Design paramétrico e modelagem algorítmica: os efeitos de seus conceitos e técnicas para o estudante de arquitetura¹

Parametric design and algorithmic modeling: the effects of concepts and techniques to architecture students

¹Versão expandida do artigo selecionado nos Anais do Graphica 2019

Giovani Voltolini

Mestre
Universidade Federal de
Santa Catarina, Florianópolis,
Brasil
voltolini1978@gmail.com

Regiane Trevisan Pupo

Doutora
Docente do Departamento de
Expressão Gráfica,
Universidade Federal de
Santa Catarina, Florianópolis,
Brasil
regiane.pupo@ufsc.br

Natália Queiroz

Mestre
Doutoranda em Arquitetura e
Urbanismo,
Universidade Federal de
Santa Catarina
nataliaqueiroz@labcon.ufsc.br

RESUMO:

Este trabalho apresenta conceitos e definições dos principais termos relacionados a dois distintos e promissores processos de concepção projetual – Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica – e sua aplicação em forma de oficina para estudantes de Arquitetura e Urbanismo. Frente ao modelo projetivo já vigente, neste trabalho denominado de “processo tradicional de projeto”, a aplicação visa exercícios orientados com os novos processos e sua execução em duas realidades distintas, uma universidade pública e uma privada. Ao final são apresentados os resultados obtidos referente ao parecer e aproveitamentos dos participantes e as considerações finais referentes a ação realizada na prática.

Palavras-chave: design paramétrico; modelagem algorítmica; estudante de arquitetura.

ABSTRACT:

This paper presents concepts and definitions around two different and promising design process terms - Parametric Design and Algorithmic Modelling – and its application in two workshops for architecture students. Facing the current design process, here called as “traditional design process”, the workshop aims oriented practice using new processes and their application in two different realities, a public and a private university. The results are presented at the end referring to the feedback and achieved progress by the students and their final considerations.

Keywords: parametric design; algorithmic modelling; architecture students

1. INTRODUÇÃO

A expansão de novas tecnologias utilizadas em processos projetuais sugere novos modos de conceber a arquitetura e o design. Desta forma, entende-se que as fases iniciais da concepção projetual, tanto na arquitetura como no design, são afetadas por esses adventos tecnológicos, aqui relacionadas aos aspectos formais. A busca por formas mais complexas, fez com que desenvolvedores aperfeiçoassem ferramentas computacionais mais elaboradas e adaptadas às práticas projetivas, ocasionando um novo paradigma projetual. Neste contexto, o Design Paramétrico e a Modelagem Algorítmica estão emergindo. Nutridos por pesquisadores de arquitetura e computação, estas metodologias vêm ganhando aceitação profissional e acadêmica generalizada (LEACH, 2014).

As metodologias de Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica estão relacionadas à geração de formas por meio de programação e pensamento algorítmico (QUEIROZ, 2015), ou àquelas que implicam na utilização de parâmetros para definir uma forma através de relações que as geram (MONEDERO, 2000). Ou seja, o projetista deve prever quais as variações a serem exploradas, a fim de determinar os tipos de transformações do modelo paramétrico (HERNANDEZ, 2006). Um modelo paramétrico é uma representação computacional de um modelo construído com entidades geométricas que possuem atributos (propriedades), fixos ou variáveis. Os atributos fixos são chamados de “restrições” e as variáveis são chamados de “parâmetros” (HERNANDEZ, 2006). Desta maneira, o projetista não desenha, mas sim, interliga relações entre variáveis e elementos do projeto. A alteração destas variáveis é denominada “parâmetros” e irá gerar a forma do modelo paramétrico.

Os termos podem, porém, sugerir outros conceitos e definições, além de se apresentarem com outras nomenclaturas na língua portuguesa, tais como: modelagem paramétrica (FLORIO, 2011) ou design algorítmico (QUEIROZ, 2015). Também, em algumas situações, são utilizados termos como ‘parametrizar’ e ‘parametrização’ para referir-se à Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica. É interessante notar que esses modelos passam por maturação similar em quatro aspectos: (1) Inicialmente tecnologias utilizadas por técnicos especializados (programadores); (2) Tecnologias de pouco acesso e desenvolvidas por grupos de pesquisas digitais especializados; (3) Linguagem não familiar (textual e não visual) à maioria dos projetistas; (4) Ressalvas na aceitação por parte da academia. Em consonância aos fatos expostos, podem-se notar semelhanças no que diz respeito aos assuntos relacionados à Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica, sendo muito provável que, assim como aconteceu com o CAD (*Computer Aided Design*) nas décadas de 1980 e 1990, se tornem usuais e acessíveis.

Pode-se constatar que estes métodos, por possuírem propriedades e rotinas de geração de formas não convencionais, mas ao mesmo tempo

controladas, aumentam significativamente as possibilidades de conceber estruturas com características mais complexas, se comparados às elaboradas pelo “método tradicional”.

Neste contexto, a problemática está centrada no questionamento se esses conhecimentos irão alterar o processo de elaboração nos estágios iniciais de projeto, principalmente referente à expressão formal. Também está na análise de até qual complexidade de forma é viável utilizar o “método tradicional de projeto” e na verificação, se em algum momento, Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica serão imprescindíveis.

Conforme Rêgo (2008, p. 97), “houve certo consenso de que a introdução das ferramentas digitais na prática arquitetônica atingiu um estágio no qual a adaptação dos antigos paradigmas não responde adequadamente às demandas e especificidades do processo projetual em ambiente computacional”. Assim, esta pesquisa visa investigar as ferramentas de Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica, ao serem inseridas para um grupo de estudantes de Arquitetura e Urbanismo, frente ao modelo de concepção já dominado pelo grupo, que nesta pesquisa é denominado de “processo tradicional de projeto”.

A pesquisa teve como objetivo geral propor um processo de elaboração de formas, por meio de técnicas de Modelagem Paramétrica e Algorítmica, para estudantes de Arquitetura e Urbanismo, afim de investigar os efeitos desta dinâmica nas fases iniciais da projeção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Acredita-se que Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica têm grandes potenciais a oferecer ao ensino de Arquitetura e Design, porém são enormes os desafios para a implementação dessas metodologias nos currículos dos cursos. É importante notar que a consolidação destes novos modos de projetar é uma situação vigente e que necessita ser estudada para que haja um aproveitamento satisfatório no uso da tecnologia. Há a urgência de se agregar itens importantes quanto ao tempo de concepção, elaboração de alternativas e treinamento operacional. E, ainda, apresentar-se de forma a ficar claro que não se trata apenas de uma tecnologia, mas de um novo processo de elaboração projetual.

2.1. Aplicações paramétricas (Paramétrico)

O emprego de superfícies e curvas NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*) em projetos, trouxe por consequência a curva paramétrica. Conforme Minetto (2003), superfícies ou curvas deste tipo possuem a propriedade de se ajustar de modo autônomo quando alterada a posição de um ponto de controle dentro de um ambiente de coordenadas X, Y e Z. Neste caso, a curva paramétrica se redesenhará conforme o novo *input*, ou seja, qualquer tipo de inserção de dados, seja ele via teclado ou mouse. Porém, em se tratando do

termo paramétrico, este é apenas um dos modos da parametrização. Em contraste com os pacotes de software padrão com base na referência de objeto geométrico, o software paramétrico liga dimensões e parâmetros de geometria, permitindo assim o ajuste incremental de uma parte que, então, afeta todo o contexto (LEACH, 2014, p. 34) (Tradução nossa).

De maneira simples, pode-se dizer que toda curva NURBS é uma equação paramétrica usada para definir, matematicamente, superfícies geométricas (LEE, SACKS e EASTMAN, 2006, p. 760). É importante ressaltar que o termo “paramétrico” pode gerar um grupo de interpretações. No entanto, em específico no campo do design contemporâneo, refere-se genericamente à utilização de software de Modelagem 3D Paramétrica (LEACH, 2014). Contudo, ao se pesquisar sobre a definição da Modelagem Paramétrica, é comum se deparar com diferentes ênfases e visões sobre a expressão.

2.2. Paramétrico e Parametrização

Os termos “Paramétrico” e “Parametrização”, apesar de possuírem correlações, são distintos quanto às suas atribuições. “Paramétrico” refere-se a um adjetivo, podendo estar relacionado a uma aplicação ou comando de software paramétrico. “Parametrização” faz referência a uma ação, o ato de parametrizar um modelo por meio da Modelagem Paramétrica. Neste sentido, na parametrização, o projetista liga e define os parâmetros que serão utilizados no projeto. Esta ação ou modelo de elaboração projetual vem sendo denominada por alguns autores de Modelagem Paramétrica (FLORIO, 2011) ou *Parametric Design* (LEACH, 2014).

Diferentemente do comando paramétrico em que o projetista edita variáveis disponibilizadas em rotinas ou aplicações dentro de um determinado software, na modelagem paramétrica os parâmetros (variáveis e inter-relações) são programados pelo projetista para posteriormente serem editados. Na maior parte dos casos, os softwares que permitem a parametrização (programação de parâmetros) se dão por meio de linguagem de programação textuais, denominadas de *script* ou *scripting*; um modo de representação, de médio nível de abstração, para dar instruções ou comandos a serem realizados por um computador. Mais especificamente, é um roteiro que contém uma sequência de passos que orientam a realização de um conjunto de instruções. Geralmente, esse roteiro é representado por uma interface em forma de texto, mediante uso de linhas de comando, diferentemente do uso de representações gráficas (HENDERSON, 2009). Nesse procedimento, o usuário ou programador cria uma rotina (*script*) que contém uma sequência de passos de tarefas repetitivas ou procedimentos simples que podem ser usados para construir uma modelagem de objeto (HERNANDEZ, 2006, p. 52).

2.3. Programação em Modelagem Paramétrica (Modelagem Algorítmica)

É entendido que a parametrização necessita de programação ou, ao menos, de um modelo matemático para idealizar a concepção baseada na conexão de elementos e suas inter-relações. Este tipo de resolução se dá por meio da criação de algoritmos, que são um conjunto das regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas. Os algoritmos são tecnicamente uma ‘simples’ instrução e podem referir-se aos processos de design analógicos padrão ou aos processos digitais de projeto (LEACH, 2014).

A modelagem por meio de programação de algoritmos – *Algorithmic Modeling* (AM) ou *Algorithmic Design* (AD) – é um campo que se refere ao uso de técnicas processuais na resolução de problemas de projeto. Dentro do campo digital, no entanto, refere-se especificamente ao uso de linguagens de *script* que permitem ao projetista ir para uma etapa além das limitações da interface do usuário, e ainda projetar através da manipulação direta não na forma, mas por meio de um código (LEACH, 2014). Normalmente, o projeto algorítmico seria realizado com uso de linguagens de programação do tipo *script*. Assim, as linguagens visuais, por terem uma interface gráfica mais adaptada, podem facilitar a curva de aprendizagem de projetistas que não programam em linguagens textuais (CELANI e VAZ, 2011), no caso a maioria dos arquitetos.

Visando estabelecer uma comparação entre exemplos de programação algorítmica no modo textual (*script*) e visual (interligação entre pilhas), que resultarão em um mesmo objeto, as Figuras 1 e 2 ilustram com melhor clareza as duas formas de *input*.

Figura 1: Modo textual

Fonte: JAMISON, REITZ, et al., 2014

Figura 2: Modo visual

Fonte: JAMISON, REITZ, et al., 2014

Para um entendimento específico de funções de cada método de programação, a Tabela 1 aponta as principais diferenças entre os dois tipos.

Tabela 1: funções de cada método de programação

PROGRAMAÇÃO TEXTUAL	PROGRAMAÇÃO VISUAL
Script	Bypass-code
Linha de texto	Ligação entre pilhas
Compilação	Resultado em tempo real
Especialista	Intuitiva
Permite programação mais refinada	Baseado em editáveis contidos nas pilhas

Fonte: Autores

2.4. Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica

Apesar das metodologias serem distintas, Leach (2014) considera que exista uma condição generalizada, por parte de profissionais da área de design e arquitetura, estabelecendo uma fusão entre Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica. Isto ocorre, em parte, devido ao fato de as duas técnicas poderem produzir formas semelhantes.

A Modelagem Algorítmica trabalha com objetos gerados usando, por exemplo, *script* Rhinoceros (textual) ou Grasshopper (visual), que possuem, muitas vezes, formas curvilíneas e que são aparentemente semelhantes ao trabalho produzido por ferramentas paramétricas. Já o Design Paramétrico, torna-se um caminho que, até certo ponto, dá um significativo suporte ao design digital de formas curvilíneas quanto à estética (SCHUMACHER, 2009).

Ao mesmo tempo, técnicas de Modelagem Algorítmica são, muitas vezes, usadas em associação com técnicas de Design Paramétrico. Por exemplo, a utilização de determinadas técnicas de Modelagem Algorítmica para gerar a forma inicial é, subsequentemente, manipulada usando técnicas de Design Paramétrico. Como exemplo, na análise comparativa das figuras 3 e 4, nota-se que a modelagem algorítmica (lado direito das figuras) que gerou a forma (lado esquerdo das figuras) permanece a mesma em ambas. O que se alteram são as linhas guias parametrizadas e, por consequência, a forma da treliça.

Figura 3: Modelo de pilar curvilíneo em treliça (Variação “A”), gerado por meio de Modelagem Algorítmica em Grasshopper e parametrizado por curvas concebidas em Rhinoceros.

Fonte: Autores

Figura 4 : Modelo de pilar curvilíneo em treliça (Variação “B”), gerado por meio de Modelagem Algorítmica em Grasshopper e parametrizado por curvas concebidas em Rhinoceros.

Fonte: Autores

As técnicas de Modelagem Algorítmica podem, também, ser utilizadas para a otimização e em diversas operações na outra extremidade do processo de concepção, uma vez que a forma gerada inicialmente foi modelada por meio de técnicas de Design Paramétrico. Pode-se perceber que, mesmo sendo termos que representam finalidades distintas, a parametrização depende da programação e vice-versa. Todo desenho paramétrico depende obrigatoriamente do código (LEACH, 2014, p. 34). Assim sendo, entende-se que o Design Paramétrico está mais vinculado em como as inter-relações dos elementos e suas variações irão modificar a forma do projeto, enquanto

Modelagem Algorítmica em como a elaboração do código irá gerar os elementos e, por consequência, conceber a forma.

Em Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica não combinam entidades gráficas, mas interligam componentes e elementos dos projetos com seus respectivos parâmetros e restrições. Diferentemente da Modelagem Geométrica, a forma é consequência das interligações e a sua complexidade está nas propriedades, nos números de interligações e nas variáveis do modelo ou projeto parametrizado. O processo deixa de ser uma abstração e o projetista passa a trabalhar diretamente na programação dessas interligações.

Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica requerem o pensamento algorítmico (QUEIROZ, 2015) a fim de construir estruturas geométricas lógicas e flexíveis para viabilizar variações. Segundo Hernandez (2006), o projetista deve prever que tipos de variações quer explorar, a fim de determinar quais tipos de transformações do modelo digital deve fazer, sendo esta uma tarefa difícil devido à natureza imprevisível do processo de projeto.

Nota-se que a linguagem de projeto não é a representação em desenho, mas ligações de entidades e parâmetros de forma lógica. É essa programação algorítmica que irá gerar a forma ou o projeto. Quanto ao paramétrico, à medida que se alteram as coordenadas (parâmetros), a forma se ajustará respectivamente. Neste sentido, o projetista precisa desenvolver o pensamento algorítmico.

A abordagem paramétrica e algorítmica possibilita a associação do modelo a outros parâmetros; por isso é importante a clareza do projetista/programador quanto ao processo desejado. Uma vez estabelecido o processo algorítmico, a parametrização permite gerar uma diversidade de soluções segundo configurações estabelecidas pelo projetista.

3. METODOLOGIA

O método aplicado na presente pesquisa é de caráter experimental, que “consiste essencialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto” (GIL, 2002, p. 34-35).

Para Tripp (2005, p. 445-446), a pesquisa-ação, como um dos inúmeros tipos de investigação-ação, é um termo genérico para qualquer processo que siga um ciclo no qual se aprimora a prática pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela. A pesquisa-ação se desenvolveu de maneira diferente para diferentes aplicações. Para o ensino – caso da pesquisa realizada – a pesquisa-ação produz muito conhecimento baseado na prática, que devia ser incorporado ao conteúdo acadêmico de disciplinas ‘vocacionais’, tais como ensino.

Outro aspecto da prática da pesquisa-ação se dá na forma como ocorre a escolha das amostras pesquisadas. Na pesquisa-ação, de acordo com

Thiollent (2000) e Tripp (2005), se pede o interesse dos pesquisados na solução do problema de investigação. Portanto, um dos critérios já evidente para a escolha do participante do processo de pesquisa-ação é que a amostra se enquadre no modelo de cooperação. É importante dar nota que, no modo cooperativo, é necessário examinar a participação não só na etapa de proposta, mas também durante toda sua duração (TRIPP, 2005).

4. APLICAÇÃO

A aplicação dos conceitos, de acordo com a metodologia empregada na pesquisa, se deu em forma de *Workshop*, também conhecida como Oficina ou Laboratório, a qual é orientada ao agrupamento de pessoas com interesses em uma determinada situação de ensino. O *Workshop* possibilita o ensino mediante a apresentação de conceitos e conhecimentos previamente adquiridos e seu conteúdo é abordado de maneira mais prática do que teórica, o que tende ao envolvimento e a participação num modo de cooperação.

Intitulados 1) "*Parametric Design e Algorithmic Modeling*" e 2) "Introdução ao *script* gráfico e Fabricação", o desenvolvimento e realização dos *workshops* se deu com alunos de arquitetura e design, em duas universidades, uma privada e uma pública, respectivamente, com carga horárias e atividades práticas distintas em termos de aplicabilidade, ambiente e realidades. Entretanto, com o uso das mesmas ferramentas para projeto e criação.

4.1. *Workshop: Parametric Design e Algorithmic Modeling*

Este workshop, com duração de 30 horas, foi direcionado para um grupo de dezenove alunos do curso de arquitetura de uma universidade particular no estado de Santa Catarina e seu desenvolvimento incluiu atividades divididas em quatro exercícios orientados, descritos a seguir. Os resultados da pesquisa completam sua descrição.

4.1.1. *Exercício orientado 1*

Este exercício teve seu início apresentando uma forma regular para uma forma não uniforme e abordando os conceitos iniciais de modelagem algorítmica e a geração e modificação da forma por meio de parâmetros. Consistiu em elaborar um padrão de treliça com peças tubulares e fazê-lo percorrer uma 'linha guia' curvilínea não uniforme editável (Figuras 5 e 6). É importante notar que as propriedades paramétricas dos modelos gerados nos exercícios orientados deram condições aos participantes do *workshop* para que elaborassem variações da concepção formal.

Figura 5: Exercício orientado 1: treliça curvilínea parametrizada

Fonte: Autores

Figura 6: Algoritmo do Exercício orientado 1: treliça curvilínea parametrizada

Fonte: Autores

4.1.2. Exercício orientado 2

Neste exercício, apresentou-se a característica curvilínea similar ao explanado pelo Exercício Orientado 1, no entanto, a ênfase neste caso foi a modelagem algorítmica. Consistiu em elaborar uma estrutura com segmentos tubulares, que ajusta a sua curvatura de acordo com parâmetros ligados por uma linha pré-definida da estrutura. A propriedade algorítmica está no fato de que essa curvatura vai se intensificando de acordo com a distância entre as linhas que compõem a estrutura, conforme ilustrado nas figuras 7 e 8.

Figura 7: Exercício orientado 2: estrutura parametrizada

Fonte: Autores

Figura 8: Código da modelagem algorítmica do Exercício orientado 2: estrutura parametrizada

Fonte: Autores

4.1.3. Exercício orientado 3

O exercício orientado 3 teve início com uma figura geométrica regular que gerou a forma a partir dela. Abordou-se o pensamento algorítmico como meio para se chegar à forma. Consiste em elaborar um painel com elementos dispostos em uma matriz, em um plano "XY", sendo tais elementos polígonos regulares de 4 ou 6 lados. Também visa elaborar um algoritmo para ajustar o tamanho dos elementos dispostos nas intersecções da grade "XY", de acordo com um "ponto de atração". Quanto mais se aproximar do "ponto de atração"

do elemento, mais ampliado ou reduzido o elemento ficará. A ênfase deste exercício foi o pensamento algorítmico, conforme mostrado nas figuras 9 e 10.

Figura 9 - Exercício orientado 3: Painel parametrizado

Fonte: Autores

Figura 10 - Código da modelagem algorítmica do Exercício orientado 3: painel parametrizado

Fonte: Autores

4.1.4. Exercício orientado 4

O exercício orientado 4 tratou de um sólido geométrico que, aplicado em outra forma, gerou a estrutura final. Foram abordadas técnicas de modelagem geométrica, algorítmica e parametrização. Consiste em ajustar padrões de um elemento predefinido de acordo com a curvatura da parede parametrizada, sendo a curvatura da parede ajustada através de parâmetros, conforme figuras 11 e 12.

Figura 11: Exercício orientado 4: parede parametrizada com aplicação de elemento geométrico (panelização)

Fonte: Autores

Figura 12: Código da modelagem algorítmica do Exercício orientado 4: parede parametrizada com aplicação de elemento geométrico (panelização)

Fonte: Autores

4.2. Workshop: Introdução ao script gráfico e Fabricação

Este *workshop* foi formatado para execução em um período de longa duração (64 horas/aula) e dividido em duas partes. A primeira, de cunho teórico, incluía aulas teóricas seguidas de exercícios práticos de fixação. A segunda parte, totalmente prática, foi propositiva com orientações abertas e coletivas e incluía pesquisas de referências, proposição projetual individual ou

em dupla e discussões com orientação guiada. Um diferencial deste *workshop* foi a oportunidade de materialização dos projetos, via prototipagem digital, no laboratório PRONTO3D/FabLab, que conta com tecnologias de corte laser, impressão 3D e CNC (*Computer Numeric Control*).

A oficina contou com dez alunos, com perfis variados, distribuídos entre os cursos de graduação em Arquitetura (cinco), Design (quatro) e Engenharia mecânica (um). Todos conheciam processos de modelagem 3D, porém nunca tinham tido contato com modelagem algorítmica utilizando Grasshopper e metade já tinha adquirido experiência com equipamento de fabricação digital.

Os alunos foram introduzidos aos conceitos de modelagem algorítmica, sendo a abordagem teórica e prática de modelagem, nesse caso, integradas a técnicas para construção dos modelos utilizando a fabricação digital, por meio dos processos descritos por Iwamoto (2013). São eles: planos seriados, planificação, dobradura, formação e desbaste. Ao final da etapa, os participantes foram convidados a iniciar o projeto e prototipação de uma luminária funcional, sendo o tema facultativo.

Ao todo seis projetos foram materializados em protótipos funcionais, em que cinco utilizaram processo de corte laser e um em impressão 3D. Dos que utilizaram corte laser, quatro trabalharam com processo de tesselação e dobradura e um com processo de planificação de superfícies. As figuras 13, 14, 15 e 16 ilustram processos e produtos durante e ao final da oficina.

Figura 13: Projeto final aluna de arquitetura Iasmin Korman

Fonte: Autores

Figura 14 – Projeto final aluno de design Uirá Duarte

Fonte: Autores

Figura 15 – Projeto final aluno de arquitetura Bruna Soccal

Fonte: Autores

Figura 16 – Projeto final aluna de arquitetura Bárbara Fernandes

Fonte: Autores

5. RESULTADOS DA PESQUISA

5.1. *Workshop: Parametric Design e Algorithmic Modeling*

Todos os dezenove participantes efetivos participaram de pesquisa de conclusão das atividades que envolveu: a) O entendimento sobre o tema de pesquisa, seus respectivos termos, ferramentas e processos de concepção; (b) O aproveitamento em relação às atividades propostas no workshop; (c) O nível de satisfação dos conhecimentos adquiridos e (d) Os interesses futuros em relação ao tema de pesquisa.

Sobre o entendimento relacionado ao tema de pesquisa, o questionário revelou que 100% dos participantes aumentaram sua compreensão pois possuíam um entendimento bem diferente sobre as técnicas de parametrização e modelagem por meio de programação de algoritmos, antes de serem apresentadas no *workshop*. Da mesma forma, 100% apontaram a compreensão dos termos apresentados, sanando as dúvidas anteriormente existentes.

A assimilação das ferramentas utilizadas se mostrou coerente, visto que 63% dos participantes revelaram que começaram efetivamente a conhecer as técnicas, conceitos, ferramentas e o pensamento algoritmo durante a aplicação do experimento. Comentou-se, também, sobre a abertura de possibilidades que estes tipos de metodologias podem dar na elaboração das formas e exaltaram ao fato de poder testar outras técnicas de modelagem paramétrica e algorítmica.

Quando o conceito sobre o processo de elaboração de forma (Concepção Formal), em comparação ao modo de concepção de forma em um “processo tradicional”, é testado, há, muitas vezes, uma resistência frente à quebra de paradigma de uso de novos métodos. Os participantes que apontaram que sua percepção frente aos novos conceitos mudou significativamente totalizou 47%, os que indicaram que seu entendimento apenas havia sido alterado totalizou 37% e os restantes 16% não perceberam nenhuma alteração em sua percepção.

Quanto às atividades propostas e seu aproveitamento, a tabela 2 ilustra um panorama dos resultados obtidos, com os pareceres dos alunos sobre os exercícios propostos e seu respectivo aproveitamento.

Tabela 2 – Parecer dos alunos e aproveitamento

		Exercício 1 Treliça Parametrizada	Exercício 2 Estrutura Parametrizada	Exercício 3 Painel Parametrizado	Exercício 4 Parede Parametrizada
Parecer dos alunos sobre os exercícios	Baixa complexidade	42%	26%	31%	16%
	Média	53%	63%	53%	32%
	Alta	5%	11%	16%	52%
Aproveitamento dos alunos nos exercícios propostos	Execução integral	58%	53%	68%	53%
	Execução parcial	26%	31%	16%	10%
	Execução com ressalvas	16%	16%	10%	16%
	Não executou	--	--	6%	16%

Fonte: Autores

5.2. Workshop: Introdução ao script gráfico e Fabricação

Dos dez alunos participantes, houve duas desistências, durante as primeiras aulas teóricas que visavam construir o pensamento necessário para modelagem por *script* gráfico. A abordagem incluía a compreensão de princípios matemáticos geracionais da forma e gerenciamento de fluxo de dados. Os oito alunos restantes permaneceram no curso até o final. A avaliação do sucesso neste curso estava associada a modelagem e fabricação da luminária que deveria incluir algum processo de modelagem algorítmica e de fabricação digital descrito durante o curso. Neste momento, a proposição foi voluntária e autoral por aluno, ou seja, o aluno foi responsável por definir o projeto, técnica de modelagem e fabricação que utilizaria. A autonomia permitiu avaliar o domínio adquirido durante o todo o processo. Apesar da autonomia, as etapas de modelagem, fabricação e montagem foram orientados pelas ministrantes do curso.

A tabela 3 mostra a frequência e execução das atividades. Todos alunos relataram dificuldade com a curva de aprendizado para o processo de modelagem algorítmica, sendo que um aluno não conseguiu concluir seu projeto, e um aluno que concluiu, não executou seu projeto na versão final. Ambos alunos relataram conflito do período de avaliações do calendário acadêmico regular e do *workshop* como motivo da falta. Ao final seis alunos concluíram todas as etapas apresentando bom nível de domínio sobre os processos de modelagem para fabricação digital.

Tabela 3 –Aproveitamento dos alunos

Adesão	Número	Percentual
<i>Início</i>	10 alunos	100%
<i>Concluíram as aulas teóricas</i>	8 alunos	80%
<i>Concluíram projeto</i>	7 alunos	70%
<i>concluíram o protótipo físico</i>	6 alunos	60%

Fonte: Autores

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desafio da aplicação das ações propostas esteve em parte no paradigma projetual já estabelecido nos cursos superiores de Arquitetura e Urbanismo, principalmente no que diz respeito à concepção e à elaboração de forma. Neste sentido, a inserção de novas metodologias, como Design Paramétrico e Modelagem Algorítmica se mostrou bastante rica.

Percebeu-se, durante o processo de investigação, implicações de concepção por meio das novas metodologias propostas em relação ao “método tradicional”, tal como a maneira que os procedimentos são ordenados para se chegar à forma. Este ato processual da concepção, denominado por alguns autores de “pensamento algorítmico”, foi considerado pelos participantes dos *workshops* como a principal alteração no processo de elaboração de modelagens para Arquitetura. De acordo com os participantes, os efeitos da aplicação de conceitos e técnicas de modelagem paramétrica e algorítmica nas fases iniciais da concepção projetual alterou-se significativamente. Sendo assim, em relação à satisfação geral da experiência, 90% consideraram as práticas abordadas interessantes e que possivelmente adotariam em seus projetos e o restante dos participantes relatou ressalvas. Em relação ao interesse futuro e à continuação dos estudos relacionados ao tema, 95% relataram possuir interesse. Quanto à inserção de conteúdos relacionados ao tema nas grades curriculares de cursos superiores de Arquitetura e Urbanismo, 100% demonstraram interesse.

O processo de ensino de ferramentas algorítmicas a projetistas é de difícil abordagem, uma vez que, a lógica para construção de modelos associados a programação, ainda não é uma expertise de projetistas no Brasil. Entretanto, todos os alunos que permaneceram até o final dos *workshops* atenderam bem as expectativas de domínio das ferramentas. Ambos foram propositivos e construíram um nível iniciante de autonomia de modelagem. Cursos futuros devem possuir maior margem no calendário de atividades e evitar que datas coincidam com o final das atividades acadêmicas do semestre letivo. Assim, evitando desistências tardias por conflito de datas.

O processo de ensino de novas técnicas e conceitos é essencial para o aperfeiçoamento continuado dos futuros projetistas. Para isso, os esforços de pesquisadores em torno de novos modelos projetivos estarão em demonstrar

suas aplicações e as possibilidades de gerar resultados cada vez mais complexos, algo que seria de difícil execução com as ferramentas e métodos tradicionais.

Esta articulação do professor-pesquisador é necessária, pois quando se trata das novas metodologias de projeto, conforme Schön (2000, p. 79), o estudante não pode inicialmente entender o que precisa aprender. Necessita aprendê-lo fazendo na prática e aprender uma competência nova. Mesmo que seja complexo para o estudante, é essencial para o seu aperfeiçoamento. Contudo, o mais importante deste processo de investigação foi o fato de perceber que somente a tecnologia não pode gerar forma, é preciso que haja uma integração com o projetista, assim como a propensão do projetista ao novo modo de pensar algoritmicamente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P. Processos de Ensino na Universidade: Pressupostos para Estratégias de Trabalho em Aula. 5. ed. Joinville: Univille, 2005.

BURRY, M.; MURRAY, Z. Computer Aided Architectural Design Using Parametric Variation And Associative Geometry. In: CHALLENGES OF THE FUTURE. Vienna: [s.n.]. 1997.

CELANI, M. G. C.; VAZ, C. E. V. Scripts Em CAD e Ambientes de Programação Visual para Modelagem Paramétrica: Uma Comparação do Ponto de vista Pedagógico. V TIC. Salvador: [s.n.]. Agosto 2011.

EASTMAN, C.; ET AL. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2ª. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. 264 p.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HERNANDEZ, C. R. B. Thinking parametric design: introducing parametric Gaudi. Design Studies, Cambridge, v. 27, n. 3, p. 309-324, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X05000876>>. Acesso em: 15 Janeiro 2016.

HOFFMANN, C.; JOAN-ARINYO, R. Parametric Modeling. In: FARIN, Gerald; HOSCHEK, Josef; KIM, Myung-soo. Amsterdã: [s.n.]. 2002. p. 519-541.

IWAMOTO, Lisa. Digital fabrications: architectural and material techniques. Princeton Architectural Press, 2013.

LEACH, N. Parametrics explained. Next Generation Building, Delft, v. I, n. 1, p. 33-41, JAN 2014.

LEE, G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. Automation in Construction, Oxford, v. 15, n. 6, p. 758-776, Novembro 2006.

MINETTO, C. F. Um Estudo sobre Curvas NURBS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 111 f. 2003.

POLONINI, F. B. S. A Modelagem Paramétrica na Concepção de Formas Curvilíneas da Arquitetura Contemporânea. Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 286 f. 2014.

QUEIROZ, N. Artefatos Geradores de Microclima: Biomimética, Parametrização e Prototipagem Rápida na Busca por Soluções bioclimáticas para Clima Quente e Úmido. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 137 f. 2015.

RÊGO, R. M. Educação Gráfica para o Processo Criativo Projetual Arquitetônico: as relações entre a capacidade visiográfica-tridimensional e a utilização de instrumentos gráficos digitais para a modelagem geométrica. Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 320 f. 2008.

SCHÖN, D. A. Educando o Profissional Reflexivo: Um novo design para o ensino e a aprendizagem. Tradução de Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artmed, 2000.

SCHUMACHER, P. Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Digital Cities*, v. 79, n. 4, JUL/AGO 2009.

SILVA, E. Uma introdução ao projeto arquitetônico. Porto Alegre: UFRG, 1984. Disponível em: <https://www.academia.edu/9074715/SILVA_Elvan_-_Uma_Introducao_ao_Projeto_Arquitetonico>. Acesso em: 10 Fevereiro 2016.

THIOLLENT, M. Metodologia da Pesquisa-ação. 10^a. ed. São Paulo: Cortez, 2000.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, Set/Dez 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ep/v31n3/a09v31n3.pdf>>. Acesso em: 15 Janeiro 2016. Tradução de Lólio Lourenço de Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PRONTO3D/FabLab – Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D e ao LabCon – Laboratório de Conforto, ambos da Universidade Federal de Santa Catarina; à FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa de Santa Catarina; à UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí e aos alunos que participaram dos *workshops*.