Criando maquetes de papel a partir de modelos numéricos tridimensionais: considerações acerca da modelagem, planificação, corte a lâmina e montagem dos objetos

Creating paper mockups from three-dimensional numerical models: considerations about modeling, planning, blade cutting and assembling objects

Maria Luiza Camargo Santana

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo,
Faculdade de Arquitetura -
Universidade Federal da Bahia,
Salvador, Bahia, Brasil
ml.csantan07@gmail.com

Rafaela Yong Yu Tan

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo,
Faculdade de Arquitetura -
Universidade Federal da Bahia,
Salvador, Bahia, Brasil
rafaelayong@gmail.com

Érica de Sousa Checcucci

Doutora em Difusão do Conhecimento,
Professor Adjunto,
Faculdade de Arquitetura -
Universidade Federal da Bahia,
Salvador, Bahia, Brasil
erica.checcucci@ufba.br

RESUMO

Este artigo é o resultado parcial de uma pesquisa que estuda a modelagem e fabricação digital de formas arquitetônicas complexas. Apresenta e discute experimentos que investigaram métodos e técnicas de criação de maquetes de papel utilizando como base modelos numéricos que foram planejados, cortados à lâmina e colados. O principal objetivo foi construir conhecimento e sistematizar orientações para otimizar o processo de transformação do modelo digital no modelo físico de modo a garantir bom acabamento e precisão adequada, de acordo com a escala escolhida. Esta pesquisa é qualitativa, caracterizada pela realização de estudos exploratório-descritivos combinados, com crescente aumento da complexidade das formas construídas. Os objetos foram modelados no software SketchUp, planejados, editados e organizados para corte utilizando o Inkscape e enviados para a cortadora de papel através do programa Silhouette Studio. Dentre os principais resultados da pesquisa, destaca-se a sistematização de um conjunto de orientações para a otimização do trabalho de fabricação de maquetes em papel. Para isto, a pesquisa possibilitou a produção de um quadro comparativo onde cada experimento pôde servir como parâmetro avaliativo dos métodos de fabricação digital utilizados.

Palavras-chave: modelo numérico; maquete; fabricação digital; corte à lâmina.

ABSTRACT

This paper is a partial result of a research that studies the modeling and digital fabrication of complex architectural forms. It presents and discusses experiments that investigated paper mockup creation methods and techniques based on numerical models that were planned, blade cut and glued. The main objective was to build knowledge and systematize guidelines to optimize the transformation process of the digital model into the physical model to ensure good finish and adequate accuracy, according to the scale chosen. This research is qualitative, characterized by the accomplishment of combined exploratory-descriptive studies, with increasing complexity of the constructed forms. The objects were modeled in SketchUp software, planned, edited and organized for cutting using Inkscape and sent to the paper cutter through the Silhouette Studio program. Among the main results of the research, it stands out the synthesis of guidelines for the optimization of papermaking work. Furthermore, the research enabled the production of a comparative table where each experiment could serve as an evaluation parameter of the digital fabrication methods used.

Keywords: numerical model; mockup; digital fabrication; blade cutting.

1. INTRODUÇÃO

Pode-se conceituar um modelo como uma descrição, abstração ou representação formal de um objeto, sistema ou fenômeno, seja ele real ou imaginário. Em Arquitetura os modelos são criados com diversos propósitos. Modela-se para fins de compreensão, visualização, aprendizado, experimentação, registro, avaliação, controle, com objetivos educacionais, turísticos, de documentação (de objetos históricos ou recentes), etc.

Echenique (1975 apud SERRA, 1995) classifica os modelos de acordo com 3 critérios: sua finalidade, seu método construtivo e como ele trata o tempo (estático ou dinâmico). Em relação ao método de construção os modelos podem ser separados em físicos, quando possuem materialidade própria ou conceituais (ECHENIQUE, 1975 apud SERRA, 1995). Dentro destes últimos estão os modelos verbais (discurso lógico formado por palavras, como uma dissertação ou tese) e os matemáticos, criados através de símbolos e expressões, podendo ser analíticos, numéricos ou estocásticos.

O modelo numérico computacional é um sistema matemático implementado num computador que objetiva funcionar como "... uma réplica computacional da estrutura, do comportamento e/ou das propriedades de um fenômeno real ou imaginário" (MACHADO, 2001, p. 177 apud LIMA, 2003, p. 54).

As características do objeto a serem descritas no modelo dependem, em última instância, da sua finalidade. Com a crescente evolução da Computação Gráfica, cada vez mais são utilizados os modelos numéricos computacionais pelas diversas vantagens que possuem para representar objetos, dentre elas as possibilidades de criação de formas complexas, de edição e alteração das suas geometrias e da simulação de propriedades dos elementos representados.

Os modelos numéricos computacionais podem também ser utilizados para fabricar modelos físicos utilizando diferentes técnicas e materiais. Pupo (2008) identifica que os métodos de produção automatizada baseados em modelos numéricos podem construir diferentes modelos físicos, de acordo com sua finalidade: maquetes, quando criados em escala reduzida; protótipos, quando fabricados em escala natural (1:1) mas ainda sem todas as características do objeto final ou o próprio elemento a ser utilizado no edifício.

O uso de modelos numéricos para produção de maquetes, protótipos ou do objeto final a ser utilizado na construção demanda técnicas e processos de trabalhos bem específicos e diferentes entre si. Os objetos finais deverão contemplar todas as características solicitadas, de acordo com sua finalidade, enquanto que as maquetes e protótipos podem representar apenas algumas delas (como suas formas ou cores mas dispensar outras, como por exemplo, seu peso ou material).

Celani e Pupo (2008) também classificaram os métodos de fabricação digital segundo o número de eixos das máquinas utilizadas e de acordo com a forma de fabricação, sendo esta última categoria dividida nos métodos subtrativos (quando há desbaste ou retirada de material), formativos (quando há conformação do objeto) ou aditivos (quando os objetos são produzidos pela adição de material).

Este trabalho enfoca a construção modelos físicos de objetos arquitetônicos em escala reduzida (maquetes) a serem fabricados a partir de modelos numéricos computacionais, utilizando o método subtrativo de fabricação digital em uma cortadora a lâmina.

Nos experimentos realizados, foi utilizada a cortadora Silhouette Cameo e o papel Color Plus Sahara 180 g/m². Ainda, foram utilizados os seguintes programas: (1) SketchUp, associado ao plug-in Unwrap and Flatten Faces, para a criação e planificação dos modelos 3D; (2) Pepakura Designer, também para a planificação das formas modeladas; (3) Inkscape, para a edição do desenho e sua organização na folha de corte; e, (4) Silhouette Studio para enviar o desenho para a cortadora à lâmina. Os objetos foram montados com cola de silicone.

O objetivo do trabalho foi construir conhecimentos e sistematizar orientações para otimizar o trabalho de fabricação das maquetes, identificando algumas dificuldades que surgem no processo de modelagem, planificação, corte e montagem dos objetos e sugerindo formas para superá-las de modo a obter objetos com bom acabamento e qualidade.

Esta é uma pesquisa qualitativa e exploratória que visa “... desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, [...] ou modificar e clarificar conceitos” (MARCONI; LAKATOS, 2003, p. 188). Para atingir seus objetivos foram realizados experimentos exploratórios-descritivos de modelagem e fabricação de pequenas maquetes de teste, com crescente complexidade de sua geometria.

Como afirma Gil (1989, p. 73) a definição do experimento consiste em determinar qual o objeto de estudo, selecionar variáveis capazes de influenciá-lo, definir formas de controle e observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Foram realizados 3 experimentos nos quais foram sendo variadas: a complexidade da forma, o modo como a geometria foi planificada e o método de criação de abas para colagem.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: (1) a introdução tratou brevemente sobre a fabricação digital, objetivos, materiais e métodos utilizados; a seção (2) descreve e discute os experimentos realizados e a seção (3) encerra o trabalho com as algumas orientações para criação de maquetes de papel utilizando modelos numéricos.

2. EXPERIMENTOS REALIZADOS

Para os estudos acerca da fabricação digital de objetos em papel foram realizados 3 experimentos: (1) Igreja de São Pedro dos Clérigos, (2) Reitoria da Universidade Federal da Bahia e (3) Cúpula Geodésica. Escolheu-se trabalhar com o aumento gradual da complexidade das formas escolhidas, bem como com a modificação dos métodos de planificação e criação de abas de colagem para fins investigativos, objetivando identificar os prós e contras de cada estratégia aplicada. Também escolheu-se utilizar programas gratuitos ou que possuam licença estudantil de forma a propor soluções de uso com mais baixo custo.

O Quadro 1 resume o número de faces de cada objeto após planificado (definido como um dos parâmetros para classificar a complexidade da forma), os softwares utilizados e o objetivo inicial do experimento. Todos eles demandaram a mesma especificação de materiais: (a) hardware e software para modelagem; (b) Silhouette Cameo (cortadora) e Studio (programa); (c) cola líquida de silicone; (d) papel Sahara; (e) base de corte para Silhouette (30 x 60 cm); e, (f) pinça de sobancelha para auxiliar na montagem dos objetos.

Quadro 1: Resumo dos experimentos realizados.

	<i>Igreja de São Pedro dos Clérigos</i>	<i>Reitoria da Universidade Federal da Bahia</i>	<i>Cúpula Geodésica</i>
Complexidade da forma (número de faces + abas)	45 faces	164 faces, em 7 volumes separados	180 faces
Softwares utilizados	Sketchup – Inkscape – Silhouette Studio	Sketchup + plugin Unwrap Flatten Surfaces – Inkscape – Silhouette Studio	Sketchup – Pepakura Designer – Inkscape – Silhouette Studio
Objetivo inicial do experimento	Dar início aos estudos da fabricação digital de objetos em papel	Testar a automatização da planificação	Testar a planificação e criação automatizada de abas

Fonte: as autoras.

Cada experimento foi dividido em 5 processos principais: (1) modelagem 3D; (2) planificação; (3) edição de imagem; (4) corte e; (5) colagem. Eles são descritos nas seções a seguir.

2.1. Igreja de São Pedro dos Clérigos

A Igreja católica romana de São Pedro dos Clérigos foi construída na segunda metade do século XVIII e possui características em estilo rococó e neoclássico. Localizada no Terreiro de Jesus, parte do Centro Histórico de Salvador, Bahia, foi tombada pelo IPHAN em 1941. Ela foi escolhida para a realização do primeiro experimento devido à baixa complexidade do modelo 3D, composto por apenas 19 faces quando montado, e 45 quando planificado (o acréscimo de faces considera as abas criadas para a colagem). Outro critério considerado foi a existência dos ornamentos da fachada principal, implicando na busca por soluções criativas para sua representação.

Para a etapa de modelagem foi escolhido o SketchUp. Este software opera num ambiente em 3 dimensões e tem rápida curva de aprendizagem. É bem documentado e com muito material disponível na internet. A possibilidade de visualização tridimensional do objeto em diferentes ângulos facilita a compreensão da forma modelada e sua análise para criação de estratégias de planificação.

O modelo foi construído de forma simplificada com as dimensões aproximadas, obtidas a partir de análises de fotos disponíveis na internet. Nessa fase foram escolhidos os detalhes a serem destacados, considerando a precisão da cortadora, a finalidade da maquete e a escala 1:300, escolhida para a representação pelo tamanho da cortadora. Desta forma, modelou-se apenas alguns detalhes da fachada principal como aberturas e marcações verticais, simplificando bastante o modelo. As Figuras 1 e 2 mostram a Igreja e seu modelo numérico respectivamente.

Figura 1: Igreja de São Pedro dos Clérigos

Figura 2: Modelo Numérico

Fonte: as autoras.

Fonte: as autoras.

Após a criação do modelo, a planificação e criação de abas foram realizadas de maneira não automatizada, utilizando os comandos de desenho disponíveis no SketchUp. Foi necessário analisar como desdobrar as faces e planificar a forma: escolheu-se a fachada principal como face mais relevante, colocando-a sobre o plano XY. A partir desta face no plano as outras iam sendo selecionadas, rotacionadas e colocadas no mesmo plano, de forma a planificar todo o elemento. Após esta etapa as abas de colagem eram construídas com o comando de desenho de linhas do programa (lápiz).

A planificação é realizada a partir da definição de um plano base para direcionar as rotações de todas as faces do objeto e é determinante para os processos futuros, visto que uma planificação equivocada pode, por exemplo, sobrepor faces e impedir o processo de corte ou dificultar muito a manipulação do objeto, prejudicando a etapa de colagem. Nesta etapa, percebeu-se que apesar de um objeto poder ser planificado de diferentes maneiras, existem algumas melhores para montá-lo de volta, seja porque facilitam o entendimento do objeto a ser recriado ou porque tornam a manipulação do produto final mais fácil. A planificação iniciando pela fachada principal facilitou o processo de montagem. A Figura 3 mostra a Igreja planificada, ainda sem as abas para colagem.

Figura 3: Igreja planificada

Fonte: as autoras.

Também é na etapa de planificação que se define o posicionamento e o tamanho das abas de colagem, que não devem ser muito pequenas de modo prejudicar a fixação das faces e o acabamento, nem muito grandes para não marcarem em demasia a face a ser colada, além de evitar a perda desnecessária de material (Figura 4).

Figura 4: Objeto planificado e com abas de colagem

Fonte: as autoras.

Com a forma devidamente planificada e após a criação de abas para colagem, o arquivo do SketchUp foi salvo no formato *.pdf* com a função *Use High Accuracy HLR* ativada: esta opção exporta as linhas como vetores ao invés de *pixels*, o que permite a edição do documento, importante para alterar a cor, espessura e tipo de linha no Inkscape. Este programa foi utilizado para diagramar a folha a ser cortada e definir camadas com cores diferentes para cada objetivo a ser realizado pela cortadora Silhouette: (1) cortar, (2) marcar e, (3) desenhar (usando uma caneta própria da cortadora).

O corte (1) deve ser realizado na parte do desenho a ser destacada da folha do papel utilizada. Já a marcação (2) é o local por onde a lâmina passa de forma mais suave sem o objetivo de cortar completamente o papel, mas apenas demarcar o local para ser dobrado e é

identificado no Silhouette Studio como “Pontuação”. E por fim, o desenho (3) é realizado por uma caneta ao invés de lâmina e esse processo é identificado pelo Silhouette Studio como “Rascunho”. Neste experimento foi escolhida a cor preta para corte, vermelha para marcação (ou dobra) e verde para desenho (Figura 5).

Figura 5: Prancha preparada para corte no Inkscape.

Fonte: as autoras.

Definidos estes parâmetros, a folha foi salva no formato *.dxf* e importada no software da cortadora à lâmina - Silhouette Studio – para ser configurada a profundidade do corte, velocidade, força e número de passadas de cada uma das 3 camadas definidas anteriormente. É importante observar que a exportação em *.dxf* deve ser realizada na mesma unidade de medida do Silhouette Studio. Caso contrário, o software da cortadora vai automaticamente redimensionar o documento para que este caiba no papel de corte, o que pode comprometer a precisão do objeto final.

Como existem diversos tipos de papéis e materiais que a Silhouette pode cortar, cada um com sua espessura, textura e gramatura, é necessário ajustar pelo menos os seguintes parâmetros: a altura da lâmina, velocidade e força de corte no Silhouette Studio (Figura 6).

Figura 6: Interface do Silhouette Studio.

Fonte: as autoras.

Após a configuração destes parâmetros, é preciso fixar o papel na base de corte da Silhouette (processo realizado com cola spray), enviar o comando para a máquina e aguardar o processo para a retirada do material. Ao final é preciso ter cuidado ao retirar o papel da base

de corte, pois se ele tiver com grande aderência, um descolamento brusco pode danificar o trabalho.

A etapa seguinte é a colagem. Foi escolhida a cola líquida de silicone tendo em vista que seu processo de secagem é mais rápido em comparação com a cola branca a base de PVA. Além disso, esta cola evita que o papel fique com aspecto úmido durante a colagem, fazendo com que o produto final tenha um aspecto mais limpo. Levando em consideração o acabamento do objeto, a utilização de uma pinça comum para auxiliar a manipular as abas de corte trouxe uma melhora significativa no manuseio do objeto e na colagem das abas. As Figuras 7 e 8 ilustram a igreja cortada e o objeto pronto respectivamente.

Figura 7: Igreja cortada.

Fonte: as autoras.

Figura 8: Igreja colada.

Fonte: as autoras.

Por fim, vale a pena ressaltar que o SketchUp é um programa que trabalha apenas com retas e cria curvas a partir de diversos segmentos delas. Neste caso, a precisão das formas

curvas foi prejudicada e seria necessário criar arcos e círculos com muito mais linhas para melhorar o desenho (Figura 9). Para solucionar este problema, no Inkscape as curvas poderiam ter sido refeitas.

Figura 9: Imprecisão no desenho de curvas.

Fonte: as autoras.

2.2. Reitoria da Universidade Federal da Bahia

O segundo objeto escolhido para ser fabricado digitalmente foi a Reitoria da Universidade Federal da Bahia, localizada no bairro do Canela na cidade de Salvador. É uma construção em estilo neoclássico do século XIX que também foi modelada de forma simplificada, mas de modo a manter o seu reconhecimento visual. As Figuras 10 e 11 apresentam respectivamente uma foto do edifício e seu modelo numérico.

Seguindo o critério de aumento de complexidade ao longo da pesquisa, este edifício foi escolhido por possuir formas curvas nas suas varandas e elementos anexos e ter maior complexidade no telhado, com mais águas do que o do experimento 1. O foco deste experimento foi nestes elementos, por isto a escada que dá acesso à edificação foi projetada no prédio, ao invés de modelada em três dimensões.

Figura 10: Reitoria da UFBA.

Fonte: as autoras.

Figura 11: Reitoria da UFBA

Fonte: As autoras.

As etapas de modelagem, edição de imagem e montagem do objeto após o corte foram feitas de forma similar ao experimento anterior, com mudanças relevantes na etapa de planificação do modelo 3D, que é detalhada a seguir.

No processo de planificação da Reitoria, ficou evidente que quando a complexidade do objeto aumenta, faz-se necessário dividir o modelo em partes para facilitar a etapa de montagem. Eventualmente, esta partição deve ser utilizada para que o desenho em escala caiba na folha de corte. Neste experimento, foi preciso escolher quais partes deveriam ser separadas para não comprometer o processo de colagem e garantir um melhor acabamento da peça. As Figuras 12 e 13 mostram o objeto planificado e depois montado.

Figura 12: Reitoria planificada.

Fonte: as autoras.

Figura 13: Reitoria montada.

Fonte: as autoras.

Uma das dificuldades encontradas neste experimento foi descobrir uma estratégia otimizada para planificar as curvas das varandas cilíndricas da edificação. O SketchUp não possui ferramentas para automatizar a planificação de curvas e sempre que fosse necessário planificar as varandas curvas, seria preciso aplicar o cálculo da circunferência $C=2\pi R$, onde R é a medida do raio. Para otimizar o tempo gasto na planificação, foi pesquisado quais ferramentas gratuitas poderiam facilitar esse processo, tendo-se descoberto o *plug-in* do SketchUp, Unwrap and Flatten Faces (UFF) e o Pepakura Design.

O UFF gera rapidamente planificações de forma randômica, mas que nem sempre são ideais para corte e colagem visto que é comum nesse processo a sobreposição de faces ou a criação de planificações que inviabilizam o processo de montagem. Ele é muito eficiente quando usado em objetos simples, mas demanda a criação de estratégias para planificar objetos complexos (como, por exemplo, dividi-los em partes menores).

Considerando esta característica do *plug-in*, a planificação se torna mais eficiente quando as faces são tratadas individualmente. As varandas da Reitoria foram representadas geometricamente por um semicilindro e assim, a face externa desse cilindro seria simples o suficiente para o UFF e sua planificação só foi possível quando o *plug-in* foi executado sobre cada varanda separadamente.

Ainda no perfil cilíndrico das varandas, visando uma maior precisão do formato final, foram testadas duas formas de corte e montagem. A primeira delas usou apenas uma face para representar a face externa e a segunda subdividiu essa face em outras, marcando-as. Avaliou-se que segmentar a face melhorou o acabamento da peça final pois facilitou o processo de colagem. As Figuras 14 e 15 ilustram como a marcação nas faces tornou a colagem mais fácil e com melhor acabamento.

Figura 14: Marcação nas faces dos elementos curvos,

Fonte: as autoras.

Figura 15: Parte cilíndrica montada.

Fonte: as autoras.

2.3. *Cúpula Geodésica*

Neste estudo, levando em consideração o aumento gradual de complexidade dos experimentos, escolheu-se construir uma cúpula geodésica objetivando aumentar o número de faces, e conseqüentemente o número de abas de colagem, o que dificulta a planificação e a colagem. O objetivo principal deste experimento foi testar uma nova ferramenta que gerasse as abas automaticamente (Pepakura Designer), garantindo agilidade ao processo de fabricação digital.

A cúpula geodésica consiste em uma forma cuja base de construção é a face de um icosaedro subdividido em diversas partes triangulares. Diante disto, quanto maior o número de faces, mais esférica será a cúpula. O modelo de domo geodésico foi obtido no 3D Warehouse, plataforma do SketchUp que permite acesso a modelos tridimensionais disponibilizados por usuários diversos. Dentre as os modelos disponíveis, foi escolhido um que possuía um número de faces que permitia a confecção das abas de colagem, mas não comprometeria a forma esférica.

A partir da obtenção do modelo, escolheu-se planificar e produzir as abas de colagem no Pepakura Designer. O programa permite o desdobramento automático de modelos tridimensionais possibilitando a fabricação digital.

O modelo 3D foi exportado em formato *.obj* (*Object File Wavefront 3D*), extensão de arquivo que possibilita o armazenamento de objetos tridimensionais por meio de coordenadas. O preparo do modelo para a exportação foi basicamente agrupar o objeto no SketchUp. A importação no Pepakura Designer permite ajustar a escala de acordo com a unidade do objeto.

No Pepakura Designer, com a utilização da função *unfold* houve a planificação da geodésica com suas respectivas abas de colagem – geradas com tamanhos diferentes devido à aproximação de faces resultantes do desdobramento (Figura 16).

Figura 16: Abas de colagem criadas com *unfold* (algumas sobrepondo faces).

Fonte: as autoras.

Percebeu-se que exportando o arquivo em *.obj* as faces mantiveram-se conectadas formando apenas uma peça plana após o *unfold*, ao contrário da exportação em *.kmz*, testada anteriormente no modelo de um cubo (Figuras 17 e 18). Com as faces desconectadas (arquivo *.kmz*) foram criadas uma grande quantidade de peças soltas (com suas respectivas abas para colagem) ocasionando o desperdício de material, visto que ocuparam mais espaço da folha de corte, consequentemente aumentando o tempo e a complexidade na montagem final do modelo.

Figura 17: *Unfold* no Pepakura Designer a partir da exportação de um cubo em *.obj*.

Fonte: as autoras.

Figura 18 : *Unfold* no Pepakura Designer a partir da exportação de um cubo em *.kmz*.

Fonte: As autoras.

Ao diagramar a planificação na folha de impressão constatou-se que para obter um arquivo *.pdf* de melhor qualidade era preciso imprimir como Vetor em vez de *Bitmap*. O arquivo gerado foi importado no Inkscape para o agrupamento e determinação de cores distintas para ações distintas da cortadora – corte, marcação e desenho. Este mesmo processo poderia ser realizado em outro programa editor de desenho, como CorelDraw ou AutoCad, desde que o arquivo fosse exportado em *.dxf* para importação na Silhouette Studio.

O Pepakura Designer transformou as linhas de dobradura em linhas tracejadas. Deste modo, ao invés de configurar uma linha de marcação (corte menos profundo), todas as linhas foram configuradas como linhas de corte na Silhouette Studio e como consequência, as dobras ficaram com o aspecto picotado. Os parâmetros configurados para a máquina de corte foram os mesmos dos experimentos anteriores, visto que a papel utilizado não mudou. Durante o corte, defeitos foram identificados, principalmente nos encontros das arestas dos triângulos das faces. A Figura 19 apresenta a geodésica cortada.

Figura 19: Geodésica após corte na Silhouette.

Fonte: as autoras.

A colagem se tornou fácil a partir do momento em que as abas foram identificadas, porque as faces eram triângulos equiláteros e as abas se formaram como consequência delas. A cola de silicone utilizada mostrou-se vantajosa por secar rápido e não provocar manchas significativas no papel. O processo foi facilitado pelo uso da pinça, principalmente no final da colagem, quando a geodésica foi se fechando, tornando o espaço para juntar as abas muito limitado. O resultado é a consequência de todos os fatores analisados acima, no entanto, também há influência da habilidade manual, prática e familiaridade com o processo de quem realiza a colagem. A Figura 20 apresenta a geodésica montada.

Figura 20: Geodésica pronta e os materiais utilizados para a colagem.

Fonte: as autoras.

Analizando o produto finalizado e o que poderia ter sido feito para melhorá-lo, identificou-se que o resultado seria mais satisfatório se as dobras fossem configuradas como marcação, evitando o efeito picotado das mesmas. Como consequência, a geodésica apresentaria um aspecto mais homogêneo, no entanto, o processo de fabricação seria mais demorado devido à necessidade de transformar as linhas tracejadas em contínuas e com a classificação de marcação em vez de corte. Considerou-se o experimento satisfatório, visto que foi possível identificar potencialidades do Pepakura Designer para a fabricação digital, como a economia de tempo e mão de obra devido à automatização da planificação e criação de abas.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foram destacados 3 experimentos diferentes realizados com o objetivo de criar maquetes de papel utilizando modelos numéricos e cortadora a lâmina. O Quadro 2 apresenta uma síntese das observações realizadas em cada um deles.

Quadro 2: Comparativo dos experimentos.

<i>Experimento</i>	<i>Nº de faces</i>	<i>Softwares</i>	<i>Item avaliado</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<i>Igreja de São Pedro dos Clérigos</i>	45	- SketchUp - Inkscape - Silhouette Studio	Planificação e criação de abas não automatizada	Resultado satisfatório para planificação de formas simples. O usuário tem um maior domínio sobre o objeto planificado, o que facilita a montagem do produto final.	Demanda mais tempo para planificação e se torna muito difícil para uso em formas mais complexas.
<i>Reitoria da UFBA</i>	164	- SketchUp + plugin Unwrap and Flatten Faces - Inkscape - Silhouette Studio	Uso do plugin Unwrap and Flatten Faces do SketchUp	Resultado satisfatório para a planificação separadamente de formas curvas não complexas. Demanda criação de estratégias diferentes para formas mais complexas.	Criação de abas não automatizada. Planificação de faces de forma randômica e nem sempre satisfatória.

<i>Cúpula Geodésica</i>	180	<ul style="list-style-type: none"> - SketchUp - Pepakura Designer - Inkscape - Silhouette Studio 	Uso do Pepakura Designer	<p>Resultado satisfatório para formas mais complexas.</p> <p>Economia de tempo e mão de obra no processo devido à automatização da planificação e criação de abas.</p>	<p>Software nem sempre realiza a planificação como desejado.</p> <p>Não permite muito controle por parte do usuário.</p> <p>Criação de abas com tamanhos irregulares.</p>
-------------------------	-----	--	--------------------------	--	---

Fonte: as autoras.

Os experimentos realizados possibilitaram a elaboração de algumas orientações para criação de maquetes de papel utilizando modelos numéricos:

- Estabelecer a finalidade da maquete, para definir a escala do objeto a ser construído e a quantidade de informações a serem modeladas;
- Definir o tipo de papel que será utilizado no corte;
- Criar estratégias para planificação do modelo, observando o tamanho das abas para colagem;
- Criar arquivos distribuindo os objetos a serem cortados nas diferentes folhas e organizando as linhas em camadas de acordo com a função a ser executada na cortadora (corte, marcação ou desenho);
- Exportar os arquivos de corte em formato *.dxf*, importar cada folha no programa da Silhouette e configurar os parâmetros de corte;
- Após o corte, retirar os modelos com cuidado da base;
- Definir estratégias para colagem, escolher cola e materiais auxiliares se necessário;
- Montar o objeto tomando cuidado com o seu acabamento.

Os experimentos realizados permitiram criar conhecimentos sobre o uso da cortadora a lâmina e identificar cuidados que devem ser observados para produção de objetos com bom acabamento utilizando programas e materiais de custo acessível. Estes processos são mais complexos para criação de maquetes de formas curvas, porém permitem a criação de objetos com qualidade satisfatória.

Em fases posteriores, esta pesquisa se aprofundará, estudando a criação de objetos com formas mais complexas, considerando como parâmetro, além do número de faces, também sua curvatura e formato.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CELANI, G.; PUPO, R. T. Prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção: definições e estado da arte no Brasil. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, 2008. Disponível em: <http://www.mackenzie.br/dhtm/seer/index.php/cpgau/article/download/244/103>. Acesso em: 14 jun. 2015.

SERRA, G. G. Teoria, simulação e modelo na arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE AMBIENTES, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo, FAUSP, 1995. p. 9-18. Disponível em:

http://www.infohab.org.br/acervos/pdf/codigo_biblio/19154/titulo/Teoria,%20simula%C3%A7%C3%A3o%20e%20modelo%20na%20arquitetura. Acesso em: 12 maio 2015.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas, 1989.

LIMA, T. B. S. Uso da simulação computacional em projeto de iluminação interna. 2003. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, UFBA, Salvador, 2003.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

PUPPO, R. T. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. **PARC Pesquisa em arquitetura e construção**. Campinas, v. 1, n. 3, 2008. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~parc/vol1/n3/vol1-n3-pupo.pdf>. Acesso em: 4 maio 2017.

AGRADECIMENTOS

A Pró-Reitoria de Pesquisa, Criação e Inovação e Pró-Reitoria de Ensino de Pós-Graduação da Universidade Federal da Bahia pelo apoio através do projeto Jovens Doutores e a bolsa de iniciação científica.