



XXIV International Conference
of the Iberoamerican Society
of Digital Graphics
Medellin | Colombia

Parametric modeling as a supporting tool for teaching in a technical drawing course

Laíze Fernandes de Asevedo

Instituto Federal do Rio Grande do Norte | Brazil | laize.asevedo@ifrn.edu.br

Deisyanne Câmara A. de Medeiros

Instituto Federal do Rio Grande do Norte | Brazil | deisyanne.camara@ifrn.edu.br

Gabriele Mislaine Barbosa

Instituto Federal do Rio Grande do Norte | Brazil | lainenatal2812@gmail.com

Marylia Ketylle Silva

Instituto Federal do Rio Grande do Norte | Brazil | maryliaketylle@gmail.com

Abstract

Despite the complexity of parametric modeling, used potentially to generate non-standard geometries, this paper presents a simple approach to adopt this tool as a support for teaching technical drawing contents. This experimental study was applied in a technical and high school education context, focusing on three subjects: 1) irregular polyhedra, 2) points in descriptive geometry, and 3) line in descriptive geometry. Exercises were implemented before and after the parametric experience with students, and the answers to both scenarios were compared. The results addressed to the efficiency of parametric modeling as a supporting tool in the teaching/learning process.

Keywords: Parametric modeling; didactic experiment; technical drawing course; irregular polyhedra; descriptive geometry.

INTRODUÇÃO

No processo de ensino-aprendizado de desenho técnico, são imprescindíveis a visualização, compreensão e representação de formas geométricas bi e tridimensionais. Para Florio (2011), os antigos conhecimentos de geometria são fundamentais para compreender e projetar formas, sugerindo que se “faça uma revalorização desses conhecimentos diante das facilidades trazidas pelas novas tecnologias de representação e de simulação de espaços” (Florio, 2011, p.44).

A modelagem paramétrica surge como recurso oportuno, pois envolve variáveis da geometria na programação computacional para geração de elementos gráficos. Ela é uma ferramenta com potencial para criação de composições formais complexas a partir da aplicação das operações booleanas a formas iniciais, a exemplo de experiências didáticas já desenvolvidas em que são explorados os conceitos de desenho generativo e de geometria construtiva (Almeida et al., 2017; Vianna et al., 2018); dos estudos com reprodução de paraboloides hiperbólicos de obras arquitetônicas para posterior manipulação na geração de novas geometrias (Brod et al., 2012; Vaz & Pereira, 2012); e dos experimentos com superfícies curvas aplicados por Vecchia et al. (2016).

Todavia, a programação visual pode também ser aplicada a “jogos compositivos” de formas mais simples, como na experiência de Vasconcelos, Silva e Vecchia (2016) no

curso de Especialização em Gráfica Digital, em que se utiliza a manipulação de elementos geométricos presentes nas fachadas de edifícios do patrimônio arquitetônico.

A modelagem paramétrica pode ainda ser adotada como ferramenta no ensino de geometria para demonstração de teoremas e postulados matemáticos, a exemplo da aplicação no curso de licenciatura em Expressão Gráfica, com adoção da parametrização em construções da geometria plana e de poliedros regulares (Santos et al., 2012).

Apesar de a parametrização exigir conhecimentos além dos tradicionalmente ensinados no desenho técnico ou na geometria descritiva, por combinar o uso de fluxo de dados, estratégias de divisão e conquistas, nomeação, abstração, visualização 3D, matemática e pensamento algorítmico (Pottman, 2010), é possível realizar experiências simples como fizeram Mendes, Lima e Griz (2018), que, a partir do conceito de gramática da forma, exploraram a composição de elementos vazados com a manipulação de círculos e polígonos parametrizados.

Outra aplicação se dá nos estudos com manipulação de dobraduras, baseada na prática de origamis (Nogueira et al., 2015; Vasconcelos et al., 2014).

Vale ressaltar que estas experiências, quando aplicadas nos estágios iniciais dos cursos, predominantemente na



graduação em Arquitetura e Urbanismo, adotam a estratégia de utilizar-se da manipulação de parâmetros previamente programados na modelagem paramétrica. Isto porque "as habilidades necessárias para o uso das ferramentas de desenho paramétrico poderiam desestimular estudantes de estágios iniciais de formação" (Nogueira et al., 2015, p.311). Por isso, Nogueira et al. (2015) utilizam a parametrização em um contexto similar a um jogo.

Mendes, Lima e Griz (2018) destacam que é urgente a proposição de metodologias que "incorporem as tecnologias digitais na área de ensino da geometria gráfica, constituindo uma associação do conhecimento tradicional para a apropriação consciente dos recursos tecnológicos atuais" (Mendes, Lima & Griz, 2018, p.388).

Neste sentido, este estudo explora experimentos didáticos com a iniciativa de inserção tecnológica em um contexto tradicionalmente analógico. Tem como objetivo analisar a adoção da modelagem paramétrica como instrumento de suporte ao ensino do desenho técnico no âmbito do curso técnico de nível médio em Edificações.

Desenho técnico é a primeira disciplina da área de Arquitetura no curso técnico em Edificações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), e é ministrada no primeiro ano. Na sequência, têm-se as disciplinas de Desenho Arquitetônico, Desenho Auxiliado por Computador e Elementos de Projeto Arquitetônico, respectivamente no segundo, terceiro e quarto anos do curso.

A disciplina tem caráter instrumental e analógico, cuja ementa abrange os seguintes conteúdos: desenho geométrico, normatização do desenho técnico, escalas, sistemas de cotagem, teoria das projeções e sistemas de representação gráfica, geometria descritiva (ponto, reta e plano), vistas ortográficas, perspectivas, cortes e seções. É baseada na Geometria Euclidiana e nos sistemas de representação gerados por projeção cilíndrica.

A despeito da potencialidade da parametrização em explorar problemas geométricos complexos, além da geometria clássica no espaço Euclidiano, a exemplo do uso das curvas e superfícies de forma livre (NURBS, Bezier, Meshes), das operações booleanas e das transformações complexas (Khabazi, 2012), para este estudo são adotados os parâmetros da Geometria Euclidiana, exceto pelo uso da geometria projetiva na adoção da perspectiva com ponto de fuga (gerada por projeção cônica), produzida no Rhinoceros, como recurso de visualização tridimensional.

METODOLOGIA

O método adotado é experimental. Utiliza-se da pesquisa-ação e da prática reflexiva, que discute a experimentação como modelo educacional de reflexão-na-ação (Schön, 2000).

Questionários foram aplicados inicialmente com os três docentes arquitetos e urbanistas que compõem o quadro do curso, para levantamento das possíveis aplicações da modelagem paramétrica na disciplina de Desenho Técnico. Os conteúdos citados foram: desenho

geométrico; sólidos geométricos; geometria descritiva; e cortes e seções.

O desenho geométrico foi citado com o objetivo de recriar construções fundamentais paramétricas e, assim, demonstrar regras matemáticas que estão por trás dos procedimentos gráficos.

Os sólidos geométricos foram listados, abarcando os poliedros irregulares – prismas e pirâmides, seus elementos de composição como variáveis, e a mudança na sua classificação em virtude do manuseio de parâmetros.

No tema geometria descritiva, foram elencados os pontos e as retas com conteúdos passíveis de parametrização a partir do manuseio de suas coordenadas.

E no conteúdo cortes e seções, foi citada a possibilidade de modelagem de objetos tridimensionais com a parametrização do plano secante, resultando na geração das seções a partir da interseção de planos.

Destes assuntos levantados, foram selecionados três conteúdos: 1) poliedros irregulares (prismas e pirâmides); 2) pontos na geometria descritiva; e 3) retas na geometria descritiva.

A seleção considerou a simplicidade da programação paramétrica, dada pelo reduzido número de componentes e de *inputs* e *outputs* envolvidos, possibilitando o posterior manuseio pelos estudantes, e priorizou o uso de elementos tridimensionais para que fosse trabalhada a modelagem como recurso facilitador da visualização espacial.

O conteúdo de poliedros foi escolhido por ser um assunto pouco complexo e o primeiro da ementa da disciplina a explorar objetos 3D. Já o tema da geometria descritiva foi selecionado considerando sua natureza abstrata e de difícil compreensão pelos estudantes. Considerou-se que a visualização e o entendimento dos posicionamentos dos pontos e retas a partir da combinação de suas coordenadas nos três eixos seriam facilitados pelo uso de modelagem paramétrica.

Os experimentos foram aplicados a uma turma de Desenho Técnico, do primeiro ano do curso de Edificações da modalidade integrado (cujo técnico é concomitante ao ensino médio), do IFRN – *campus* São Gonçalo do Amarante, no decorrer do ano letivo de 2019. A turma era composta por 46 discentes com idade média de 16 anos.

Em virtude do grande número de estudantes na turma, da indisponibilidade de carga horária da disciplina para destinar uma formação específica em modelagem paramétrica, e da presença de apenas cinco computadores na instituição com os softwares instalados para este fim, foi inviável que os discentes criassem os modelos paramétricos a serem adotados nos experimentos. Por isso, as modelagens foram desenvolvidas pelas pesquisadoras, e os discentes apenas manusearam os parâmetros já modelados.

No ambiente do *software* Rhinoceros e seu *plug-in* Grasshopper, foram desenvolvidas as modelagens e as programações algorítmicas em exercícios gráficos dos três assuntos. Na sequência, foram realizados os três experimentos contemplando as etapas: A) aula expositiva sobre os conteúdos; B) aplicação de questionário em formato de exercício; C) manuseio da modelagem paramétrica; e D) repetição da aplicação do questionário, resultando em uma combinação de procedimentos metodológicos (Tabela 1).

Tabela 1: Esquema dos procedimentos metodológicos resultante da combinação das etapas por experimento.

Etapas por Experimento	1	2	3
A Aula expositiva	Sólidos geométricos	Geometria descritiva: pontos	Geometria descritiva: retas
B Exercício pré-parametrização	8 questões Prismas e pirâmides	10 pontos Posição do ponto no espaço	7 segmentos de reta Classificação das retas
C Experiência paramétrica	Parametrização de 4 poliedros	Parametrização dos 10 pontos	Parametrização dos 7 segmentos de reta
D Exercício pós parametrização	Repetição do Exercício pré-parametrização + Questão sobre contribuição da experiência no aprendizado e comentários		

Os experimentos foram executados em três encontros (aulas 1, 2 e 3) de dois horários (duas horas-aula) cada, com duração de 90 minutos.

AULAS EXPOSITIVAS

O experimento tem início com a aula teórico-conceitual (aula 1) acerca dos assuntos abordados.

A1: Aula teórica sobre sólidos geométricos com conceituação, classificação e aplicações, fazendo uso de *slides* e maquetes, seguida de exercício com planificação de poliedros regulares, prismas e pirâmides para construção de maquetes de cartolina. Esta prática tem o intuito de revisar e aplicar os procedimentos de geometria plana na construção das faces planificadas dos poliedros e fixar o conteúdo teórico de sólidos geométricos.

A2: Aula sobre pontos em Geometria Descritiva, por meio de *slides* com animação, em que se fez a apresentação das três coordenadas X (abscissa), Y (afastamento) e Z (cota), das possibilidades de posicionamento dos pontos no espaço em relação aos diedros, semiplanos de projeção e planos bissetores, e suas devidas projeções horizontal e vertical.

Para esse momento, foi preciso já ter sido introduzido o conteúdo de geometria descritiva com uma aula anterior sobre teoria das projeções, na qual foram apresentados os tipos de projeções e sistemas de representação, e destacado o sistema mongeano, os planos e diedros que o compõem.

A3: Aula sobre retas em Geometria Descritiva, por meio de *slides* animados, com exposição das características,

posições e classificações das retas no espaço em relação ao sistema diédrico e suas devidas projeções no plano horizontal e vertical.

EXERCÍCIO PRÉ-PARAMETRIZAÇÃO

Após a aula expositiva, o segundo encontro (aula 2) tem início com a aplicação do exercício que antecede a experiência paramétrica. Os exercícios foram distribuídos em meio impresso e preenchidos individualmente pelos estudantes de maneira anônima, com intuito de não inibir a participação dos discentes.

B1: Exercício em formato de questionário composto por oito perguntas objetivas de múltipla escolha abordando o assunto poliedros irregulares, prismas e pirâmides, envolvendo as variáveis presentes em suas composições (apresentadas na aula expositiva) e que posteriormente seriam manuseadas digitalmente na modelagem paramétrica. As questões se relacionavam a: 1) raio da circunferência que circunscribe o polígono de base; 2) divisão da circunferência e ao número de lados do polígono de base; 3 e 4) ligações entre polígono de base e vértice superior, ou polígono de base e polígono superior, distinguindo pirâmide e prisma; 5 e 6) coordenadas do centro do polígono superior do prisma, para diferenciá-lo entre reto e oblíquo; e 7 e 8) coordenadas do vértice superior da pirâmide, diferenciando a classificação entre reto e oblíquo.

B2: Exercício composto por dez pontos dados a partir de suas coordenadas (X, Y, Z) e que solicitava a identificação da posição do ponto no espaço. Era apresentada uma tabela em que se cruzavam os pontos com os treze posicionamentos possíveis do sistema diédrico (conforme apresentado na aula expositiva): I diedro, II diedro, III diedro, IV diedro, plano bisetor ímpar no I diedro ($\beta_i - I.D$), plano bisetor par no II diedro ($\beta_p - II.D$), plano bisetor ímpar no III diedro ($\beta_i - III.D$), plano bisetor par no IV diedro ($\beta_p - IV.D$), semiplano horizontal anterior (SPHA), semiplano horizontal posterior (SPHP), semiplano vertical superior (SPVS), semiplano vertical inferior (SPVI), e Linha de Terra (L.T.).

B3: Exercício composto por sete retas, dadas através das coordenadas de dois de seus pontos, em que era solicitada a classificação da reta. Foi formulada uma tabela em que se cruzavam os segmentos de retas dados e os sete tipos possíveis de retas (conforme classificação apresentada na aula expositiva): fronto-horizontal, horizontal, frontal, vertical, de topo, de perfil, e qualquer.

EXPERIÊNCIA DE PARAMETRIZAÇÃO

As modelagens paramétricas foram desenvolvidas com uso do *software* Rhinoceros 5.0 e seu *plug-in* Grasshopper. Esta prática foi executada no laboratório de informática da instituição em que se dispõem apenas de cinco computadores equipados com os programas adotados. Por isso, a experiência foi realizada por agrupamentos de quatro estudantes em sistema de rodízio no uso das máquinas. Foi necessário utilizar dois encontros (aulas 2 e 3) de duas horas-aula, totalizando quatro horas-aula (180 minutos), para conclusão da experiência por toda a turma.

Anteriormente à prática pelos estudantes, foi feita uma breve introdução ao tema modelagem paramétrica e

manuseio dos softwares, restrito ao uso das variáveis trabalhadas em cada experimento. Os computadores foram previamente preparados com os arquivos de modelagem. Na sequência, os discentes manusearam as variáveis para realizar os exercícios gráficos.

C1: Prática paramétrica na qual foi destinada, a cada grupo de estudantes, uma lista de quatro poliedros irregulares: uma pirâmide reta, uma pirâmide oblíqua, um prisma reto e um prisma oblíquo, sendo dados o polígono de base, altura e raio da circunferência circunscrita. O objetivo era manusear as variáveis da programação previamente elaborada pelas pesquisadoras para atingir os poliedros solicitados.

A programação paramétrica do Experimento 1 (Figura 1) inclui a seguinte sequência: 1) criação do ponto na origem (0,0,0) – centro da circunferência; 2) criação de circunferência com medida de raio parametrizado; 3) divisão da circunferência com número de pontos parametrizado; 4) ligação dos pontos para criação de uma poligonal fechada; 5) criação da superfície poligonal – polígono de base. A partir desta geometria, era feita uma bifurcação na programação, sendo possíveis os passos: 6.1) *extrude to point* – em que se gerava a pirâmide, e que tinha definição do vértice da pirâmide através das suas coordenadas X, Y e Z parametrizadas; ou 6.2) *extrude* – utilizado para geração do prisma, e que tinha a definição do centro do polígono superior a partir das suas coordenadas X, Y e Z parametrizadas.

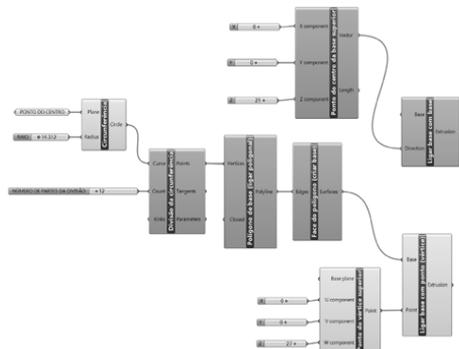


Figura 1: Programação paramétrica do Experimento 1.

O resultado da parametrização gerava a modelagem geométrica do prisma e/ou da pirâmide no Rhinoceros (Figura 2).

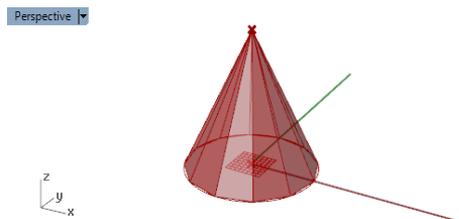


Figura 2: Modelagem geométrica do Experimento 1.

C2: Experimento cujo objetivo foi modelar os pontos dados no exercício da etapa anterior, a partir da inclusão

dos valores das coordenadas na programação do Grasshopper. Após esta configuração, o estudante poderia visualizar os posicionamentos do ponto no espaço e de suas projeções horizontal e vertical, e identificar sua localização quanto ao sistema diédrico (composto pelos planos de projeção, seus devidos semiplanos, planos bissetores e diedros) já modelado previamente no Rhinoceros.

Na programação do Grasshopper (Figura 3), foi utilizado o componente ponto, sendo parametrizadas suas coordenadas X, Y e Z para gerar o ponto no espaço. Depois, foi combinada a coordenada X e Y paramétrica, com valor nulo para coordenada Z para gerar a projeção horizontal do ponto, e articuladas as coordenadas X e Z com Y nulo para gerar a projeção vertical do ponto.

Vale ressaltar que foi adotado o componente *Negative* para a coordenada Y, em virtude da divergência no sentido negativo e positivo do eixo Y entre o padrão do Rhinoceros e do modelo adotado pela literatura na qual se baseia as aulas expositivas.

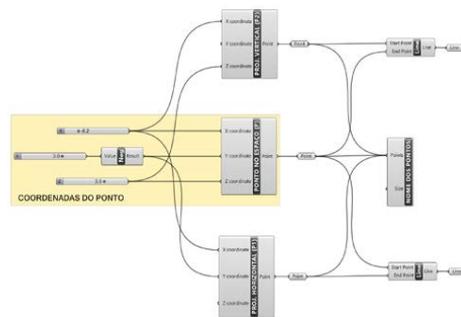


Figura 3: Programação paramétrica do Experimento 2.

Aplicada esta programação paramétrica no modelo do sistema diédrico já elaborado no Rhinoceros, o resultado era a modelagem do ponto e de suas projeções (Figura 4).

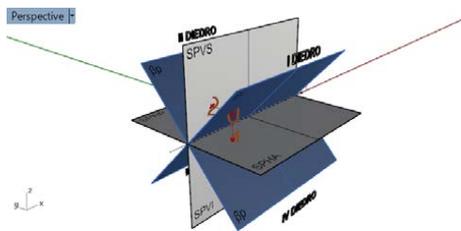


Figura 4: Modelagem geométrica do Experimento 2.

C3: Experimento com objetivo de simular os pontos que compunham os segmentos de retas, dados no exercício da etapa anterior, através da inclusão dos valores das coordenadas (X, Y e Z), e identificar a classificação da reta a partir da análise do seu posicionamento no espaço e de suas projeções.

Os arquivos manuseados contavam com a modelagem geométrica do sistema diédrico em Rhinoceros, tendo já definidos os planos de projeção com seus devidos

semiplanos, e os diedros. A programação paramétrica do Experimento 3 (Figura 5) era composta com dois pontos cujas coordenadas eram parametrizadas, assim como na modelagem do Experimento 2 eram apresentados os pontos no espaço e suas projeções horizontal (tendo coordenadas X e Y parametrizadas e Z nula) e vertical (coordenadas X e Z parametrizadas e Y nula). Definidos os pontos, estes eram ligados gerando a modelagem geométrica no Rhinoceros, dos segmentos de reta no espaço e suas projeções horizontal e vertical (Figura 6).

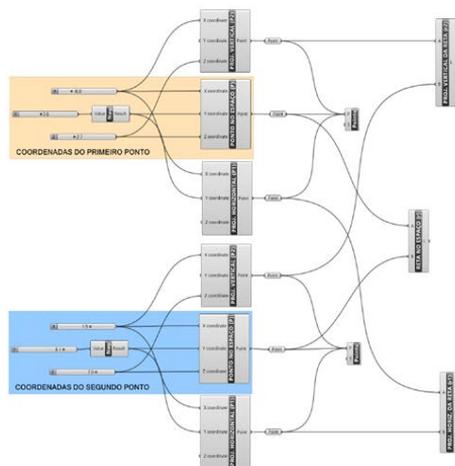


Figura 5: Programação paramétrica do Experimento 3.

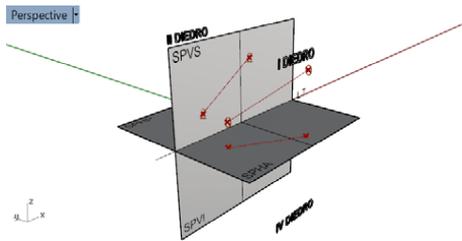


Figura 6: Modelagem geométrica do Experimento 3.

EXERCÍCIO PÓS PARAMETRIZAÇÃO

Após realização da prática paramétrica, os estudantes responderam ao exercício em formato de formulário eletrônico, composto pelas mesmas questões do exercício pré-parametrização, acrescido apenas de uma pergunta: “Você considera que esta experiência contribuiu para o aprendizado acerca do conteúdo?”, seguida pelo espaço de comentários. Para esta última questão, as opções disponíveis eram: a) Muito; b) Pouco; c) Razoável; e d) Irrelevante. A aplicação desse exercício ocorreu logo após o manuseio da parametrização, com preenchimento anônimo.

RESULTADOS

Quantitativamente, foram contabilizadas as respostas corretas para os questionários anteriores e posteriores às experiências com parametrização, e comparados os dados para análise de desempenho dos discentes. Nos três experimentos, verificou-se o aumento do nível de

acertos entre os resultados antes e após o manuseio da modelagem paramétrica. Qualitativamente, verificou-se nos comentários dos discentes, após uso da parametrização, uma melhoria na compreensão dos conteúdos e no interesse pela disciplina, e ainda se identificou uma vinculação das experiências com a prática de *games*.

EXPERIMENTO 1

Neste experimento foram 42 respondentes ao exercício anterior à parametrização, e 44 foram os participantes da experiência de parametrização e respondentes ao exercício posterior. No primeiro questionário, das 336 respostas totais 148 foram corretas (44,34%), já na segunda etapa, das 352 respostas 228 foram acertos (64,77%). Para tanto, houve uma melhora de 20,43% no índice de acertos após a prática com a modelagem paramétrica.

Analisando os resultados por questão (Tabela 2), é possível observar que a melhoria no índice de acertos ocorre a partir da terceira questão, em que são trabalhadas as classificações entre prisma e pirâmide, reto e oblíquo, e a relação com as coordenadas dos pontos que compõem os poliedros, sendo estas as variáveis manuseadas na programação paramétrica.

Tabela 2: Respostas às questões do exercício de poliedros irregulares pré e pós parametrização.

Questões	Respostas pré-parametrização		Respostas pós parametrização	
	Certas (%)	Erradas (%)	Certas (%)	Erradas (%)
01	76,2	23,8	70,5	29,5
02	40,5	59,5	38,6	61,4
03	52,4	47,6	81,8	18,2
04	30,9	69,1	65,9	34,1
05	45,2	54,8	77,3	22,7
06	33,3	66,7	61,4	38,6
07	30,9	69,1	56,8	43,2
08	42,8	57,2	65,9	34,1

As questões 01 e 02 que não obtiveram melhora no índice de acertos após a parametrização, retomem-se ao valor do raio que circunscreve o polígono de base do poliedro e ao número de lados deste polígono. A questão 01 já computava um alto índice de acertos. Já a questão 02 gerou dúvida quanto à possibilidade do polígono possuir apenas números pares de lados (33,3% das respostas do exercício pré-parametrização), ou ainda qualquer número de lados (29,5% das respostas no exercício pós-parametrização), quando a resposta correta afirmava que era possível haver qualquer número de lados a partir de 3, já que o triângulo é o polígono com menor número de lados possível.

Quanto à avaliação da experiência paramétrica para a aprendizagem do conteúdo, na visão de 81,8% dos discentes, o experimento teve muita contribuição (Figura 7).

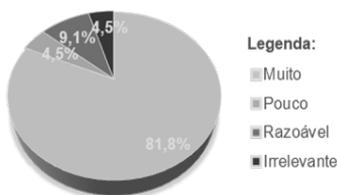


Figura 7: Gráfico das respostas sobre a contribuição do Experimento 1 na aprendizagem do conteúdo poliedros irregulares.

Dentre os comentários sobre a experiência, foram citados os adjetivos: produtiva, inspiradora e estimulante, e ainda se verificaram as respostas que relacionavam a prática a um jogo. Destacam-se ainda os seguintes discursos:

"Gostei da experiência de usar os aplicativos e ver as formas tomando 'forma', e foi bem explicativo sobre como são as figuras geométricas." (Respondente nº.09)

"A aula realizada contribuiu para que o aprendizado pudesse ser prolongado para além da sala de aula de uma aula convencional." (Respondente nº.21)

"Considero-a importante, pois ajuda a visualizar o que está acontecendo ao poliedro, tornando o assunto menos abstrato." (Respondente nº.32)

"Eu tinha um conhecimento básico sobre o assunto e ansiava por uma aula dessas, pois contribuiu para que eu possa saber usar tais programas e ainda ajuda para ter melhor noção sobre os parâmetros." (Respondente nº.33)

"Foi uma boa experiência, pela qual pudemos aprender mais e com a prática ficaram menos complexos todos os conceitos passados em sala; aumentamos um pouco mais nossas experiências e aprendemos mais sobre este assunto" (Respondente nº.35)

EXPERIMENTO 2

Este experimento teve 40 participantes do exercício anterior à parametrização, sendo 400 respostas totais, das quais 134 foram acertadas (33,5%). E participaram 42 estudantes na experiência paramétrica e no exercício posterior a esta prática, sendo computadas 420 respostas totais, das quais 398 foram corretas (94,7%). Portanto, houve um aumento de 61,2% no índice de acertos após o manuseio da modelagem paramétrica.

Tabela 3: Respostas às questões do exercício de pontos em geometria descritiva pré e pós parametrização.

Questões por ponto	Respostas pré-parametrização		Respostas pós parametrização	
	Certas (%)	Erradas (%)	Certas (%)	Erradas (%)
A	40,0	60,0	90,5	9,5
B	45,0	55,0	100	0
C	30,0	70,0	100	0
D	50,0	50,0	85,7	14,3
E	25,0	75,0	90,5	9,5
F	30,0	70,0	100	0
G	30,0	70,0	100	0
H	40,0	60,0	100	0
I	35,0	65,0	90,5	9,5
J	10,0	90,0	90,5	9,5

Analisando os resultados por questão (Tabela 3), identifica-se que após a experiência com a parametrização das coordenadas, os estudantes conseguiram facilmente visualizar o posicionamento correto dos pontos, já que as respostas pós-parametrização foram próximas ou iguais a 100% de acerto.

Vale ressaltar que o modo de aplicação dos exercícios pré e pós parametrização teve influência no resultado deste experimento. No primeiro exercício, aplicado por meio impresso, para todas as questões houve casos em que foi marcada mais de uma opção de posição por ponto, o que foi computado como erro. Em alguns pontos este erro se configurou inclusive como uma das respostas que mais se repetia. No caso do ponto J, por exemplo, 37,5% dos estudantes erraram a questão por marcar mais de uma alternativa.

Já no segundo momento, aplicado por meio eletrônico, em virtude da configuração do formulário, não era possível ter mais de uma alternativa marcada por ponto, assim como não era possível repetir a mesma opção entre pontos distintos, já que todos os pontos tinham posições diferentes, o que automaticamente eliminava algumas possibilidades de erros.

Também foi possível identificar um erro recorrente nas respostas pré-parametrização quando se tratava de pontos posicionados nos planos bissetores. Nestes casos – pontos C, E, F e G – houve muitas respostas que citavam apenas a posição do ponto no diedro correto, mas não no plano bisetor.

Na avaliação de 88,1% dos discentes, a experiência de parametrização contribuiu muito para o aprendizado do conteúdo "pontos em geometria descritiva" (Figura 8).

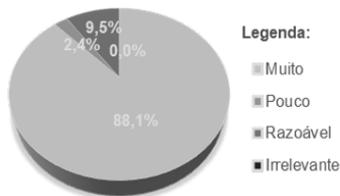


Figura 8: Gráfico das respostas sobre a contribuição do Experimento 2 na aprendizagem do conteúdo "pontos em geometria descritiva".

Nos discursos dos estudantes, esta prática foi considerada esclarecedora e produtiva. Destacam-se ainda os comentários:

"Nunca passei por essa experiência, logo foi fácil aprender em sala e até mesmo praticar. Creio que isso servirá de base para o início de visões em 3 dimensões e transcrever para o papel." (Respondente nº.21)

"Essa experiência contribuiu muito para explicação do conteúdo, pelo qual pude compreender muito bem e entender melhor essa questão dos planos bissetores, SPHA, SPHP, SPVS e SPVI." (Respondente nº.23)

“Sim, eu considero que esta experiência contribuiu para o aprendizado acerca do conteúdo ESTUDO DO PONTO (GEOMETRIA DESCRITIVA), pois através de um estudo prático do conteúdo pudemos entender o assunto com mais facilidade.” (Respondente nº.28)

“Torna o estudo do assunto (geometria descritiva) muito mais simplificado, e fácil de ser compreendido.” (Respondente nº.34)

EXPERIMENTO 3

Neste experimento, 37 foram os respondentes do exercício pré-parametrização, computando-se 259 respostas, sendo 92 corretas (35,5%). Já para o exercício pós-parametrização, foram 35 respondentes, 245 respostas, sendo 218 acertos (88,9%). Portanto, um aumento de 53,4% no índice de acertos após a parametrização.

Analisando as questões individualmente, verifica-se maior dificuldade na identificação do tipo de reta dos segmentos KL, MN e EF no exercício pré-parametrização, e dos segmentos KL, EF e AB, no exercício pós-parametrização (Tabela 4).

Tabela 4: Respostas às questões do exercício de retas em geometria descritiva pré e pós-parametrização.

Questões por reta	Respostas pré-parametrização		Respostas pós parametrização	
	Certas (%)	Erradas (%)	Certas (%)	Erradas (%)
AB	48,6	51,4	88,6	11,4
CD	54,0	46,0	94,3	5,7
EF	29,7	70,3	85,7	14,3
GH	35,1	64,9	91,4	8,6
IJ	35,1	64,9	91,4	8,6
KL	18,9	81,1	80,0	20,0
MN	27,0	73,0	91,4	8,6

O segmento de reta KL, horizontal, foi erroneamente classificado como de perfil por 27,0% dos participantes no exercício pré-parametrização, e por 8,5% dos estudantes no exercício pós-parametrização. No primeiro exercício, houve ainda 21,6% dos discentes que classificaram esta reta como frontal.

A reta composta pelo segmento MN, de perfil, foi confundida principalmente pelos tipos qualquer (27,0% das respostas) e vertical (18,9% do total de respostas) no exercício pré-parametrização.

O segmento EF, qualquer, foi classificado erroneamente como vertical (18,9%), fronto-horizontal (16,2%) e horizontal (13,5%) no exercício pré-parametrização; e como fronto-horizontal (8,6%) e horizontal (6,7%) no momento posterior à parametrização.

Foi possível verificar também algumas articulações nos erros de classificação das retas compostas pelos segmentos AB e CD. O segmento AB, de topo, foi confundido com horizontal em 29,7% das respostas no exercício pré-parametrização, e em 11,4%, no pós-parametrização, visto que ambos os tipos são paralelos ao plano horizontal de projeção. Da mesma maneira, o segmento CD, frontal, foi identificado em 21,6% das respostas pré-parametrização, e em 5,7% das respostas

pós-parametrização, como vertical, já que ambos os tipos de reta são paralelos ao plano vertical de projeção.

Assim como ocorreu no Experimento 2, foram computadas respostas ao exercício pré-parametrização em que houve a seleção de mais de um tipo de reta, configurando-se como erro. Já no exercício pós-parametrização, o formulário eletrônico não possibilitava a marcação de mais de uma resposta, assim como não era possível escolher o mesmo tipo de reta para segmentos diferentes, visto que a tipologia não se repetia.

Quanto à validação da experiência, 82,9% dos discentes consideraram que o experimento contribuiu muito para o aprendizado do conteúdo de retas em geometria descritiva (Figura 9),

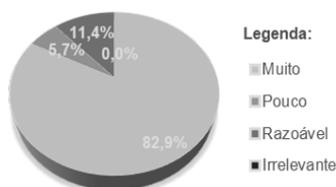


Figura 9: Gráfico das respostas sobre a contribuição do Experimento 3 na aprendizagem do conteúdo "retas em geometria descritiva".

Na avaliação dos estudantes, a prática paramétrica foi descrita como interessante, proveitosa e empolgante. Destacam-se ainda os comentários:

“A experiência contribuiu para nossa aprendizagem de forma que passamos a compreender melhor o assunto abstrato.” (Respondente nº.21)

“Tal experiência me possibilitou ter um contato maior com a visão tridimensional, e assim conseguir entender um assunto que pode se tornar abstrato quando não tem o auxílio de programas no computador.” (Respondente nº.23)

DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram a eficácia do uso da modelagem paramétrica como instrumento de suporte no ensino de desenho técnico. Pôde-se verificar que, apesar da complexidade da parametrização, foi possível inserir a tecnologia aplicando-a a geometrias simples em que as variáveis manuseadas são conhecidas pelos estudantes.

Destaca-se a atratividade do uso da modelagem paramétrica diante da didática analógica tradicional da disciplina. Pode-se considerar que a adoção simplesmente da modelagem geométrica digital já seria suficiente como instrumento de motivação e de facilitação da visualização tridimensional necessário à prática dos exercícios gráficos, porém, a dinamicidade e a interatividade presentes no manuseio dos parâmetros e na automática resposta visual inerente à modelagem paramétrica promovem ainda mais clareza e controle da lógica geométrica.

Apesar de não intencional, a experiência paramétrica foi identificada pelos discentes como um contexto de jogo, como já havia explorado Nogueira et al. (2015). Para tanto, ressalta-se ainda o potencial da parametrização como recurso de promoção de metodologias ativas no ensino, com destaque para a gamificação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo traz como contribuição uma experiência que promoveu a inserção tecnológica no ensino de desenho técnico, antecipando o uso da ferramenta de parametrização em um curso técnico de nível médio, enquanto outros estudos são mais comumente realizados no âmbito do ensino superior ou pós-graduação.

A metodologia proposta possibilitou a identificação da eficácia da ferramenta como suporte ao ensino de maneira qualitativa e quantitativa, e ainda facilitou o mapeamento das dificuldades dos estudantes nos conteúdos trabalhados.

Já se identifica a possibilidade de adoção da modelagem paramétrica em outros conteúdos que compõem a disciplina de Desenho Técnico, a exemplo as construções geométricas planas e os poliedros regulares, podendo inclusive haver integração com a disciplina de Matemática, no cenário do curso técnico de nível médio.

Também se vislumbra a aplicação dos experimentos em diversos âmbitos de ensino para obtenção de dados comparativos, a considerar o curso técnico de nível médio em Edificações na modalidade subsequente e a graduação em Arquitetura e Urbanismo.

E tendo em vista o êxito da experiência, admite-se a adaptação das práticas pedagógicas atuais para que se favoreça a adoção do formato híbrido de ensino com a implementação de metodologias ativas, com destaque para a gamificação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – campus São Gonçalo do Amarante pelos recursos disponibilizados ao desenvolvimento desta pesquisa. E ainda agradecemos aos docentes e estudantes participantes pela colaboração.

REFERÊNCIAS

- Almeida, C. A. R. de, Lima, F., Borges, M. M., & Souza, F. R. de. (2017). Do conceito a prática digital: Uma experiência didática sobre novas linguagens para expressão de tectônicas criativas. *SIGraDi 2017*, 28–32. <https://doi.org/10.5151/sigradi2017-006>
- Brod, G. A., Silva, A. B. A. da, & Pires, J. de F. (2012). Um ensaio para inserção do conceito de processos generativos digitais em estágios iniciais da formação em arquitetura. *SIGraDi 2012, 2008*, 611–614. http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2012_270.content.pdf
- Florio, W. (2011). Modelagem Paramétrica, Criatividade e Projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, 6(2), 43–66.
- Khabazi, Z. (2012). Generative Algorithms (using Grasshopper). In *Morphogenesisism*. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3858-8_100399
- Mendes, L. T., Lima, E. C. da S., & Griz, C. (2018). The use of parametric modeling and rapid prototyping in teaching graphic expression. *SIGraDi 2018*, 383–389. <https://doi.org/10.5151/sigradi2018-1872>
- Nogueira, T., Borda, A., Felix, L., & Vasconcelos, T. (2015). O agir na urgência e o decidir na incerteza: entre métodos e tecnologias de representação gráfica. *III Aproved's International Conference & XI International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design*.
- Pottman, H. (2010). Architectural Geometry as Design Knowledge. *Architectural Design*, 80(4), 72–77.
- Santos, A. C. dos, Vaz, C. E. V. P., Duarte, D. C., Pinheiro, M. E. R., & Lins, J. V. (2012). O uso das ferramentas de desenho paramétrico no ensino da geometria gráfica - o caso dos poliedros. *IV Congreso Internacional de Experiencia Gráfica En Ingeniería, Arquitectura y Areas Afines (EGraFIA)*, 291–294.
- Schön, D. (2000). *Educando o Profissional Reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem*. Artmed.
- Vasconcelos, T. B. de, Vecchia, L. F. D., & Borda, A. A. da S. (2014). A parametrização como experiência prévia para a estruturação de métodos projetuais em arquitetura. *SIGraDi 2014*, 1, 297–301. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2014-0059>
- Vasconcelos, T., Silva, A., & Vecchia, L. (2016). [PARA] métricas do patrimônio arquitetônico pelotense Introdução. *SIGraDi 2016*.
- Vaz, C. E. V., & Pereira, N. (2012). Parametric modeling and descriptive geometry education in architecture - Felix Candela's surfaces. *SIGraDi 2012*, 216–218.
- Vecchia, L. F. D., Brum, V. T., Silva, G. M. da, & Silva, A. B. A. da. (2016). A Inserção do Desenho Paramétrico em Estágios Iniciais do Curso de Arquitetura e Urbanismo a partir do Estudo de Superfícies Curvas. *SIGraDi 2016*, 238–243. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2016-696>
- Vianna, M. E. R. R., Henriques, G. C., & Passaro, A. M. (2018). Constructive-geometry: the integration of generation and construction systems in a case-study. *SIGraDi 2018*, 316–323. <https://doi.org/10.5151/sigradi2018-1650>