

FERRAMENTAS GRÁFICAS E ENSINO DE GEOMETRIA DESCRITIVA EM CURSOS DE ARQUITETURA E URBANISMO

GRAPHIC TOOLS AND TEACHING OF DESCRIPTIVE GEOMETRY IN ARCHITECTURE AND URBANISM COURSES

Raphael Marcone¹

Resumo

O ensino de geometria descritiva, em escolas de arquitetura e urbanismo brasileiras, tem se justificado como fundamento geométrico aos processos de concepção, representação e construção da forma. Houve, nos últimos anos, com o surgimento de ferramentas digitais CAD (*Computer Aided Design*), uma dinâmica de transformação nesses processos, o que demandou modificações no ensino de arquitetura e urbanismo. Essa pesquisa investiga o papel da geometria descritiva nesse contexto. Para este fim aplicou-se um experimento, onde estudantes de arquitetura e urbanismo, com o conhecimento prévio de geometria descritiva e ferramentas analógicas, foram expostos a ferramentas digitais. O experimento durou quatro meses e foi acompanhado por observação, a interpretação dos dados coletados mostrou ser possível se estreitar o diálogo da geometria descritiva com as ferramentas digitais, especialmente quando se amplia sua aplicação, indo além do uso tradicional, que costuma restringi-la à é pura e associá-la exclusivamente ao uso de ferramentas gráficas analógicas.

Palavras-chave: geometria descritiva; educação gráfica; ensino de arquitetura; ferramentas CAD; educação do olhar.

Abstract

Descriptive geometry is taught in Brazilian Architecture and Urbanism schools as a geometric contribution to the processes of conceiving, representing and constructing form. There have been significant changes in these processes in recent years particularly due to the emergence of CAD (*Computer Aided Design*) digital tools. The aim of our research is to investigate the role of descriptive geometry in this new context. To this end we conducted an experiment in which students of Architecture and Urbanism, who had prior knowledge of descriptive geometry, were exposed to digital tools, as part of their formal training in graphics on an Architecture and Urbanism undergraduate course. We monitored the experiment over a period of four months and interpreted the collected data. We concluded that it is possible to improve the dialog of descriptive geometry with digital tools, especially when descriptive geometry applications are extended beyond traditional uses that are usually limited to the dihedral system and associated with analog tools.

Keywords: descriptive geometry; graphic education; architecture education; CAD software; teaching observation.

¹ Professor Doutor, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, DARF - Departamento de Análise e Representação da Forma, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, raphaelmarconi@ufrj.br.

1. Introdução

O ensino de geometria descritiva, quando se faz presente em cursos de arquitetura e urbanismo no Brasil, costuma ser identificado como contribuição ao conhecimento geométrico utilizado em operações sobre a forma, como as de gerar e representar essa forma. Esse é um papel que gostaríamos de investigar que cumpra satisfatoriamente, ao menos com a mesma adequação, também em relação às ferramentas digitais mais recentes.

A introdução das ferramentas digitais na prática arquitetônica demanda conhecimento geométrico e matemático por vezes diverso do utilizado nas ferramentas gráficas analógicas, quanto ao conteúdo ou à maneira de sua aplicação. Requerem-se estudos que esclareçam e reequilibrem a relação do saber geométrico do arquiteto urbanista com as operações subsequentes sobre a forma arquitetônica ou urbana.

A correspondência, entre saber geométrico e operações sobre a forma, se manteve estável até fins do século passado e teve contribuição pela prática, em arquitetura e urbanismo, de técnicas de geração e, principalmente, de representação da forma, baseadas nos princípios dos trabalhos de Monge (1798, 1820).

Mesmo as primeiras ferramentas CAD não alteraram a relação entre ferramenta de desenho e a construção de símbolos de representação. Na produção de plantas baixas, com o *software* AutoCAD, uma parede continuou a ser compreendida como tal ao interpretarmos a sua representação por um par de retas paralelas; na tela do computador continuaram a ser traçadas duas linhas paralelas, tal como se fazia no desenho analógico em uma folha de papel. Fundamentalmente o arquiteto continuava a construir projeções de objetos arquitetônicos.

Quando a modelagem digital, nos anos 1990, passou a ter mais adeptos em arquitetura e urbanismo, começamos a notar modificações mais significativas na área gráfica. Houve a possibilidade de deixarmos de desenhar as projeções de um objeto, seja ele geométrico ou arquitetônico, e passarmos a construir digitalmente este objeto, mesmo que virtualmente, com o auxílio de um *software*. As projeções desse objeto puderam ser produzidas pelo *software*, como um produto derivado do modelo 3D.

A esta mudança de caráter dimensional, de se construir projeções 2D para se construir o modelo virtual 3D, veio se somar outra, que observamos no uso das mais recentes ferramentas CAD: a aplicação de conceitos geométricos oriundos de outros campos da matemática, não tradicionalmente estudados em geometria descritiva, conceitos relativos à forma e ao espaço, como topologia e parametrização (CARPO, 2011; HENRIQUES, 2013; TERZIDIS, 2006).

Todo esse quadro contribuiu para desequilibrar um dos papéis primordiais que a geometria descritiva desempenhou por duzentos anos em ensino de arquitetura e urbanismo, que foi o de proporcionar os adequados conceitos geométricos a fundamentar as operações sobre a forma arquitetônica.

Constatamos um problema: poderia não haver um diálogo afinado entre o ensino da geometria descritiva, no âmbito da educação gráfica em um curso de arquitetura e urbanismo, com as múltiplas ferramentas gráficas (principalmente as mais recentes ferramentas digitais), nos procedimentos de gerar, manipular, representar ou de construir a forma arquitetônica.

Esta investigação tem por objetivo contribuir para adequar o ensino de geometria, em particular o da geometria descritiva, em escolas de arquitetura e urbanismo, às operações sobre a forma realizada por múltiplas ferramentas gráficas, sejam analógicas ou digitais, de interface 2D ou 3D.

2. A Pesquisa e seus Antecedentes

É escolha da pesquisa, que resultou na redação desse artigo, tratar o ensino de geometria para futuros arquitetos relacionando-o às ferramentas gráficas utilizadas em arquitetura e urbanismo. Apesar desta escolha, estamos cientes que seja possível a autonomia do ensino de geometria em um curso de arquitetura, como saber matemático independente.

Com este direcionamento integrado, de ensino de geometria e uso de ferramentas gráficas, algumas investigações precedentes já mostraram caminhos para um ensino de geometria dirigido a futuros arquitetos.

Pelo livro *Inside Smartgeometry* (PETERS; PETERS, 2013) tomamos conhecimento do grupo *Smartgeometry* (SG), formado por arquitetos e designers em 2001, desde 2003 o SG vem promovendo conferências anuais precedidas de *workshops*. Notamos no grupo SG uma ênfase na exploração de novas fronteiras no *design*, permitida pelas ferramentas digitais, com foco em aplicar em arquitetura o design computacional e o paramétrico.

Eventos do tipo *workshop* têm se difundido nos últimos anos e se caracterizado como espaço de ensino e pesquisa, nesses eventos é comum observamos experiências de se construir ou modelos reduzidos, ou protótipos em tamanho 1:1, notadamente os pavilhões. Tecnologias como prototipagem rápida, ou processos de construção do tipo *file-to-factory*, que integram ferramentas digitais aos processos construtivos, têm facilitado a execução dessas atividades.

O livro *Architectural Geometry* (POTTMANN, Helmut et al., 2007), escrito por três geométricos e pelo arquiteto Axel Kilian, traz, nas suas pouco mais de setecentas páginas, uma reunião das mais frequentes operações geométricas sobre a forma arquitetônica, em sua maioria já deslocadas da interface 2D da *épura* para a interface 3D das mais recentes ferramentas digitais. No início do livro, pouco mais de quarenta páginas são dedicadas à explicação das questões projetivas, muitas relacionadas à geometria descritiva; inclui também o estudo das sombras e da perspectiva cônica, identificadas pelos autores como questões básicas a se entender procedimentos que seriam realizados em modelagem digital 3D. Passadas estas primeiras páginas, as questões geométricas já não se referem a qualquer *épura*, sem prejuízo a que continuem a exibir muitas das operações usualmente já executadas pela geometria descritiva com a interface da *épura* como: geração de superfícies, seções e interseções. Além dessas já conhecidas operações, o livro inclui algumas outras que são notadamente proporcionadas ou facilitadas pela ferramenta digital, como a parametrização durante a geração da forma.

Algumas pesquisas contemporâneas relacionam-se especificamente à geometria descritiva, como a de Martín-Pastor (2015), que considera no ensino da descritiva o uso das ferramentas digitais de arquitetura e urbanismo, o professor e pesquisador situa a descritiva no campo que hoje parece se constituir, e começou a ser denominado, de *Geometria Arquitetônica*. Nesse campo, Pastor identifica a geometria descritiva como fundamento geométrico natural a tudo que não seja algébrico ou algorítmico, mas que possa se relacionar ao pensamento gráfico. Pastor defende a não utilização exclusiva do sistema diédrico, com sua formatação clássica em *épura*, usual em geometria descritiva, que lhe parece limitada frente às possibilidades de interface gráfica que se abrem com os recursos presentes nas mais recentes ferramentas CAD. Pastor preconiza que devemos explorar aplicações do pensamento gráfico nessas novas ferramentas gráficas. Essa argumentação é uma resposta do pesquisador a um problema que identificou em seu país de origem, a Espanha, lá o ensino de geometria descritiva foi suprimido de muitos cursos de arquitetura e urbanismo e substituído pelo aprendizado direto de ferramentas gráficas digitais; posteriormente observou-se um vácuo no

saber geométrico dos alunos desses cursos ao operarem sobre a forma arquitetônica com o uso dessas ferramentas.

Pastor nos indica alguns caminhos a trilhar no ensino da descritiva que vão além da *épura*, abordagem adotada também por Gani (2016), que afirma que o saber da descritiva vai além da sua interface gráfica, pelo título de sua tese, *A geometria de Gaspard Monge: o método descritivo que prescinde da técnica de dupla projeção ortogonal e independe dos meios de representação*, já vislumbramos uma geometria que não precise se fixar a uma interface gráfica específica. *Épura* e *descritiva* podem se confundir, mas não são sinônimos.

Frente aos caminhos que se abrem, em se conduzir uma investigação sobre o ensino de geometria que considere o uso de múltiplas ferramentas gráficas em arquitetura e urbanismo, fizemos algumas escolhas de pesquisa, que serão expostas na seção seguinte.

3. Ambientes de Projeto e Ferramentas Gráficas

Em nossa pesquisa identificamos algumas características que as ferramentas gráficas possam promover, no trabalho do arquiteto urbanista, quando esse profissional realiza suas atividades.

Ao arquiteto caberia conceber a forma, a seguir representá-la para que, por fim, possa ser construída; são atos mediados pelas ferramentas gráficas e que se apoiam em algum conhecimento geométrico, isso fica mais claro ao empregarmos termos geométricos às etapas de projeto. Podemos dizer que o arquiteto *gera* uma forma, a manipula por meio de *seções* e *interseções*, a representa por *projeções*, seja em papel ou em tela de computador (a mídia pode variar), produz *projeções cilíndrico-ortogonais* (plantas e vistas) ou *projeções cônicas* (perspectiva cônica). O Arquiteto também faz operações geométricas, como a de *planificação*, utilizadas na confecção de modelos reduzidos ou na própria construção do objeto arquitetônico.

Esses atos projetuais têm se mantido no tempo, a despeito da introdução de novas ferramentas gráficas em arquitetura, notadamente as digitais; no entanto cada ferramenta pode oferecer um *ambiente de projeto* característico, que promova matizes na utilização do conhecimento geométrico durante a execução dos atos projetuais. Vamos à identificação de alguns desses *ambientes de projeto*, conceito que será melhor compreendido, por exemplificação, na subseção seguinte.

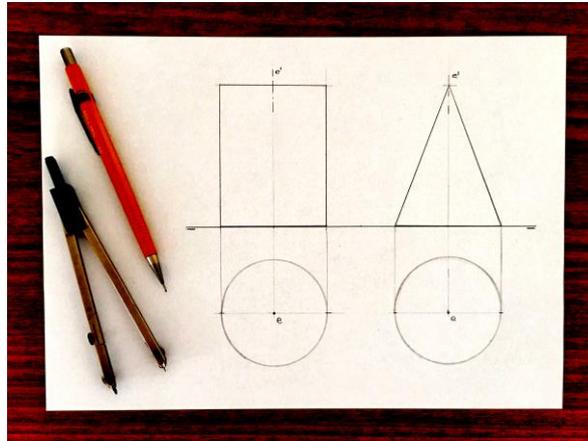
3.1. Ambiente de Projeto 1

O primeiro ambiente a ser descrito é aquele cujas operações sobre a forma (geração, representação, manipulação e construção), são realizadas por meio de ferramentas gráficas analógicas. Ambiente que se caracteriza por um processo gráfico baseado em construir representações bidimensionais, por sua vez produzidas por projeções cilíndrico-ortogonais, que ao serem interpretadas de maneira conjugada promovem a definição unívoca da forma.

A Figura 1 nos mostra um cilindro e um cone nesse ambiente, que tem como ferramenta gráfica o sistema diédrico, utilizando interface consagrada da geometria descritiva: a *épura*. A mídia utilizada na Figura 1 foi a folha de papel sulfite A4.

Consideraremos o sistema diédrico como uma ferramenta gráfica, que conta com a interface plana da *épura* a nos permitir operar sobre a forma. Não devemos confundir esta ferramenta com o instrumental utilizado, ainda na Figura 1 observamos lapiseira e compasso como exemplos de instrumento de desenho.

Figura 1: Ambiente de Projeto 1



Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

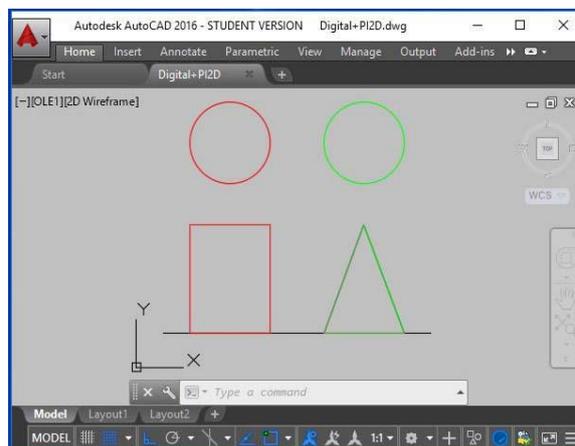
Em arquitetura e urbanismo teríamos as plantas, cortes e vistas desenhadas “a mão”, que se baseiam no mesmo princípio de definição e compreensão da forma por interpretação conjugada de uma dupla projeção cilíndrico-ortogonal. Perspectivas estariam excluídas desse ambiente, pois dispensaram a interpretação necessariamente conjugada de projeções. Ambiente de Projeto dominante e quase único até os anos 1980 na prática arquitetônica, ao menos para se produzir plantas, cortes e vistas.

As semelhanças dos princípios do sistema diédrico da descritiva com algumas das representações gráficas utilizadas pelos arquitetos, se prestam ao ensino de descritiva aplicado à arquitetura. Pode-se, por exemplo, facilitar a compreensão do próprio sistema diédrico da descritiva mostrando analogias com as representações usuais do objeto arquitetônico.

3.2. Ambiente de Projeto 2

O ambiente de projeto 2 ocorre quando as projeções conjugadas, seja em geometria, seja em arquitetura, continuam a ser produzidas, só que por meio de ferramentas digitais. A Figura 2 mostra o mesmo cone e cilindro do exemplo anterior, só que agora suas projeções foram desenhadas com o auxílio do *software* Autocad 2016.

Figura 2: Ambiente de Projeto 2



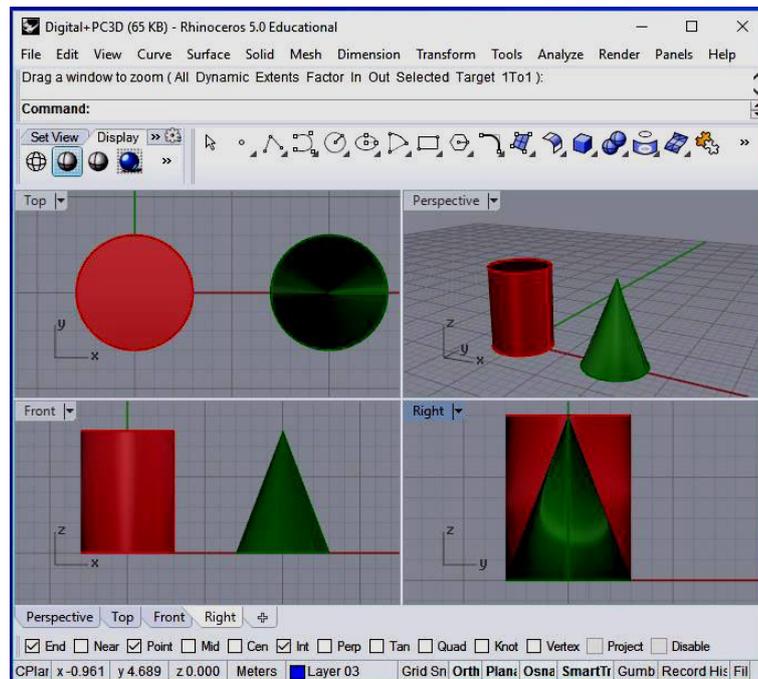
Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

Na Figura 2 temos as vistas superiores, na parte de cima da imagem, e as vistas frontais, na parte de baixo, sem que necessariamente precise ser uma *épura*. O Ambiente 2 passou a se difundir na prática arquitetônica nos anos 1980 (AISH, 2013) e nele se mantiveram duas características do Ambiente 1, seja para lidar com a forma geométrica ou a arquitetônica: a produção de projeções cilíndrico-ortogonais e a interpretação dessas projeções de maneira conjugada, para fins de compreensão e definição da forma.

3.3. Ambiente de Projeto 3

No Ambiente 3, os mesmos cilindro e cone são modelados tridimensionalmente com ferramenta digital, em um *processo de construção tridimensional de um objeto virtual*. Aqui não se constroem vistas ou projeções, o objeto é virtualmente construído, no exemplo da Figura 3 utilizamos a ferramenta digital Rhinoceros 5.0.

Figura 3: Ambiente de Projeto 3



Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

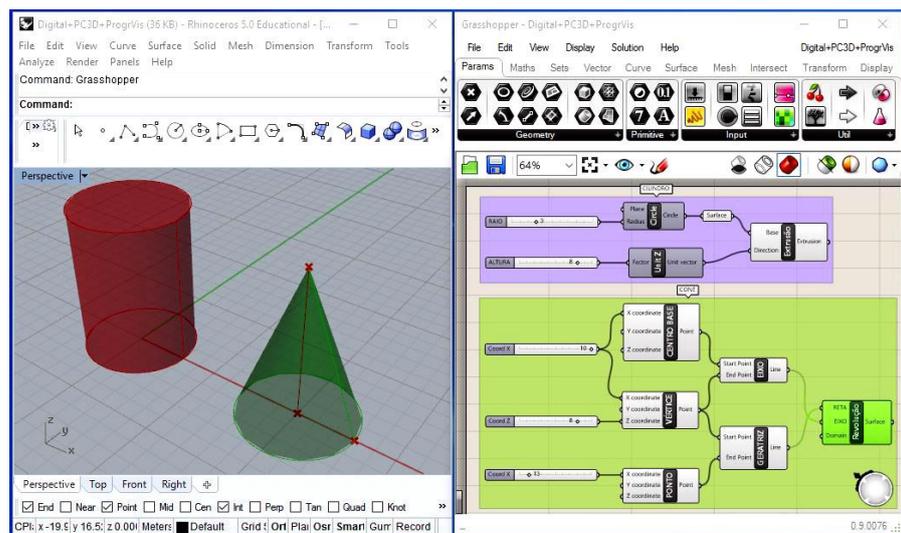
Há como se personalizar uma interface com múltiplas janelas (ver Figura 3), que são pontos de vista não necessariamente conjugados, que podem expressar até *zoom* diversos. Pontos de vista que ora equivalem ao observador situado no infinito, ora a meia distância, como na perspectiva cônica exibida no canto superior direito da figura. Qualquer alteração na forma se manifesta em todas as janelas simultaneamente.

Nesse ambiente operamos a forma diretamente no seu modelo tridimensional, podemos dispensar a intermediação de projeções conjugadas necessárias ao trabalharmos com um objeto geométrico em *épura*. O Ambiente 3 teve seu uso mais difundido em arquitetura a partir dos anos 1990, ele trouxe uma novidade em relação aos ambientes precedentes: as projeções do objeto são obtidas como um produto do modelo digital 3D.

3.4. Ambiente de Projeto 4

No Ambiente 4 temos a modelagem digital integrada à programação visual, sua difusão se deu na primeira década no século XXI. Como exemplo desse ambiente temos o promovido pelo uso conjugado do *Rhinoceros 5.0* com o *Grasshopper 1.0* (ver Figura 4).

Figura 4: Ambiente de Projeto 4



Fonte: Elaborada por Raphael Marccone

Com a interface customizável, abrimos uma janela para o *Rhinoceros*, à esquerda, que nos mostra uma perspectiva, à direita posicionamos uma janela do *Grasshopper*; nesta última notamos um retângulo ao centro, na cor lilás, que expressa a elaboração de um algoritmo que ordena a construção de um cilindro no *Rhinoceros*, à esquerda; a mesma coisa acontece com o cone, só que com as *ordens* partindo do retângulo maior, na cor verde.

Sem detalhar os dois algoritmos, temos aí dois exemplos de *Programação Visual*, o *Rhinoceros* comporta-se como local da realização da modelagem digital de ordens dadas via algoritmos, partindo de outro programa: o *Grasshopper*. As pesquisas de Terzidis (2006) e Carpo (2011) nos chamam a atenção para a difusão crescente do uso de algoritmos para se produzir a forma arquitetônica, inicialmente no formato direto de *scripts* computacionais, e, posteriormente, em programas que oferecem uma programação visual a embutir esses mesmos *scripts*, tornando a linguagem computacional mais amigável aos arquitetos.

Gerada a forma, há como se obter suas projeções, sejam cilíndrico-ortogonais ou cônicas, tal como em Ambiente de Projeto 3, sendo essas um produto do modelo digital tridimensional.

4. Experimento: Observar a Geometria nos Ambientes de Projeto

Definidos os *Ambiente de Projeto*, a próxima etapa de pesquisa foi criar um *Experimento*, onde o pesquisador pudesse observar usuários de ferramentas gráficas ao realizar operações geométricas nesses quatro Ambientes de Projeto, tudo isso foi seguido por uma análise qualitativa.

O experimento foi aplicado a um grupo de indivíduos, estudantes de arquitetura e urbanismo, com proficiência em geometria descritiva e ferramentas analógicas, até então não usuários de ferramentas CAD, que foram postos a executar operações sobre a forma com múltiplas ferramentas. Esses indivíduos foram expostos a ferramentas que lhes seriam novas e fizeram algumas operações que não lhes eram usuais, e, em ambiente controlado, foram observados pelo pesquisador. Pudemos assim, com a aplicação do experimento, observar a geometria *em ação*, contextualizada a operações sobre a forma usuais ao arquiteto, seja gerando-a, representando-a ou executando procedimentos para fins de sua construção em modelo reduzido, construindo maquetes por procedimentos de planificação.

Por um semestre letivo, durante quatro meses no ano de 2016, alunos de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU-UFRJ), participaram desse experimento; todos eles estavam matriculados em uma disciplina eletiva denominada *Geometria Descritiva Aplicada à Arquitetura*, de carga horária total de 60 horas-aula, sendo 4 horas semanais, que possuía ementa flexível a comportar o experimento. O professor da disciplina foi o pesquisador, que obteve consentimento por escrito dos alunos para observá-los durante a aplicação do experimento.

Os indivíduos da amostra de pesquisa eram vinte e cinco, todos eles alunos que já haviam cursado as disciplinas *Geometria Descritiva 1* e *Geometria Descritiva 2*, totalizando 180 horas-aula de ensino tradicional de descritiva, utilizando épuras e ferramentas gráficas analógicas. Ressaltamos que a educação projetual desses alunos, nas demais disciplinas do Curso de Graduação, se deu também unicamente em Ambiente de Projeto 1. Esse era o perfil dos alunos no curso de graduação supracitado no ano de 2016, perfil conveniente à pesquisa pois pudemos observar como agiram esses indivíduos ao serem expostos a ambientes de projeto que não lhes seriam usuais, como um ambiente caracterizado pela presença de ferramentas digitais, e se saberiam transpor (e como transporiam) os conhecimentos geométricos adquiridos em um curso de descritiva tradicional a ambientes de projeto diversos.

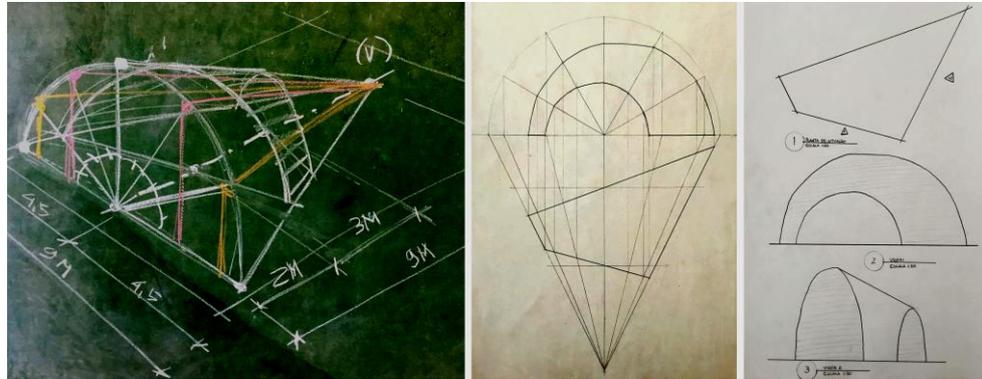
4.1. Aplicação do Experimento

As atividades do experimento relatadas a seguir, embora não correspondam à sua totalidade, abarcam aproximadamente 50% das mesmas, são exemplos suficientes para ilustrar os principais pontos da experiência.

O primeiro ato foi escolher uma forma, do repertório geométrico dos alunos, dimensioná-la para fins de aplicação a um projeto de arquitetura. A superfície cônica de revolução foi a escolhida, dimensionada como um pequeno pavilhão com dimensões suficientes para abrigar pessoas em pé (ver à esquerda da Figura 5). Por redução/simplificação geométrica desprezou-se a espessura do material. Um semicone seria seccionado por dois planos verticais (resolução das seções em épura, ao centro da figura) e poderíamos fazer a transposição para plantas e duas vistas, mesmo que de maneira esquemática, mas que levasse em conta a representação na devida escala escolhida, a 1/50 (ver à direita da Figura 5).

A figura não mostra, mas a atividade prosseguiu com a elaboração de uma maquete de estudo por meio da planificação da superfície, com ferramentas analógicas, observada a devida escala. O objetivo da atividade foi que os alunos chegassem a produtos clássicos dos arquitetos, tais como plantas, vistas e maquetes, em procedimentos onde as operações sobre a forma fossem facilmente relacionadas com seus conhecimentos geométricos adquiridos no estudo precedente de descritiva.

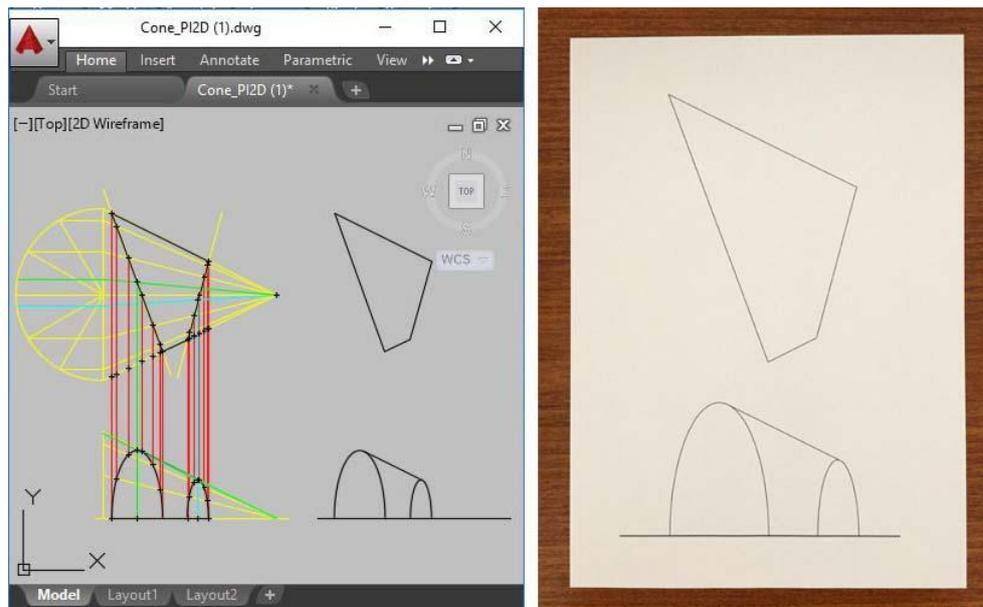
Figura 5: Redução Gemométrica / Ambiente de Projeto 1: épura + plantas e vistas



Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

Passamos ao Ambiente de projeto 2 (ver Figura 6).

Figura 6: Ambiente de Projeto 2



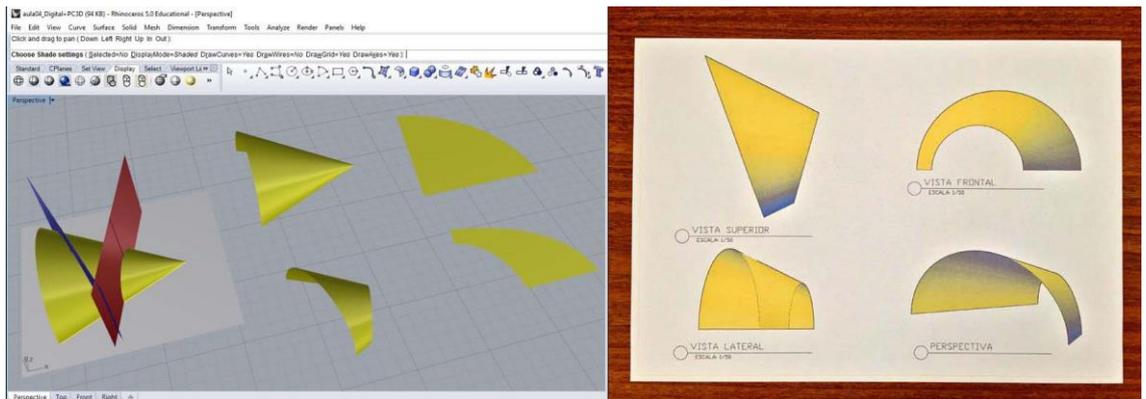
Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

Ambiente novo a quase todos os alunos, pois 90% deles não manuseavam programas gráficos para confeccionar desenhos de arquitetura. Apesar da ferramenta ser novidade, os indivíduos mostraram facilidade no seu manuseio. O software *Autocad 2016*, apesar de oferecer diversos recursos, foi utilizado unicamente como uma prancheta eletrônica para desenhos 2D, mimetizando os procedimentos e operações que os alunos tinham acabado de concluir em Ambiente de Projeto 1, chegando exatamente aos mesmos produtos.

Ao aluno foi dada a oportunidade de comparar os dois primeiros ambientes, para, a seguir, introduzi-los ao Ambiente de Projeto 3, com o uso do programa gráfico *Rhinoceros 5.0*. Nesse terceiro ambiente de projeto os alunos chegaram novamente aos mesmos produtos (ver Figura 7), com um produto adicional que foi a perspectiva cônica, facilmente obtida em Ambiente de Projeto 3 (ver no canto inferior direito da figura).

Essa ferramenta digital era inédita a todos os alunos. Observamos que as operações geométricas de gerar, seccionar, planificar e representar a forma acabaram sendo o fio condutor a orientar os alunos em cada um dos ambientes de projeto, pois essas operações se repetiam em cada um dos ambientes, fato que nos pareceu facilitar até mesmo o aprendizado dessas novas ferramentas gráficas.

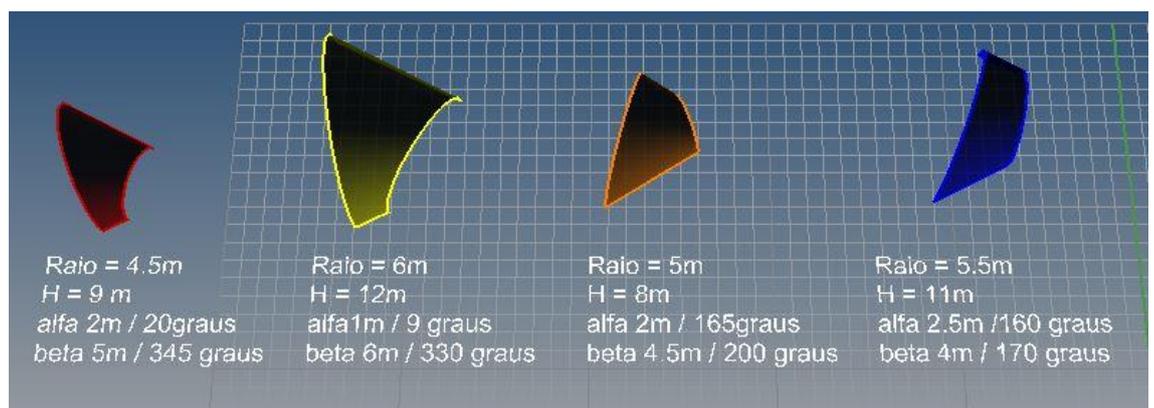
Figura 7: Ambiente de Projeto 3



Fonte: Elaborada por Raphael Marccone

Passamos ao Ambiente de Projeto 4, para um exercício de construção de semicones seccionados por dois planos secantes, que poderiam variar os parâmetros de altura (H), raio da base, distância dos dois planos secantes até a base do cone e inclinação desses planos com o eixo do cone, enfim: parametrizados. Algoritmos foram elaborados utilizando programação visual com o *Grasshopper 1.0*, integrado ao *Rhinceros 5.0*. A cada aluno foi pedido que produzisse quatro módulos (ver Figura 8), como no exemplo que se segue.

Figura 8: Módulos de um aluno desenvolvidos em Ambiente de Projeto 4



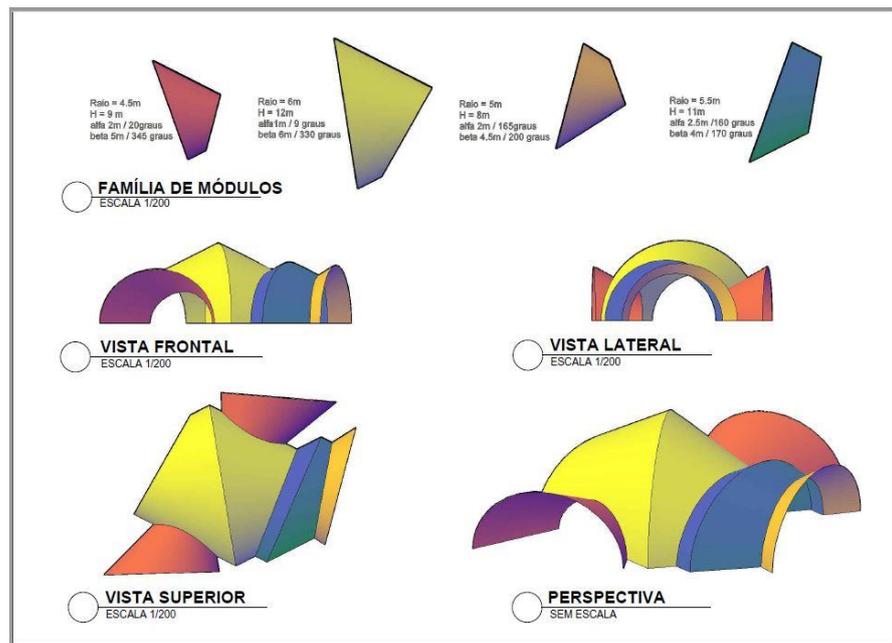
Elaborada por Raphael Marccone

A partir dos quatro módulos de cada aluno, foi pedido que elaborassem um pavilhão, com altura suficiente a ser habitado, composto por unidades desses módulos, que poderiam se repetir. Foi admitida a interseção entre os módulos, que a ferramenta digital Rhinceros resolvia com facilidade, cada aluno criou a sua composição. Na Figura 9 podemos ver um exemplo de um desses pavilhões, que foi composto por dois módulos vermelhos, dois amarelos, um laranja e dois azuis.

Nessa atividade os alunos tiveram que obter dois produtos, tais como um arquiteto faria, a despeito de algumas simplificações que utilizamos no experimento.

O primeiro produto foi uma prancha impressa em A3, temos como exemplo de prancha a própria Figura 9. Nessa prancha temos, além das vistas superiores dos módulos utilizados na composição, com a indicação dos parâmetros adotados em cada um deles, a vista frontal, lateral e superior, representadas em escala (1/200), além de uma perspectiva cônica.

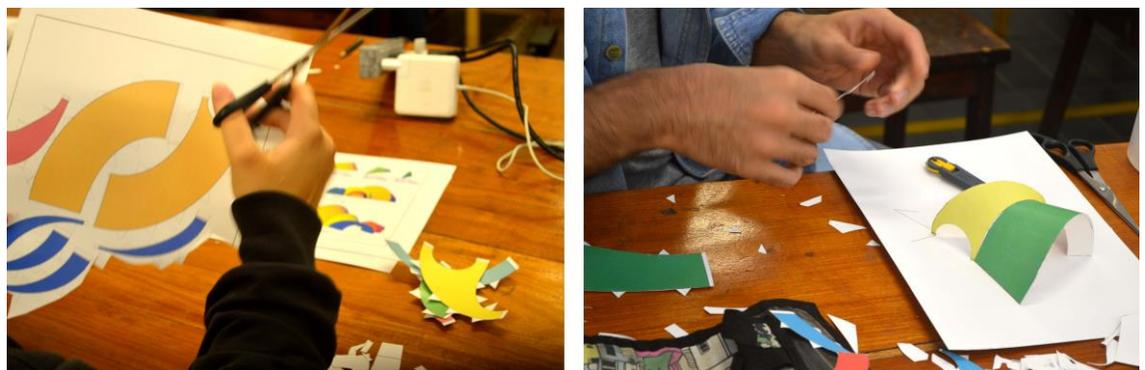
Figura 9: Pavilhão composto por quatro tipos de semicones parametrizados



Elaborada por Raphael Marccone

Outro produto obtido foi uma maquete física na escala 1/100, construída a partir da planificação dos módulos utilizados na composição do pavilhão com a ferramenta Rhinoceros, planificação essa impressa em jato de tinta e cortada à mão (ver Figura 10).

Figura 10: Execução das maquetes dos pavilhões



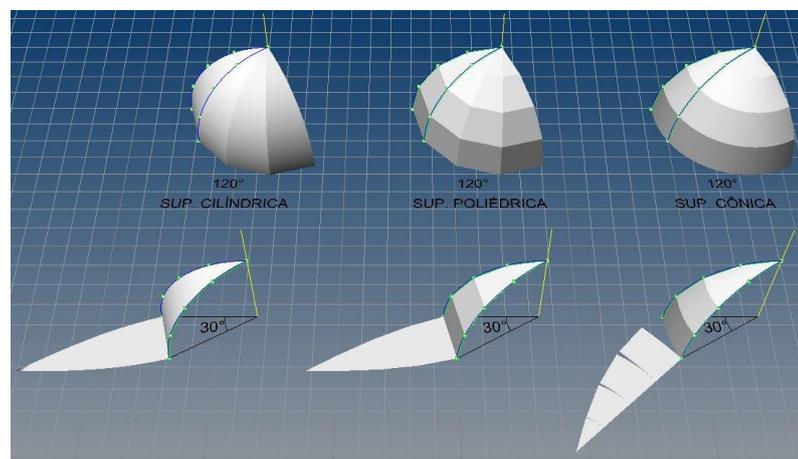
Elaborada por Raphael Marccone

A essa altura os alunos já haviam percorrido os quatro ambientes de projeto e conhecido os princípios básicos de todas as ferramentas gráficas utilizadas no experimento.

Nesses ambientes se encarregaram de obter os produtos clássicos do trabalho de um arquiteto, tais como: plantas, vistas, algumas perspectivas e maquetes eletrônicas e físicas.

Passemos agora a outra atividade, ilustrada pela Figura 11, que propõe a utilização do conceito matemático de *discretização* para resolver um problema de arquitetura: a planificação de uma superfície para fins de construção de uma cúpula semiesférica, sendo essa superfície reversa. A solução adotada foi *discretizar* a superfície transformando-a em três tipos de superfícies planificáveis, que já faziam parte do repertório formal dos alunos, que já as havia estudado no curso regular de geometria descritiva, em é pura, em Ambiente de Projeto 1.

Figura 11: Discretização de uma cúpula em Ambiente de Projeto 3



Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

Em seguida foi proposto que, no mesmo Ambiente 3, transpusessem esse estudo de discretização para outras superfícies reversas, o que foi feito para o elipsoide de revolução, o parabolóide de revolução e para o toro circular, que vemos na Figura 12.

Figura 12: Maquete da discretização de um toro, obtida a partir do Ambiente de Projeto 3



Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

Os produtos obtidos foram plantas, vistas, perspectivas e maquete, na Figura 12 vemos a parte final da elaboração da maquete física do toro, uma cortadora a laser foi utilizada para auxiliar a confecção das maquetes. A prototipagem rápida, via corte a laser, foi novidade aos alunos.

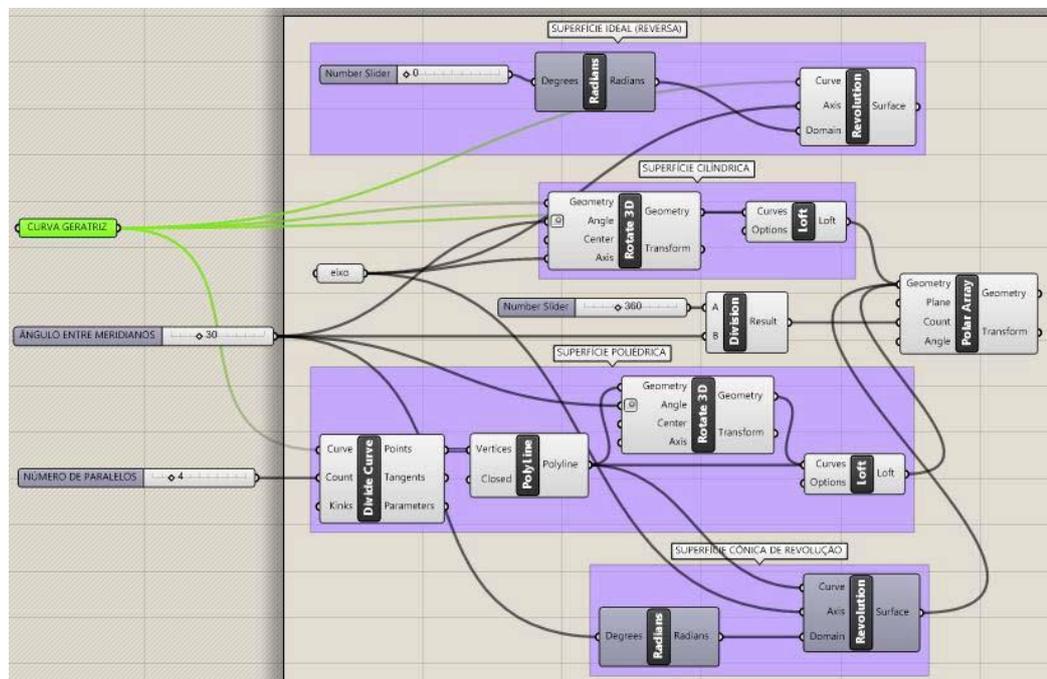
As maquetes tiveram um caráter colaborativo, cada aluno se encarregou de confeccionar uma porção de 120° de cada uma das superfícies; estas porções, quando aproximadas, mostravam as três discretizações utilizadas em cada superfície (ver canto inferior esquerdo da Figura 12).

Com diversas superfícies discretizadas foi pedido aos alunos que identificassem padrões nessas discretizações, que se repetissem no toro circular, elipsoide de revolução, parabolóide de revolução e na superfície esférica.

Mais que identificar padrões, foi pedido aos alunos que escrevessem a sequência de regras que levariam aos três tipos de discretização, assim o fizeram redigindo essas regras, com início, meio e fim, montando três *algoritmos* de discretização, ainda em “modo texto”.

A seguir, quatro algoritmos foram montados, via programação visual com uso conjugado de Rhinoceros e Grasshopper, no ambiente de projeto 4. O primeiro geraria a superfície ideal, porém reversa. Já os três algoritmos seguintes gerariam as superfícies discretizadas a partir da superfície ideal, a saber: cilíndrica, poliédrica (prismática) e cônica de revolução (ver Figura 13). Esses algoritmos, transcritos de modo texto para programação visual, foram *reservados* para futuro uso, na atividade seguinte.

Figura 13: Algoritmos transcritos no Grasshopper

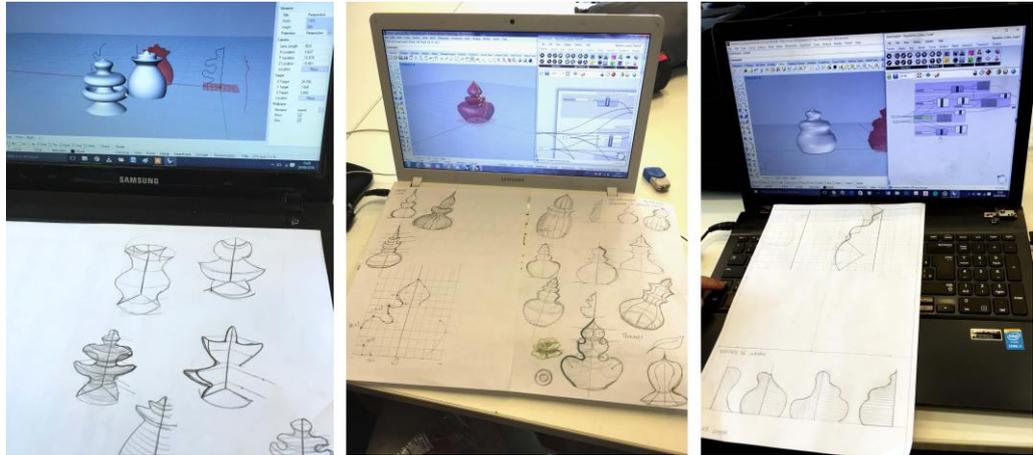


Elaborada por Raphael Marccone

Ainda com o tema “cúpulas” foi proposta aos alunos uma nova atividade, que cada um projetasse a sua própria cúpula, isso se deu a partir de uma curva livre, que deveria rodar em torno de um eixo, assim produziria uma cúpula que fosse uma superfície de revolução. O

projeto começou com croquis à mão, a seguir cada aluno digitalizou sua curva geratriz e o eixo da superfície, gerando, ainda em Ambiente de Projeto 3, a sua própria cúpula (ver Figura 14).

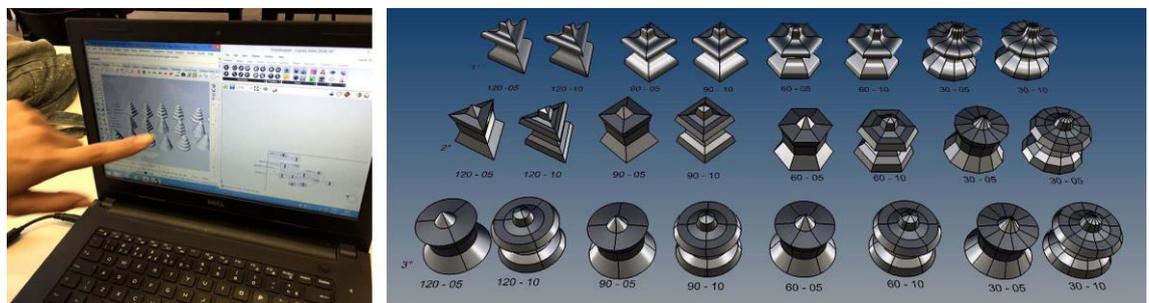
Figura 14: A cúpula de cada aluno



Fonte: Elaborada por Raphael Marccone

Gerada a cúpula, nos deparamos com o problema de construção de sua maquete física por meio de planificação, já que era uma superfície reversa. Lançamos mão então dos três algoritmos de discretização prontos (ver Figura 13), já elaborados na atividade precedente, passamos ao Ambiente de Projeto 4. Ativando os três algoritmos na curva geratriz de cada aluno, cada um deles criou três famílias de superfícies, cada uma com oito membros, vistas de cima a baixo na Figura 15: cilíndrica, prismática (poliédrica) e cônica. O algoritmo era parametrizado, permitindo a alteração, por exemplo, do ângulo entre as curvas geratrizes entre 120° , 90° , 60° e 30° . Isso criava variações sobre a forma a partir do mesmo algoritmo.

Figura 15: A cúpula de cada aluno em Ambiente de Projeto 4, três algoritmos distintos promovem variações por meio de alterações de parâmetros



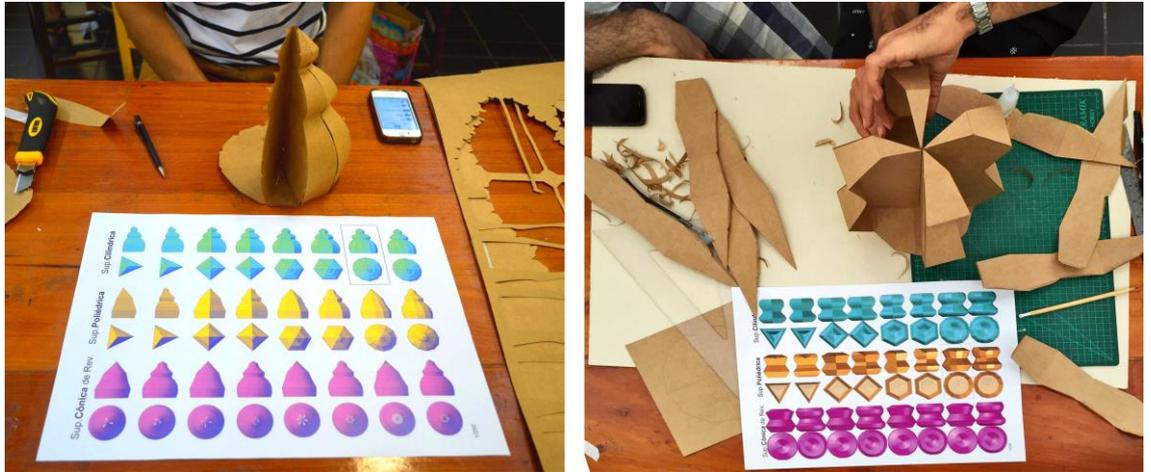
Fonte: Elaborada por Raphael Marccone

Essa grande família, de vinte e quatro membros, deveria ser representada plotada na escala $1/250$, em vista frontal e superior conjugada, separadas em três subfamílias identificadas em verde (superfície cilíndrica), amarelo (superfície prismática) e lilás (superfície cônica) (ver Figura 16).

Já que os vinte e quatro membros da família, todos discretizados, eram agora planificáveis, o aluno deveria escolher e indicar um para executar a maquete física em escala

maior, que foi elaborada com auxílio de uma máquina cortadora a laser.

Figura 16: Escolha de uma entre vinte e quatro variações para a execução da maquete física



Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

Ao fim da atividade todas as maquetes foram reunidas (ver Figura 17), assim como suas representações gráficas, os alunos puderam comparar os resultados, tirar conclusões e fazer comentários.

Figura 17: Coleção de Cúpulas de todos os alunos



Fonte: Elaborada por Raphael Marcone

Terminado o relato de algumas das atividades mais significativas do experimento, passemos à interpretação dos resultados.

4.2. Interpretação dos Resultados

O objeto dessa pesquisa é o ensino de geometria descritiva para futuros arquitetos, com o viés de embasar as operações sobre a forma arquitetônica e urbana. A aplicação do experimento visou criar condições para se observar indivíduos, com conhecimento prévio de descritiva, operando a forma nos principais ambientes de projeto, que identificamos como alguns dos

que são promovidos atualmente pelas ferramentas gráficas analógicas e digitais. Assim, poderíamos ver esse conhecimento geométrico em ação, contextualizado ao trabalho do arquiteto, quando este produz plantas, vistas, cortes, perspectivas e maquetes. Posto isso, podemos considerar que esse aspecto buscado pelo experimento foi eficaz, já que as condições de observação foram promovidas.

Os alunos conseguiram percorrer os *ambientes de projeto* com relativa facilidade, mesmo ao se depararem com ferramentas gráficas novas. As operações sobre a forma atuaram como um fio condutor a orientar os alunos; estes, quando identificavam que tinham uma seção a fazer, ou uma planificação, buscavam recursos disponíveis no ambiente de projeto característico da ferramenta gráfica, algo que fosse adequado àquela operação específica.

Nas fases iniciais da pesquisa não sabíamos se os alunos se mostrariam aptos a transpor o conhecimento geométrico a outros ambientes de projeto, visto que estavam expostos, até então, apenas ao Ambiente de Projeto 1 em sua formação acadêmica, seja nas disciplinas de geometria descritiva, seja nas demais disciplinas da área de educação gráfica de seu curso de arquitetura.

A formação prévia dos alunos em descritiva, pois todos já haviam cursado 180 horas-aula da disciplina, se mostrou relevante no bom sucesso de operação das ferramentas gráficas. Isso foi percebido mesmo quando os alunos trabalharam em Ambientes de Projeto diferentes dos que lhe eram usuais, por exemplo, quando construíram algoritmos, por programação visual, em Ambiente de Projeto 4; nesse momento demonstraram sólido conhecimento de regras de geração de superfícies, o que os ajudou na compreensão e definição dos algoritmos.

Os alunos também puderam identificar as peculiaridades de cada ferramenta gráfica, a adequação de uma ou outra para realizar esta ou aquela operação geométrica específica, demonstraram também a capacidade de combinar e alternar ferramentas gráficas e ambientes de projeto.

Por fim, podemos dizer que a profusão de ferramentas gráficas em arquitetura e urbanismo demanda adequações no ensino que vão além da descritiva. Essa alternância entre ambientes de projeto e o uso combinado de ferramentas gráficas, mesmo sendo possível ser explorada no ensino de geometria, pode também ser adotada na educação gráfica do aluno de arquitetura e urbanismo também nas disciplinas de projeto, por exemplo. No ensino de geometria podemos destacar que as operações geométricas realizadas pelo arquiteto sobre a forma, a fim de obter os produtos para seu trabalho, são operações espaciais que não se vinculariam a uma ferramenta gráfica específica ou a algum determinado ambiente de projeto.

5. Considerações Finais

A geometria descritiva, sistematizada por Monge no fim do século XVIII, ofereceu suporte matemático a muitas das representações em arquitetura e urbanismo; pôde se estabelecer uma correspondência da *épura* com a interface igualmente plana das mídias envolvidas na elaboração de plantas baixas e vistas, já que a interpretação de projeções cilíndrico-ortogonais em arquitetura também se vale de procedimento semelhante, ao do realizado em descritiva, para a compreensão da forma geométrica.

As operações sobre a forma estudadas em descritiva são operações espaciais, fato que independe de qualquer ferramenta gráfica ou técnica utilizada. A despeito disso é notável a associação que se costuma fazer da descritiva com uma interface operacional específica, que é a *épura*, sem que se explore, em mesma medida, associações com outras interfaces gráficas

promovidas por diversas ferramentas de desenho.

Com a diversificação das ferramentas gráficas utilizadas em arquitetura e urbanismo, a partir dos anos 1980, se diversificaram os ambientes de projeto promovido por estas ferramentas, cada um com sua interface característica; alguns ambientes deixaram de oferecer um rebatimento direto, e facilmente identificável, entre as operações realizadas sobre a forma em geometria descritiva e as realizadas em arquitetura e urbanismo. Para que esse fato fosse verificado e explorado, essa pesquisa elaborou e aplicou um experimento em estudantes de arquitetura e urbanismo. Nesse experimento se observou como ocorreria o rebatimento do que costuma se aprender de geometria descritiva, ensinada nos moldes de um curso tradicional, quando da utilização de múltiplas ferramentas gráficas.

Os indivíduos submetidos ao experimento tinham proficiência em geometria descritiva e ferramentas gráficas analógicas, com pouca ou nenhuma prática em ferramentas digitais. Os alunos passaram por quatro ambientes de projeto, definidos nessa pesquisa como ambientes característicos, ou típicos, de algumas das ferramentas CAD mais utilizadas em arquitetura e urbanismo. Os estudantes passaram por etapas análogas a de um projeto: concepção, representação e construção (apenas de maquetes). No experimento, foi observada a relação de seus conhecimentos prévios, em geometria descritiva, com a execução de operações sobre a forma promovidas nesses novos ambientes de projeto.

Os participantes do experimento se mostraram aptos a transpor o conhecimento geométrico a outras ferramentas gráficas, mesmo em ambientes de projeto que não lhes eram usuais. O experimento mostrou ser possível haver um diálogo, entre os conhecimentos previamente adquiridos em geometria descritiva, mesmo que por meio de um ensino tradicional, com as subseqüentes operações sobre a forma intermediadas pelas ferramentas gráficas digitais.

A despeito desta transposição ter ocorrido, o experimento confirmou alguns pontos de inadequação, que a pesquisa já havia identificado ao consultar a literatura. Dentre os pontos estava o de que algumas ferramentas gráficas CAD, mesmo realizando operações espaciais idênticas às realizadas em descritiva, não apresentavam uma interface gráfica correspondente à interface clássica da *épura*. O experimento confirmou que as novas interfaces ofereceram matizes importantes a estas operações sobre a forma, como a de possibilitar a aplicação de novos conceitos geométricos. Operações como as de discretização, ou de geração paramétrica da forma com o uso de *scripts* computacionais via programação visual, foram identificadas como recorrentes no uso de ferramentas digitais.

Ao se adequar o ensino de geometria a futuros arquitetos, devemos ter em conta que, ao se operar a forma com as ferramentas CAD, utilizamos fundamentos e conceitos geométricos nem sempre presentes em um escopo programático de um curso de geometria descritiva tradicional. A execução do experimento confirma isso. Esses conhecimentos precisam ser incluídos na formação do aluno de arquitetura e urbanismo. Alguns, como o de programação computacional, podem ser ministrados inclusive fora de um curso de geometria.

Ações de adequação a serem tomadas em ensino de arquitetura e urbanismo devem ir além do ensino de geometria. Recomendamos aos educadores que considerem os diversos ambientes de projeto possíveis a serem utilizados por um arquiteto, evitando se fixar unicamente nos que trabalham com a construção de projeções cilíndrico-ortogonais. É fundamental que o aluno atue nesses diversos ambientes de projeto, ação que pode ser implementada, inclusive, nas próprias disciplinas de projeto de um curso de graduação em arquitetura.

Propomos, em vez de apontarmos um único caminho, que se abram as possibilidades a

abordagens diversas do saber geométrico em ensino. Ações que tratem de maneira integrada as ferramentas CAD, as operações sobre a forma, os ambientes de projeto e os fundamentos matemáticos e geométricos, se mostram promissoras a investigações vindouras que tratem da educação gráfica para futuros arquitetos.

Agradecimentos

Essa pesquisa foi desenvolvida como atividade do grupo de pesquisa *A Educação do Olhar: apreensão dos atributos geométricos da forma dos lugares*, PROARQ-FAU-UFRJ. Agradeço à sua coordenação e aos membros do grupo. Para informações adicionais sobre a pesquisa consultem Marcone (2017).

Referências

- AISH, Robert. First build your tools. In: PETERS, Brady; PETERS, Terri (Ed.). **Inside smartgeometry**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2013. p. 36-49.
- CARPO, Mario. **The alphabet and the algorithm**. Cambridge: The Mit Press, 2011. 169 p.
- GANI, Danusa Chini. **A geometria de Gaspard Monge: o método descritivo que prescinde da técnica de dupla projeção ortogonal e independe dos meios de representação**. 2016. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Arquitetura, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, UFRJ-PROARQ, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://objdig.ufrj.br/21/teses/836118.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2016.
- HENRIQUES, Gonçalo Castro. **TetraScript: Sistema de aberturas responsivo para controlar a luz, de acordo com fatores externos e internos**. 2013. 447 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Faculdade de Arquitetura, Faculdade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.
- MARCONI, Raphael. **A geometria descritiva em ensino de arquitetura e urbanismo e as ferramentas CAD: diálogos possíveis**. 2017. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Arquitetura, PROARQ - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://objdig.ufrj.br/21/teses/857502.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2018.
- MARTÍN-PASTOR, Andrés. Um retorno aos fundamentos da geometria: The Butterfly Gallery - superfícies helicoidais, estratégias para a fabricação digital. **Cadernos Proarq**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 25, p.18-30, dez. 2015. Semestral. Disponível em: <<http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/pt/paginas/edicao/25>>. Acesso em: 29 set. 2016.
- MONGE, Gaspard. **Géométrie descriptive: d'une théorie des ombres et de la perspective**. 4. ed. Paris: Courcier, 1820. 265 p. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=7_u5oeQARTOC&dq=gaspardmonge&hl=pt-R&pg=PR3#v=onepage&q=gaspardmonge&f=false>. Acesso em: 06 jan. 2014.
- _____. **Géométrie descriptive: Leçons données aux ecoles normales, l'an 3 de la république**. Paris: Baudouin, 1798. 132 p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2027/nyp.33433057782306>>. Acesso em: 06 jan. 2014.
- PETERS, Brady; PETERS, Terri (Ed.). **Inside smartgeometry: expanding the architectural possibilities of computational design**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2013. 271 p.
- POTTMANN, Helmut et al. **Architectural geometry**. Exton: Bentley Institute Press, 2007. 724 p.
- TERZIDIS, Kostas. **Algorithmic Architecture**. Oxford: Architectural Press, 2006.