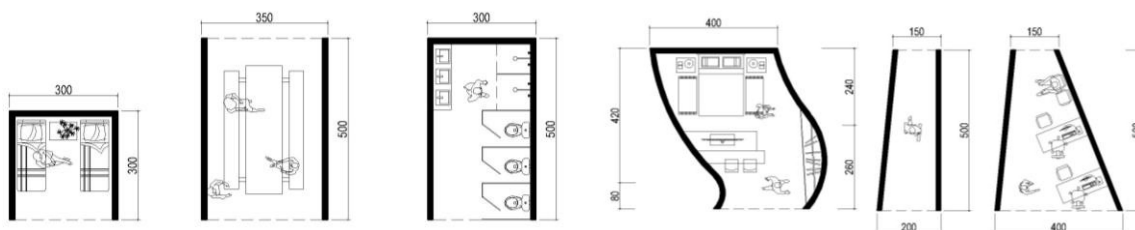


Figura 03: Tipologias simuladas. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 Desenvolvimento da programação

O desenvolvimento da programação das catenárias no Grasshopper foi feito em oito passos, (figura 04). Dividindo-se dessa maneira para se ter controle dos parâmetros em diversas situações. Na programação visual que o Grasshopper fornece, o conteúdo desenvolvido pode ser visualizado simultaneamente na interface do programa Rhinoceros, permitindo a interação dos parâmetros em um software e a visualização da alteração no outro.

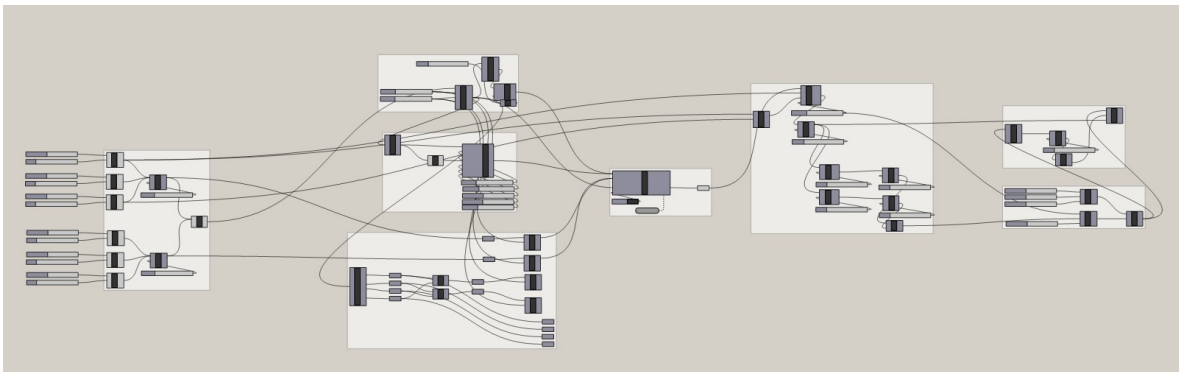


Figura 04: Programação completa das catenárias em oito etapas. Fonte: Elaborado pelos autores.

E para desenvolvimento da programação foi utilizada a metodologia do modelo interativo incremental, escolhida por uma gama de vantagens no seu uso no desenvolvimento da programação. Bona (2002) cita que esta metodologia permite uma visualização e verificação das etapas prontas do modelo antes da finalização total da programação. Estes testes podem conduzir a um feedback para o projetista em diversas etapas da programação, evitando que recomendações importantes sejam recebidas somente na conclusão do desenvolvimento.

A primeira parte da programação consiste no desenvolvimento da forma da estrutura, para isso os parâmetros foram ajustados para se locomoverem em qualquer direção e no eixo x e y (horizontal). Com estes parâmetros é possível desenvolver e alterar a forma da estrutura para ela se adaptar as seis tipologias propostas para este estudo. Entretanto os comandos que permitem a alteração das distancias não estão limitados, possibilitando a composição de infinitas formas.

A partir desta primeira etapa da programação outras três sequencias são desencadeadas. Uma que permite selecionar quais faces serão preenchidas com as catenárias e quais estarão livres. Este código também possibilita selecionar somente os pontos das extremidades permitindo que se desenvolva formas sem o preenchimento completo das paredes, contudo o resultado desta forma necessita de habilidades mais aperfeiçoadas do construtor. Outra programação é para o controle da força que será aplicado a catenária, esta força pode ser alterada, modificando a altura que a estrutura irá possuir. E o último código desta sequência é para tornar a estrutura elástica, fazendo com que ela se assemelhe a uma corda ou tecido.

Estas três codificações conectadas na entrada da próxima já permitem a possibilidade de se visualização da catenária, resultado semelhante aos que o arquiteto Gaudí obtinha em

seus estudos. Este código é o comando que permite visualizar a ação das forças na estrutura, sua visualização pode ser acompanhada através de um timer acoplado a este código, (figura 05).

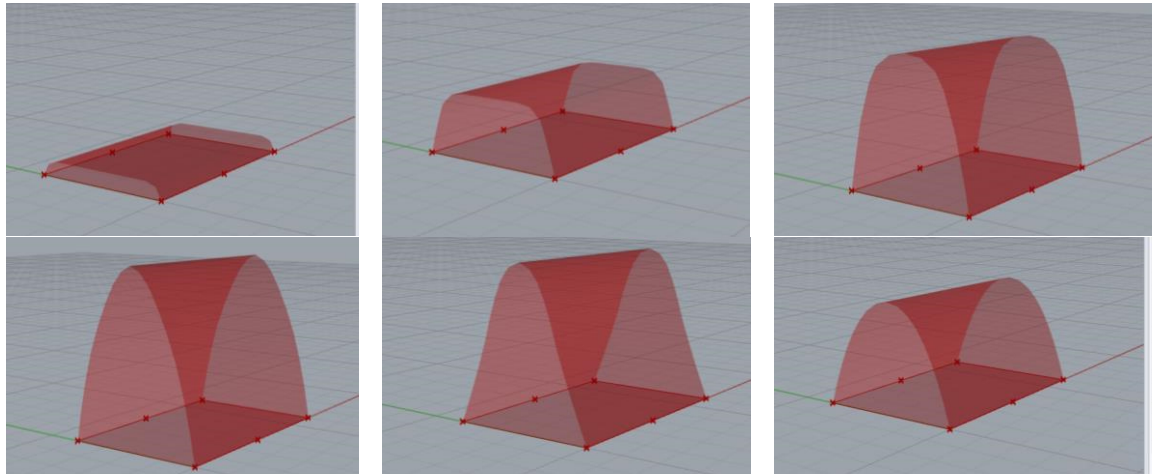


Figura 05: Interação nos segundos 01, 02, 03, 04 ,05 e 14, no sentido de leitura. Fonte: Elaborado pelos autores.

As próximas três interações são complementares a estrutura da catenária, onde a primeira é para a projeção de linhas de corte na estrutura, (figura 07). Estas linhas podem ser planificadas e transmitidas como informações para se imprimir os desenhos 2D, para assim o construtor visualizar a montagem das formas. Esta planificação também pode ser útil para outros tipos de tecnologia como impressoras 3D, máquinas de corte a laser e fresas, podendo simular em testes e modelos físicos os resultados da programação.

A segunda sequência de programação está ligada diretamente com a última, ambas são voltadas para ilustrar a proposta. Onde na primeira sequência é possível se desenvolver um tijolo de adobe a partir de parâmetros a escolha do projetista, (figura 06). E a segunda programação orienta estes tijolos de forma ilustrativa para a estrutura, (figura 06). Esta codificação final tem função mais estética não se aplicando ao real encaixe dos tijolos de adobe, a demonstração dos encaixes construtivos da construção são objetivos para estudos futuros.

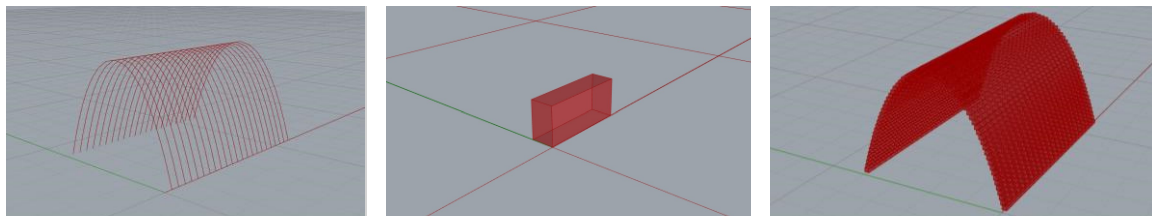


Figura 06: Três últimas programações da construção da catenária. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Aplicação da Programação

Com a codificação paramétrica pronta as tipologias desenvolvidas foram inseridas dentro do software Rhinoceros 3D para a realização dos testes das catenárias. Para o experimento

era selecionada uma das tipologias inseridas no modelo e deslocada até a coordenada 0 em x, 0 em y e 0 em z, mesmo posicionamento do início da programação da catenária.

Com a planta baixa de exemplo posicionada, as curvas desenvolvidas na programação foram ajustadas, por parâmetros, para permanecerem no entorno do desenho, permitindo que a catenária possuísse a mesma forma em planta do modelo. Ajustado os parâmetros de força e elasticidade da película que envolve a catenária, o modelo é desligado das últimas três programações – de caráter estético – para que se desenvolva sem que hardware sofra sobre cargas. Ajustado estas pontualidades no modelo pode-se inicia-lo.

A programação apresentou um problema durante seus testes com os modelos, os pontos desenvolvidos para o modelo perdem a característica ancoradouros caso o modelo seja constantemente religado. Foi verificado que ao iniciar o modelo para a formação das catenárias é aconselhável modificar as curvas com o modelo ligado ao invés de se desligar o modelo para orientar novas posições as curvas.

4. Resultados

Os modelos propostos inicialmente e testados na programação obtiveram êxito no desenvolvimento de suas coberturas na forma de catenárias. Obtendo em alguns casos resultados satisfatórios em respeito a resposta estética que os elementos de cobertura proporcionaram. Resultado este que demonstra que há a possibilidade de se desenvolver formas autoportantes com determinadas complexidade e elementos sustentáveis.

Para um resultado visual que possibilite um entendimento mais satisfatório as últimas três programações eram conectadas para se gerar resultados visualmente semelhantes com a realidade. As imagens das catenárias resultante da programação estão na imagem 07.

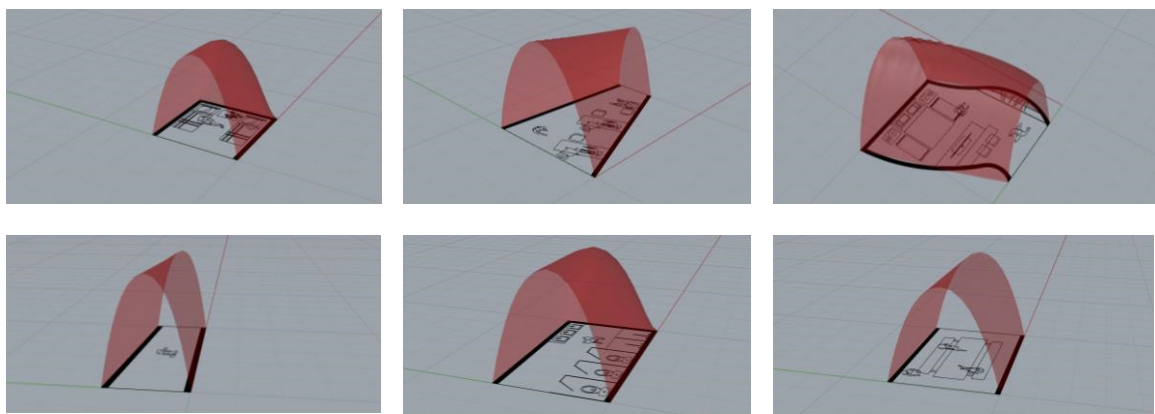


Figura 07: Resultado das catenárias nos modelos. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados das catenárias também podem conter informações, é possível se retirar área, dimensões e ângulos das curvas, para auxiliar o construtor no desenvolvimento dos tijolos ou nas formas das taipas. Caso o resultado da catenária apresente informações que dificultam a sua construção ou não resultem em um ambiente com dimensões cabíveis de serem habitados, é possível alterar parâmetros para este ajuste. Um exemplo caso o pé direito

da estrutura não tenha altura necessária para o uso, o parâmetro de força pode ser alterado positivamente. Com isto a força que é aplicada sobre a estrutura ganha um acréscimo aumentando a deformidade da catenária.

Assim os resultados se mostraram positivos no processo de fabricação de uma catenária a partir de curvas pré-estabelecidas. Esta programação permite que as construções feitas em terra e que possuam peças com resistência a compressão possam ter sua forma submetidas a esta codificação. O resultado final permite uma pré-visualização (figura 14), a coleta de informações que podem facilitar o entendimento do construtor experiente. Há a possibilidade de se criar um número avantajado de linhas guias para quem não tem domínio completo do sistema construtivo, mas deseja iniciar uma autoconstrução em terra.

A programação permite o desenvolvimento de formas diferenciadas no sistema de arcos e catenárias. O que permite criar novos usos para as construções em terra, possibilitando que as mesmas tenham uma visualização amplificada. Estimulando que se desenvolvam estudos tecnológicos com as construções em terra, e que as construções que utilizam desta matéria prima se mantenham em uso, mas com tecnologias atuais e adequadas.

Para futuras pesquisas a comprovação da resistência dos materiais a base de terra e do sistema construtivos tem importância para este trabalho. A validação do sistema construtivo paramétrico com a utilização do tijolo de adobe podem ser contestados a partir da construção de um modelo de catenária em escala ou em tamanho real, submetidos a uma de carga.

O processo também se complementaria com a implantação de tecnologias de prototipagem no desenvolvimento de projetos de maior parte que utilizassem o sistema de catenárias. A validação com equipamentos de impressão 3D poderia ser utilizada para aprovação ou não da forma plástica da construção. E máquinas como de usinagem e corte em CNC podem ser utilizadas na fabricação de formas e estruturas de apoio.

5. Agradecimento

Gostaria de agradecer ao programa CAPES, que forneceu o auxílio necessário para o desenvolvimento deste trabalho. E a Universidade Federal de Santa Catarina, por me propiciar o ambiente e os demais recursos intelectuais imprescindíveis, para que o presente trabalho se concluísse.

Referências

ALVEZ Gilfranco Medeiros; PRATSCHKE, Anja. Processos de Criação, Emergência e Parametrização em Arquitetura. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**. V. 12 n. 1. 2012.1 ISSN 1809-4120.

BONA. Cristiana. Avaliação de processo de software: um estudo de caso em XP e Iconix., Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 2002.

CRATERRA, **Cultures Constructives et développement durable**. Acesso em 12 de junho de 2012, disponível em: http://craterre.org/accueil:galerie-des-images/default/gallery/94/gallery_view/Gallery>.

FERREIRA, Carlos de Castro. **A Sustentabilidade do Sistema Construtivo em Terra: Um Projeto de Reabilitação**. Dissertação de mestrado em Arquitetura. Corvilhã, outubro de 2012

EIRES, R.; JALALI, S. Inovações Científicas de Construção em Terra Crua. **Conferência Internacional - Angola: Ensino, Investigação e Desenvolvimento (EIDAO 08)**, Braga 2008.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; DUARTE, Denise Helena Silva. **Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de projeto pesquisa, prática e ensino**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6 n. 4 p. 51-81, outubro/dezembro 2006. ISSN 1415-8876

GURSEL, Ipek Dino. **Creative design exploration by parametric generative systems in architecture**. Metu Journal of the Faculty of Architecture. Vol. 2012/1, 207-224. ISSN 0258-5316

HEALTHCOTE K. **The Thermal Performance of Earth Buildings**. Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 117-126, julho -setembro de 2011. ISSN: 0020-0883 eISSN: 1988-3234

JOHN, Vanderley; SILVA, Vanessa Gomes; AGOPYAN, Vahan. Agenda 21: Uma Proposta de Discussão para o Construbusiness Brasileiro. **II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. 91-98. Canela, RS, 24 a 27 de abril de 2001.

MINKE Gernot. **Cúpulas de Adobe**. APUNTES vol.20 número 2, 336-341, 2007. ISSN 1657-9763

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/agencia/pnuma/>>. Acesso em: 08/11/2016

RABASCO P. **El Sistema Ctesiphonte. Evolucion De La Estructura Catenaria**. Informes de la Construcción, Vol. 63, 522, 43-52, abril-junho de 2011. ISSN: 0020-0883 eISSN: 1988-3234

VARUM, Humberto; COSTA, Aníbal; PEREIRA, Henrique; ALMEIDA, João RODRIGUES, Hugo. **Caracterização do comportamento estrutural de paredes de alvenaria de adobe**. Mecânica Experimental, 2008, vo. 15, pg. 23-32. ISSN 1646-7078.

SILVA, celso. **Edifícios Verdes: Práticas Projectuais Orientadas para a Sustentabilidade**. Dissertação de mestrado integrado em engenharia do Ambiente 2010. Universidade do Porto – Faculdade de engenharia.