

IDENTIFICAÇÃO DE DIFICULDADES DOS ALUNOS DE ENGENHARIA NO ESTUDO DE SUPERFÍCIES EM GEOMETRIA DESCRITIVA

IDENTIFICATION OF ENGINEERING STUDENTS' DIFFICULTIES IN SURFACES STUDY IN DESCRIPTIVE GEOMETRY

Ângela Maria Marx¹

Fábio Gonçalves Teixeira²

Resumo

O ensino de Geometria Descritiva (GD) perdeu espaço nos cursos de Engenharia, com prejuízo na aquisição de habilidades de representação e raciocínio lógico-espacial. Compreender as dificuldades dos alunos para propor soluções mais efetivas é necessário. Este estudo procura identificar dificuldades dos alunos para a aprendizagem do conteúdo de superfícies em GD, e avaliar o efeito do ensino remoto nessa disciplina. O estudo utiliza avaliações de turmas do ensino remoto emergencial (2020-2021) como fontes documentais. Os erros cometidos pelos alunos são usados como indicadores de problemas que podem impactar a aquisição das habilidades desejadas. Entre os principais problemas observados estão: a grande quantidade de elementos não representados e não nomeados; erros ligados à correspondência de elementos (dupla-projeção) na épura; visibilidade da superfície e interseções; e problemas para realizadas operações auxiliares. Os resultados sugerem, ainda, que houve perda de desempenho dos alunos durante o ensino remoto.

Palavras-chave: superfícies; geometria descritiva; ensino de engenharia.

Abstract

Descriptive Geometry (DG) has been losing ground in engineering curricula, with impairment in the acquisition of representation skills and logical-spatial reasoning. Understanding students' difficulties to propose more effective solutions is necessary. This study aims to identify the main difficulties students have in learning the content of surfaces in DG, and to evaluate the effect of remote education in this subject. The study uses tests from emergency remote education classes (2020-2021) as documentary sources. Mistakes made by the students are used as indicators of problems that may impact the acquisition of the desired skills. Among the main problems observed are: the large number of unrepresented and unnamed elements; errors linked to double-projection; visibility of the surface and intersections; and problems performing auxiliary operations. The results also suggest that there was a loss of student performance during remote learning.

Keywords: surfaces; descriptive geometry; engineering study.

¹ Professora Mestre, UFRGS – FA – Departamento de Design e Expressão Gráfica, Porto Alegre, RS, Brasil. angela.marx@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-5078-2034.

² Professor Doutor, UFRGS – PGDesign – Departamento de Design e Expressão Gráfica, Porto Alegre, RS, Brasil. fabiogt@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-6067-503X.

1. Introdução

A Geometria Descritiva (GD) é uma área de conhecimento ligada à Expressão Gráfica, fundamental para a atividade projetual, constituindo a base das vistas ortográficas e do Desenho Técnico (DT) (Rovida, 2012). A importância da disciplina está no desenvolvimento do raciocínio lógico-espacial e no domínio da representação gráfica de objetos, duas habilidades muitas vezes difíceis de dominar, mas necessárias para a realização de projetos. A disciplina tem um caráter teórico-prático, com ênfase no desenvolvimento da capacidade de representar, visualizar e resolver graficamente problemas envolvendo sólidos e superfícies.

Muitos cursos universitários, principalmente no exterior, não ofertam uma disciplina específica de GD, mesclando conceitos de GD, DT e desenho geométrico com o uso de softwares CAD sob a denominação genérica de Desenho ou Gráficos de Engenharia. Alguns estudos sobre ensino online têm sido conduzidos nessas disciplinas, especialmente em formato híbrido com o intuito de facilitar a aquisição de competências (Branoff; Wiebe; Shreve, 2011; Olmedo-Torre; Martínez, 2018; Zhang et al., 2019; Lanzotti et al., 2019). Ao analisar a aprendizagem dos alunos, Wang et al. (2019) não encontraram diferenças significativas entre aqueles que assistiram aulas presenciais de Desenho de Engenharia e outros que acessaram o mesmo conteúdo exclusivamente online. No entanto, Olmedo-Torre e Martinez (2018) afirmam que o ensino do conteúdo de geometria espacial no geral representa um desafio na formação de engenheiros, pois é nesse tópico que a maioria dos alunos tem uma avaliação aquém do desejado.

Nas disciplinas de GD da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o que se observou durante o Ensino Remoto Emergencial (ERE) ocasionado pela pandemia da Covid-19 foi basicamente uma transposição do ambiente de sala de aula para um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), com a gravação em vídeo das explicações teóricas e do passo-a-passo dos exercícios práticos. No entanto, a participação dos alunos nos encontros síncronos online não foi expressiva e a avaliação por meio de trabalhos pode não ter sido capaz de medir corretamente a aprendizagem dos conceitos teóricos.

O presente trabalho tem como objetivo compreender as principais dificuldades dos alunos para a aprendizagem do conteúdo de superfícies em GD, por meio da análise dos tipos de erros cometidos em atividades avaliativas. O estudo utilizou registros das avaliações de turmas de GD da UFRGS ministradas entre 2020 e 2021 durante o ERE. Além de evidenciar as principais dificuldades dos alunos, foi realizada uma sondagem a respeito do efeito do ensino à distância para a aquisição das habilidades espaciais desejadas nos alunos, comparando o desempenho daqueles que tiveram a disciplina básica de GD ainda na modalidade presencial com os alunos que tiveram o conteúdo exclusivamente na modalidade remota.

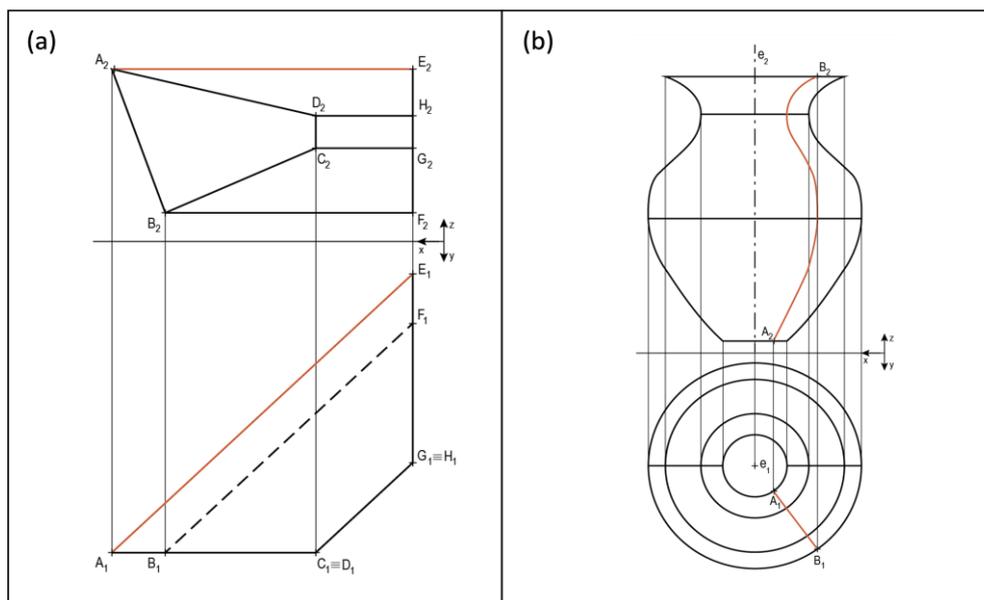
O artigo apresenta um breve panorama sobre o ensino de superfícies em GD, os procedimentos metodológicos empregados, a discussão dos resultados e considerações finais.

2. Ensino de Superfícies em Geometria Descritiva

O ensino tradicional de GD utiliza desenhos bidimensionais (2D), que são projeções ortográficas de objetos tridimensionais (3D), para representar graficamente o objeto real e os efeitos de processos sobre o objeto – como cortes, por exemplo. As projeções são combinadas em pares utilizando o método Mongeano para formar o que se conhece como ‘épura’, que consiste em um sistema com duas projeções alinhadas ortogonalmente e que, juntas, apresentam as três dimensões de um objeto real.

A Figura 1 apresenta a écura de duas superfícies, com as coordenadas x e z (largura e altura) representando a projeção frontal (objeto visto de frente) na parte superior das imagens e as coordenadas x e y (largura e profundidade) representando a projeção horizontal (objeto visto de cima) na parte inferior. Embora o professor possa indicar os procedimentos técnicos, cabe ao aluno conceber mentalmente o objeto tridimensional a partir da écura (Santos, 2016).

Figura 1: Representação em écura de uma superfície retilínea desenvolvível prismática (a) e de uma superfície de revolução em forma de vaso (b), destacando em vermelho as respectivas geratrizes



Fonte: (a) elaborado pelos autores e (b) Teixeira e Silva (1999).

Superfície é um dos conceitos básicos da Geometria e sua definição varia entre os diferentes campos de estudo. O conceito geral é explicado na Geometria Elementar, que considera a superfície como o limite de um corpo, ou o resultado de uma linha geratriz em movimento (Surface - Encyclopedia of Mathematics, [s. d.]). Nessa explicação encaixam-se planos, superfícies multifacetadas e superfícies curvas.

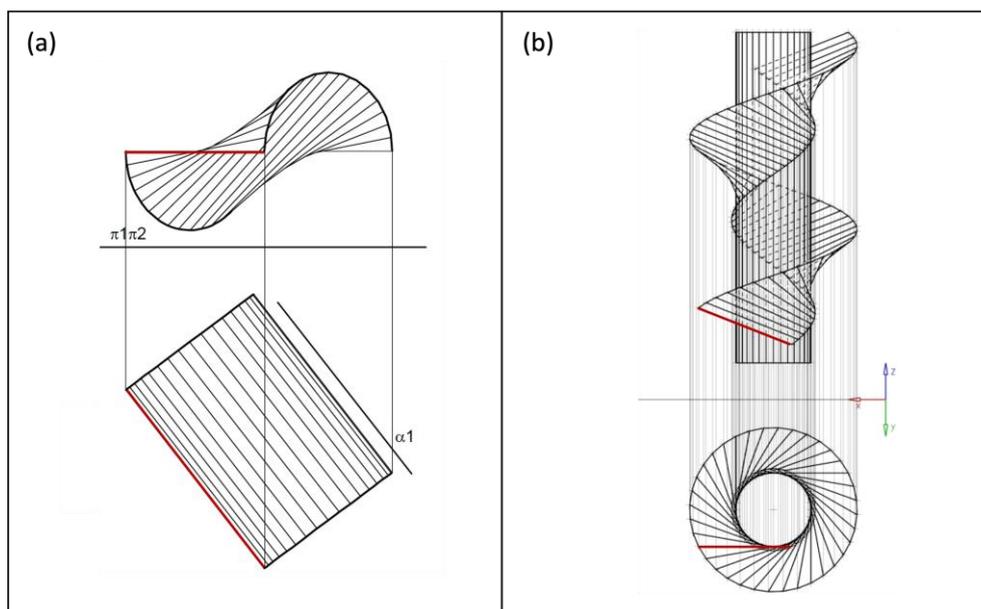
Hood (1946) explica que os pontos, as linhas e as superfícies são os elementos geométricos básicos de qualquer estrutura, que é projetada combinando e definindo relações entre os elementos. Um ponto indica apenas uma localização e não tem dimensão. Já a linha tem comprimento, mas não largura ou espessura, sendo unidimensional. Ela pode ser reta ou curva, e assume-se que seja gerada pelo movimento de um ponto, sendo o tipo de linha determinado pela lei que rege esse movimento. Por fim, uma superfície é bidimensional, tendo área, mas não espessura. Uma superfície pode ser plana ou curva e é representada graficamente mostrando algumas de suas linhas, que podem ser limites, contornos ou outros elementos. (Hood, 1946)

O conteúdo de superfícies cinemáticas é um componente avançado de GD, que pode ser compreendido como a continuidade do estudo dos sólidos geométricos. Assim, pressupõe-se que o aluno já domine uma série de conceitos, como: i) representação em écura de pontos, retas, planos e sólidos; ii) nomenclatura e posição relativa de retas e planos em relação ao sistema de referência; iii) utilização de métodos descritivos, como Rotação e Mudança de Sistema de Referência (MSR) – também chamada Mudança de Plano de Projeção (MPP); e iv)

execução de interseções e cortes.

As geratrizes podem ser linhas retas ou curvas e mover-se de acordo com elementos e leis de geração distintos, originando quatro grandes grupos de superfícies: Superfícies Retilíneas Desenvolvíveis (SRD), Superfícies Retilíneas não Desenvolvíveis (SRnD), Superfícies de Revolução (SR) e Superfícies Helicoidais (SH). As Figuras 1 e 2 apresentam um exemplo de cada um desses grupos, destacando a variedade de linhas geratrizes.

Figura 2: Representação em épura de uma SRnD do tipo cilindroide (a) e de uma SH formada por uma geratriz reta (b), destacando em vermelho as respectivas geratrizes



Fonte: (a) Teixeira e Silva (1999) e (b) Teixeira, Silva e Silva (2018)

As Superfícies Retilíneas Desenvolvíveis (SRDs) constituem um subgrupo entre as superfícies geradas por retas, podendo ser piramidais, cônicas, prismáticas ou cilíndricas. São caracterizadas pela capacidade de desenvolvimento ou planificação sem sofrer distorções, o que ocorre devido à sua curvatura gaussiana igual a zero, da mesma forma que as superfícies planas (Lawrence, 2011). Essa propriedade confere às SRDs uma variedade de aplicações, da indústria metalmeccânica à do vestuário, obtidas por meio de corte, dobras, colagem ou laminação de materiais planos como papel e folhas metálicas. Os elementos gráficos que constituem as SRDs são a reta geratriz, a diretriz e o vértice. A diretriz é uma linha concorrente à geratriz, que pode ser poligonal ou curva, aberta ou fechada, e fornece a direção para o movimento da geratriz, podendo ser compreendida como o caminho que a geratriz percorre. A superfície representada na Figura 1-a é prismática, gerada pelo deslocamento da reta geratriz AE sobre a diretriz ABCD, possuindo um vértice impróprio (no infinito), o que faz com que as sucessivas posições da reta sejam paralelas.

As Superfícies Retilíneas não Desenvolvíveis (SRnDs), também chamadas de Reversas, são outro subgrupo entre as superfícies geradas por retas, caracterizado por apresentar todas as posições da geratriz paralelas a um determinado plano (Catalan surface - Encyclopedia of Mathematics, [s. d.]). Embora as várias posições da geratriz que formam a superfície sejam paralelas ao mesmo plano, chamado plano diretor, elas não são paralelas entre si porque

seguem direções diferentes. Ao contrário das SRDs, as SRnDs não podem ser planificadas sem distorção, por isso a denominação ‘não desenvolvível’. Os elementos gráficos que constituem as SRnDs são geratriz, plano diretor e duas diretrizes, que podem ser retas, curvas ou uma reta e uma curva, gerando paraboloides-hiperbólicos, cilindroides e conoides. A Figura 2-a mostra um cilindroide, sendo que a diretriz está apoiada em duas curvas de concavidades opostas, e todas as posições da geratriz aparecem paralelas ao plano diretor α .

As Superfícies de Revolução (SRs), por sua vez, são um grupo heterogêneo de superfícies, podendo ter geratrizes retas, curvas, abertas ou fechadas, planas ou espaciais que geram superfícies retilíneas ou do tipo *double-curved* ao se deslocar em torno de um eixo de rotação. As superfícies do tipo *double-curved* são aquelas que possuem apenas curvas na sua estrutura, sem nenhum segmento de reta (Hood, 1946), como esfera, elipsoide e toro. As SRs têm aplicações artísticas, arquitetônicas e em uma variedade de produtos, uma vez que alguns importantes processos de fabricação, como torno e rotomoldagem, utilizam os mesmos princípios que regem o seu processo de geração (Teixeira *et al.*, 1999). Os elementos gráficos que constituem as SRs são geratrizes, paralelos e meridianos. A Figura 1-b apresenta uma superfície de revolução em forma de vaso, destacando a curva livre que constitui a geratriz e os elementos construtivos mínimos para modelar a forma (meridiano e paralelos principais).

Por fim, as Superfícies Helicoidais (SHs) são superfícies retilíneas geradas pela rotação de um segmento de reta a uma taxa angular constante em torno de um eixo fixo, ao mesmo tempo em que se move gradualmente ao longo do eixo (Helicoid - Encyclopedia of Mathematics, [s. d.]), ou seja, a geratriz realiza um movimento de roto-translação (rotação + translação) em torno do eixo. A trajetória de cada ponto da geratriz gera uma curva denominada hélice, e o conjunto de posições sucessivas da reta geratriz é o que se denomina SH ou helicoides (Teixeira; Silva; Silva, 2018). A posição da reta geratriz em relação ao eixo gera dois tipos básicos de helicoides: axiais ou de núcleo. Nos helicoides axiais, a geratriz é coplanar ao eixo, enquanto nos helicoides de núcleo, como o exemplo na Figura 2-b, a geratriz é reversa ao eixo, formando um núcleo cilíndrico que tangencia internamente a superfície.

3. Procedimentos Metodológicos

O presente trabalho é estudo de natureza exploratória baseado em análise documental. A metodologia utilizada é dividida em quatro etapas: i) Definição da amostra; ii) Coleta de dados; iii) Tabulação dos dados; e iv) Análise dos dados. Os procedimentos empregados em cada uma dessas etapas estão descritos na sequência.

O estudo inicia com a Definição da amostra, momento em que são selecionadas as turmas para a realização do estudo, utilizando como critério a disponibilidade de documentos (atividades avaliativas) para análise. Por esse motivo, as turmas estão limitadas ao período do ERE, entre os semestres 2020/1 e 2021/2. Nesse período, todas as atividades avaliativas foram disponibilizadas e entregues no AVA Moodle, sendo que os documentos e as respectivas correções permanecem disponíveis.

A Coleta de dados, por sua vez, inclui a tabulação de erros encontrados nas atividades dos quatro tipos de superfícies: SRD, SRnD, SR e SH. Neste estudo, esses erros são considerados indicadores da existência de problemas/dificuldades dos alunos para com um ou mais fundamentos de GD. Como cada tipo de superfície tem características específicas, erros que indicam um mesmo problema ou dificuldade são reunidos sob a mesma denominação. A gravidade/quantidade de cada erro não é considerada, visto que o interesse no estudo está no domínio dos fundamentos da disciplina e não no impacto do erro para a nota final.

Na etapa de Tabulação dos dados, os erros identificados na coleta são organizados na forma de problemas e estes em constructos, que descrevem dificuldades para a Representação Gráfica (RG), para a Compreensão Espacial (CE) do objeto representado e para a Resolução de Problemas (RP). Cada um desses constructos reflete habilidades diferentes que o aluno deve dominar ao terminar a disciplina.

Por fim, a etapa de Análise de dados inclui uma análise descritiva dos dados tabulados, considerando os constructos para a análise entre as atividades, e os erros para a análise interna de cada atividade. A análise busca identificar quais os problemas e erros que mais ocorrem em cada tipo de superfície. Além disso, será verificado uma possível diferença no aproveitamento dos alunos durante o período do ERE, por meio das notas, bem como a variação na quantidade e no tipo de erros no mesmo período.

4. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta os resultados obtidos pela aplicação do método, acompanhados da discussão sobre as suas implicações para o estudo.

4.1. Definição da Amostra

O estudo de superfícies em GD nos cursos de Engenharia da UFRGS é abordado na disciplina ARQ03320 – Geometria Descritiva III. O estudo utiliza dados de quatro semestres dos anos letivos 2020 e 2021. Ao todo, foram incluídas 16 turmas no estudo, nas quais houve a atuação de algum dos autores como professor, totalizando 247 alunos. As turmas, com seus respectivos números de alunos entre parênteses, são: 2020/1: Turmas C (17), E (13), EE (4), F (19) e FF (19), totalizando 72 alunos; 2020/2: Turmas B (16), E (17), EE (13), F (18) e FF (18), totalizando 82 alunos; 2021/1: Turmas B (20), E (14) e EE (17), totalizando 51 alunos; e 2021/2: Turmas B (20), F (11) e FF (11), totalizando 42 alunos.

Vale ressaltar, aqui, que o número de alunos em cada turma corresponde àqueles que terminaram o semestre matriculados, sem considerar as desistências. Dentre esses, há, ainda, casos de alunos que não realizaram uma ou mais atividades. Esses alunos não foram retirados do estudo, mas apenas as atividades realizadas foram consideradas.

4.2. Coleta de Dados

As turmas incluídas no estudo tiveram, pelo menos, uma avaliação para cada um dos quatro tipos de superfície. Apenas as atividades de avaliação regulares foram consideradas, sendo descartadas atividades extras ou de recuperação, de modo a considerar apenas trabalhos realizados sob as mesmas condições: possibilidade de consulta ao material teórico; prazo mínimo de 48h para a realização; e entrega via AVA Moodle.

Por terem características bastante diferentes, alguns erros podem ser encontrados em qualquer uma das superfícies, enquanto outros são específicos. Como o estilo dos professores responsáveis pela correção original é variado, todas as avaliações foram reanalisadas para identificar a presença de erros e padronizar a coleta. Da mesma forma, a gravidade ou repetição do erro não foram consideradas, apenas sua ocorrência naquele documento. Um registro de erro na visibilidade da superfície, por exemplo, pode indicar tanto erro em apenas um trecho quanto na superfície inteira. Embora a gravidade do erro seja importante para a nota final, não é particularmente relevante para o estudo, mesmo motivo pelo qual a nota não

constitui um bom indicador para determinar quais as dificuldades dos alunos.

A coleta foi realizada de forma anônima atribuindo um número para cada aluno, unicamente para permitir uma futura verificação dos dados se necessário. Os registros foram feitos por tipo de superfície, em uma planilha do software Microsoft Excel, com os alunos nas linhas e as demais informações nas colunas. A presença de erro foi indicada pelo número 1 na célula correspondente. Além dos itens que descrevem os erros, também foram registrados o semestre, a turma e a nota da avaliação. A não realização de uma parte da atividade foi computada como um único erro (exercício incompleto). Os itens avaliados, bem como seu posterior agrupamento, são apresentados com mais detalhes na próxima etapa.

É importante destacar duas questões observadas durante a coleta de dados. Primeiramente, os erros compilados são aqueles observados exclusivamente nas avaliações aplicadas naquelas turmas específicas e podem não contemplar todos os erros possíveis para cada tipo de superfície. Em segundo lugar, cada superfície possui uma infinidade de variações, seja como subtipos ou em relação ao problema que deve ser resolvido. Por exemplo: todas as avaliações de SRD solicitam que a superfície seja planificada, mas o processo de planificação é um para pirâmides e cones, que utilizam o método descritivo da rotação, e outro para prismas e cilindros, que utilizam o método da MSR. Isso significa que, para alguns alunos, pode ter havido erro na indicação do eixo de rotação, enquanto para outros, o erro pode estar na indicação da linha de terra. Embora diferentes, ambos os erros constituem uma representação incorreta de um dos elementos do exercício e, assim, foram reunidos no mesmo problema.

4.3. Tabulação dos Dados

Esta etapa iniciou com a avaliação dos erros registrados nas planilhas e seu agrupamento em problemas que resumem conjuntos de erros. Erros como: linhas descontínuas, variações de espessura do traçado dentro de um mesmo tipo de linhas, linhas reforçadas a mão livre ou tremidas estão todos relacionados ao problema 'Regularidade no traçado'. Esse agrupamento também permite a comparação entre diferentes tipos de superfícies, uma vez que erros específicos estão alocados dentro de problemas genéricos. Após a organização dos erros em problemas, esses também foram organizados em três constructos, que compreendem as principais habilidades que os alunos devem desenvolver na disciplina. Cada constructo está apresentado na sequência, desdobrado nos problemas que os compõe e os respectivos erros que os descrevem.

O constructo **Representação Gráfica (RG)** reúne problemas e dificuldades relacionados ao domínio da linguagem da GD e à capacidade de representar adequadamente as projeções. Por se tratar do desenho, os problemas listados são comuns a quase todos os tipos de superfície, o que não ocorre nos demais constructos, em que aparecem erros e problemas mais particulares. Os resultados da coleta e tabulação de dados para o constructo RG são apresentados na Tabela 1, com os erros categorizados por tipo de superfície e por semestre. Os problemas que fazem parte do cluster e os respectivos erros identificados na amostra estão descritos e apresentados na sequência.

- Hierarquia do traçado – diferenciação da espessura de linhas de solução e construção, desenho de linhas visíveis contínuas e linhas invisíveis tracejadas, eixos e outros elementos gráficos com traçado padrão;
- Precisão do traçado – ortogonalidade entre projeções, posição correta dos vértices, respeito aos limites do objeto;

- Regularidade no traçado – linhas descontínuas, variação de espessura das linhas dentro da mesma categoria, retas traçadas a mão livre e curvas tremidas;
- Representação das linhas auxiliares – ausência das linhas auxiliares e linhas de construção;
- Indicação gráfica de elementos – ausência de algum desses elementos: eixo, linha de terra, plano auxiliar que contém a reta, ponto(s) de interseção, plano diretor (SRnD), paralelo(s) principais(s) (SR), meridiano principal (SR), núcleo (SH), contorno (SH) e pontos +D+E (SH);
- Notação dos elementos – notação ausente ou incorreta de pontos, retas e/ou planos;
- Representação de elementos – representação incorreta de algum desses elementos: diretriz(es), geratrizes, eixos (tipo de reta incorreta), sentido de desenvolvimento dos arcos (SRnD), sentido de rotação (SH), contorno (SH) e núcleo (SH).

Tabela 1: Total de erros ligados à Representação Gráfica identificados nas atividades avaliadas.

CONSTRUCTO	PROBLEMA	SRD	SRnD	SR	SH	TOTAL	
Representação Gráfica	Hierarquia do traçado	Sem1	7	22	13	6	48
		Sem2	19	5	15	10	49
		Sem3	26	6	6	6	44
		Sem4	17	11	6	10	44
	Precisão do traçado	Sem1	2	2	10	2	16
		Sem2	6	17	14	35	72
		Sem3	7	9	13	31	60
		Sem4	3	7	10	12	32
	Regularidade no traçado	Sem1	3	6	19	10	38
		Sem2	1	9	21	18	49
		Sem3	5	9	12	15	41
		Sem4	3	7	15	4	29
	Representação das linhas auxiliares	Sem1	3	1	2	1	7
		Sem2	0	0	11	0	11
		Sem3	0	0	2	0	2
		Sem4	0	4	0	1	5
	Indicação gráfica de elementos	Sem1	8	12	10	24	54
		Sem2	33	53	16	17	119
		Sem3	16	20	35	21	92
		Sem4	12	19	18	25	74
	Notação dos elementos	Sem1	6	23	3	15	47
		Sem2	47	27	15	9	98
		Sem3	13	17	8	25	63
		Sem4	10	3	11	17	41

CONSTRUCTO	PROBLEMA		SRD	SRnD	SR	SH	TOTAL
		Sem1	13	0	0	9	22
	Representação de elementos	Sem2	4	0	0	15	19
		Sem3	5	0	0	5	10
		Sem4	11	1	0	7	19
		TOTAL	280	290	285	350	1205

Fonte: Elaborado pelos autores

Compreensão Espacial (CE), por sua vez, é um constructo que compreende problemas e dificuldades ligados ao raciocínio lógico-espacial que impactam a compreensão do objeto tridimensional e a sua representação em projeções bidimensionais (conversão 3D/2D). Os resultados da coleta e tabulação de dados para o constructo CE estão apresentados na Tabela 2, com os erros categorizados por tipo de superfície e por semestre. A descrição dos problemas e respectivos erros identificados na amostra são apresentados em seguida.

- Visibilidade da superfície – visibilidade incorreta dos elementos que formam a superfície: diretriz(es), geratriz(es), paralelos (SR), meridianos (SR), hélices (SH), núcleo (SH) e contornos (SH);
- Visibilidade da interseção – visibilidade incorreta da linha resultante de interseção e/ou de corte;
- Visibilidade da reta – visibilidade incorreta da reta em exercícios de interseção;
- Correspondência das projeções – se os elementos estão representados de modo equivalente nas duas projeções (paralelos, geratrizes, linhas de interseção, exclusão de uma parte em uma projeção e na outra não etc.);
- Linha de interseção – se a linha resultante de interseção/corte estiver incorreta ou incompleta, mesmo tendo realizado o procedimento de corretamente, é um sinal de que o aluno não compreende a relação espacial entre superfície e plano;
- Pontos de interseção – se o(s) ponto(s) de interseção estiver(em) marcados na posição incorreta, mesmo que o procedimento esteja correto, há indício de que o aluno não compreende a relação espacial entre superfície, plano e reta;
- Contornos – se os contornos estiverem marcados na posição incorreta há indício de que o aluno não compreende a estrutura helicoidal.

Tabela 2: Total de erros ligados à Compreensão Espacial identificados nas atividades avaliadas.

CONSTRUCTO	PROBLEMA		SRD	SRnD	SR	SH	TOTAL
Compreensão Espacial	Visibilidade da superfície	Sem1	13	0	8	9	30
		Sem2	4	0	14	15	33
		Sem3	5	0	9	5	19
		Sem4	11	1	14	7	33
	Visibilidade da interseção	Sem1	10	13	19	-	42
		Sem2	38	29	21	-	88

CONSTRUCTO	PROBLEMA	SRD	SRnD	SR	SH	TOTAL
	Sem3	5	20	32	-	57
	Sem4	3	21	5	-	29
Visibilidade da reta	Sem1	1	10	0	-	11
	Sem2	21	13	7	-	41
	Sem3	17	20	13	-	50
	Sem4	11	8	0	-	19
Correspondência das projeções	Sem1	7	13	18	3	41
	Sem2	2	32	22	8	64
	Sem3	2	22	31	2	57
	Sem4	4	31	23	0	58
Linha de interseção	Sem1	3	25	18	-	46
	Sem2	6	39	14	-	59
	Sem3	0	30	12	-	42
	Sem4	0	8	18	-	26
Pontos de interseção	Sem1	0	4	0	-	4
	Sem2	0	16	2	-	18
	Sem3	13	8	5	-	26
	Sem4	3	3	1	-	7
Contornos	Sem1	-	-	-	10	10
	Sem2	-	-	-	4	4
	Sem3	-	-	-	1	1
	Sem4	-	-	-	3	3
TOTAL		179	366	306	67	918

Fonte: Elaborado pelos autores

Por fim, o constructo **Resolução de Problemas (RP)** relaciona-se à execução de processos ou de etapas específicas para obter informações ou para modificar a superfície, além de acomodar outros itens. Ao contrário dos demais constructos, a maioria dos erros são específicos e, portanto, os problemas não podem ser generalizados para todos os tipos. Embora os erros e problemas tenham sido agrupados como um constructo, uma análise individual pode ser mais relevante. Os resultados da coleta e tabulação de dados para o constructo RP estão apresentados na Tabela 3, com os erros categorizados por tipo de superfície e por semestre. Os problemas e respectivos erros identificados na amostra são apresentados em seguida.

- Operações auxiliares – ausência/incorreção na obtenção de elementos utilizando processos auxiliares: obtenção dos elementos em VG para planificação (SRD), geratrizes auxiliares (SRD), paralelos auxiliares (SR), marcação do raio do núcleo (SH), divisão da rotação (SH) e divisão do passo (SH);
- Planificação – inclui a triangularização das arestas na construção do modelo planificado e a definição da aresta de fechamento (SRD);

- Modelagem da superfície – inclui interseção e corte para a alteração da superfície, a supressão da parte cortada (SRD, SR), problemas na construção das hélices (SH);
- Exercício incompleto – indica exercício parcialmente realizado ou não realizado;
- Classificação dos helicoides – se foi indicada a classificação do helicóide, o que implica em diferentes configurações e etapas a serem seguidas.

Tabela 3: Total de erros ligados à Resolução de Problemas identificados nas atividades avaliadas.

CONSTRUCTO	PROBLEMA		SRD	SRnD	SR	SH	TOTAL	
Resolução de Problemas	Operações auxiliares	Sem1	0	1	15	5	21	
		Sem2	4	3	11	2	20	
		Sem3	0	4	2	18	24	
		Sem4	1	3	5	10	19	
	Planificação	Sem1	1	-	-	-	1	
		Sem2	27	-	-	-	27	
		Sem3	8	-	-	-	8	
		Sem4	19	-	-	-	19	
	Modelagem da superfície	Sem1	5	-	0	3	8	
		Sem2	6	-	0	2	8	
		Sem3	1	-	3	2	6	
		Sem4	0	-	3	2	5	
	Exercício incompleto	Sem1	1	5	5	1	12	
		Sem2	3	3	27	0	33	
		Sem3	2	5	9	1	17	
		Sem4	14	7	24	1	46	
	Classificação dos helicóides	Sem1	-	-	-	24	24	
		Sem2	-	-	-	35	35	
		Sem3	-	-	-	14	14	
		Sem4	-	-	-	22	22	
	TOTAL			92	31	104	142	369

Fonte: Elaborado pelos autores

4.4. Análise dos Dados

A partir dos dados tabulados na etapa anterior, foram observadas as possíveis relações existentes entre as atividades, tipos de problema, erros e tipos de superfície.

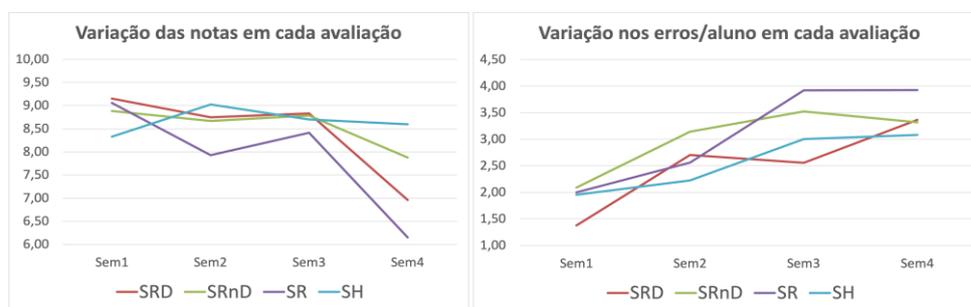
Inicialmente foi realizada uma análise do desempenho geral dos alunos por semestre, para verificar se houve alguma diferença observável entre os diferentes grupos. Para isso foram considerados dois dados: a média das notas dos alunos e a quantidade de erros cometidos por aluno em cada semestre e por tipo de superfície. Os resultados podem ser observados na Tabela 4 e nos gráficos da Figura 3.

Tabela 4: Desempenho geral dos alunos em cada semestre por tipo de superfície.

	SRD		SRnD		SR		SH	
	Média da turma	Erros por aluno						
Sem1	9,15	1,38	8,88	2,09	9,06	2,00	8,33	1,95
Sem2	8,75	2,70	8,66	3,14	7,93	2,56	9,02	2,22
Sem3	8,83	2,55	8,78	3,52	8,41	3,92	8,70	3,00
Sem4	6,96	3,36	7,88	3,32	6,15	3,92	8,59	3,08

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 3: Gráficos com o desempenho geral dos alunos em cada semestre por tipo de superfície.



Fonte: Elaborado pelos autores

Os gráficos da Figura 3 permitem observar a relação inversamente proporcional entre o número de erros cometidos por aluno e a média das notas para cada uma das avaliações. Esse é um resultado esperado, como observado nas SRDs (linha vermelha), embora tenham ocorrido variações nas demais superfícies.

Nas SRnD (linha verde), há uma redução de erros no Sem4 acompanhado de redução nas notas. Isso pode ser explicado pela variação nos tipos de erros cometidos pelos alunos em cada semestre, além de uma quantidade maior de alunos que não finalizaram a atividade no último semestre em comparação com os demais. Nesse caso, há o registro de um único erro (exercício incompleto) que tem um impacto grande na nota do aluno e, por consequência, na média da turma.

O mesmo aconteceu com as SRs (linha roxa), podendo ser observada uma variação nas notas dos dois últimos semestres, embora a quantidade de erros tenha se mantido constante. Nesse caso, quase metade dos alunos do Sem4 não finalizaram a atividade, sendo que os demais erros estiveram concentrados em RG, que tem um impacto pequeno na nota.

Já nas SHs (linha azul) ocorreu o contrário, um aumento de erros no Sem2 acompanhado do aumento das notas. Esse é um caso que evidencia que as notas podem não constituir bons indicadores dos problemas ou dificuldades dos alunos em relação à disciplina. Como explicado anteriormente, todos os documentos foram reavaliados durante a coleta de dados para que fosse possível uma padronização na forma de identificar os erros. No entanto, foram mantidas as notas da correção original, realizada por mais de um professor a partir de critérios próprios que implicam em descontos diferentes para cada tipo de erro. Isso explica, em parte, a aparente inconsistência dos dados.

O principal resultado dessa análise, no entanto, é verificar que, nos semestres em que as aulas foram conduzidas no formato ERE, houve um decréscimo expressivo nas notas gerais das turmas, passando de um conceito A (média 8,9) no primeiro semestre para B (médias 8,6 e

8,7) no segundo e terceiro e C (média 7,4) no último. Da mesma forma, o gráfico mostra um aumento considerável na quantidade de erros cometidos em todas as atividades. Vale observar, ainda, que os alunos que cursaram a disciplina no primeiro semestre avaliado (2020/1) assistiram as aulas na disciplina prévia básica de GD de modo presencial, o que impactou positivamente no aproveitamento daquelas turmas em comparação com os demais semestres, em que todo o conteúdo de GD foi cursado de forma remota.

A diferença observada entre o primeiro semestre e os demais é um indício de que a transposição das aulas de presenciais de GD para um formato online ou híbrido não é uma tarefa simples e demanda mais do que disponibilizar videoaulas e outros conteúdos em um AVA. Embora os alunos tenham sido aprovados, não é possível afirmar que eles desenvolveram as habilidades desejadas de modo satisfatório. Além de haver um tempo relativamente grande (48h) para fazer cada uma das atividades, em comparação com 1h40min na disciplina presencial, os alunos puderam consultar o material gravado, não havendo garantia de que os alunos tenham refletido sobre o seu conteúdo ou sobre o problema a ser resolvido.

A análise dos clusters, por sua vez, revelou quais os problemas mais comuns e em quais superfícies têm maior ocorrência. Esses resultados são relevantes para que os professores possam tomar ações mais genéricas em relação à disciplina, bem como corrigir problemas específicos e pontuais.

A Tabela 5 apresenta a participação dos problemas dentro do cluster RG, com o número absoluto de erros e o percentual. Os problemas mais comuns neste cluster são a falta de indicação gráfica ('Indicação gráfica') de algum elemento e a falta de notação ('Notação dos elementos'), que, juntos, são responsáveis por 43% (sem1), 51% (Sem2), 50% (Sem3) e 47% (Sem4) dos erros considerando todas as superfícies. Isso significa que grande parte dos erros observados na amostra não estão relacionados à execução incorreta do desenho, mas à omissão de algum elemento. Os motivos para a falta de representação desses elementos não são claros. O aumento na complexidade dos objetos, quando comparados com os sólidos trabalhados na disciplina prévia, poderia fazer com que alguns elementos parecessem menos relevantes no desenho final. Independente do motivo, isso serve como indicador da necessidade de reforçar a importância desses itens para a representação correta das projeções do objeto.

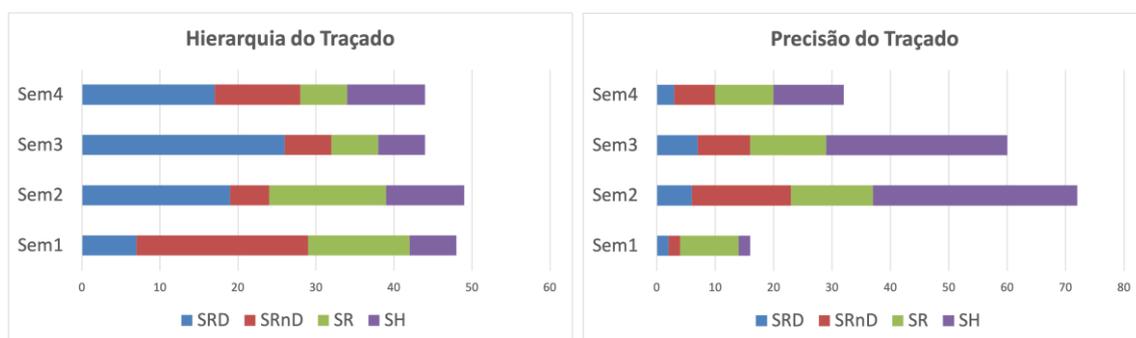
Tabela 5: Problemas no cluster Representação Gráfica (RG) observados por semestre.

CONSTRUCTO	PROBLEMA	Sem1		Sem2		Sem3		Sem4	
		N	%	N	%	N	%	N	%
Representação Gráfica	Hierarquia	48	20,7	49	11,8	44	14,1	44	18,0
	Precisão	16	6,9	72	17,3	60	19,2	32	13,1
	Regularidade	38	16,4	49	11,8	41	13,1	29	11,9
	Linhas Auxiliares	7	3,0	11	2,6	2	0,6	5	2,0
	Indicação Gráfica	54	23,3	119	28,5	92	29,5	74	30,3
	Notação dos elementos	47	20,3	98	23,5	63	20,2	41	16,8
	Representação	22	9,5	19	4,6	10	3,2	19	7,8
		232	100	417	100	312	100	244	100

Fonte: Elaborado pelos autores

A análise de cada um dos problemas dentro do cluster revelou uma grande variação para cada tipo de superfície, que podem ser observadas nos gráficos das Figuras 4, 5 e 6. As SRDs apresentaram uma quantidade de erros mais expressiva em relação à ‘Hierarquia do traçado’ em comparação com as demais superfícies, o que pode ser explicado por ser a primeira superfície estudada na disciplina, implicando em tempo menor de treinamento de desenho. De fato, o gráfico da Figura 4 mostra que a dificuldade dos alunos foi menor no primeiro semestre, uma vez que aquelas turmas tiveram um treinamento mais adequado com aulas presenciais na disciplina anterior. O mesmo acontece com a ‘Notação dos elementos’ (Figura 5) e a ‘Indicação Gráfica’ (Figura 6), dois problemas que correspondem por grande parte dos erros no constructo.

Figura 4: Problemas ‘Hierarquia do traçado’ e ‘Precisão do traçado’ por superfície e por semestre



Fonte: Elaborado pelos autores

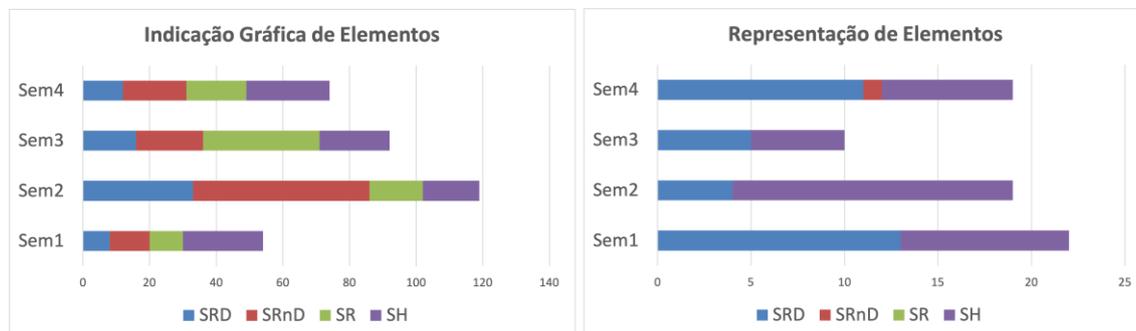
As SRnDs, por sua vez, costumam apresentar menos problemas de RG por terem uma variação menor de tipos e um processo de construção e representação padronizado. Os principais problemas observados na amostra são a ‘Hierarquia do traçado’ (Figura 4), a ‘Notação dos elementos’ (Figura 5) e a ‘Indicação Gráfica’ (Figura 6), os dois últimos devidos especialmente a erros como falta de indicação do plano diretor e nomeação de pontos. Para essas superfícies, ‘Regularidade no traçado’ corresponde a erros para manter um padrão na representação das geratrizes, que aparecem em maior número do que nas demais superfícies.

Figura 5: Problemas ‘Notação dos elementos’ e ‘Regularidade no traçado’ por superfície e por semestre



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 6: Problemas ‘Indicação gráfica de elementos’ e ‘Representação de elementos’ por superfície e por semestre



Fonte: Elaborado pelos autores

Diferente das anteriores, as SRs contribuem mais para os problemas de ‘Regularidade no traçado’ (Figura 5), uma vez que são compostas por circunferências e curvas realizadas pela interpolação de pontos à mão livre. Os erros, nesse caso, são basicamente em função do uso inadequado dos instrumentos de desenho (compasso e jogo de esquadros) e da falta de treinamento para o desenho a mão livre, que faz com que o traçado seja irregular, tremido ou com linhas de mesmo tipo variando de espessura. Esses erros podem ser difíceis de corrigir em um modelo de ensino online ou remoto, sem a presença de um professor ou monitor para auxiliar na utilização dos instrumentos.

Por fim, as SHs destacam-se em relação ao problema ‘Representação dos elementos’, (Figura 6) juntamente com as SRDs. No caso das SRDs, os erros observados na amostra estão ligados basicamente à representação do eixo de rotação, denotando um desconhecimento do tipo de reta e da função do eixo no exercício. Já nas SHs, os erros estão basicamente na representação do núcleo e dos contornos, mesmo havendo explicações detalhadas sobre isso nas videoaulas. No entanto, no ERE houve uma flexibilização nos instrumentos de avaliação e na composição das notas em comparação com os planos de ensino da disciplina presencial. Em função disso, muitos alunos já estavam aprovados no momento da última avaliação e, portanto, o empenho para a realização da atividade pode não ter sido o mesmo das anteriores.

O cluster CE contém erros e problemas que constituem dificuldades maiores e mais difíceis de sanar. A Tabela 6 apresenta a participação dos problemas dentro do cluster, com o número absoluto de erros e o percentual. Individualmente, o problema mais comum neste cluster é ‘Correspondência’, ou seja, um erro na dupla projeção de algum elemento. Isso geralmente se deve pela dificuldade em visualizar mentalmente como um elemento está em uma das projeções ou por erro no processo de construção em épura (ortogonalidade). Todos os erros identificados na amostra e agrupados neste cluster estão no primeiro caso.

Tabela 6: Problemas no cluster Compreensão Espacial observados por semestre

CONSTRUCTO	PROBLEMA	Sem1		Sem2		Sem3		Sem4	
		N	%	N	%	N	%	N	%
Compreensão Espacial	Visib. Superfície	30	16,3	33	10,7	19	7,5	33	18,9
	Visib. Interseção	42	22,8	88	28,7	57	22,6	29	16,6

CONSTRUCTO	PROBLEMA	Sem1		Sem2		Sem3		Sem4	
	Visib. Reta	11	6,0	41	13,4	50	19,8	19	10,9
	Correspondência	41	22,3	64	20,8	57	22,6	58	33,1
	Linha Interseção	46	25,0	59	19,2	42	16,7	26	14,9
	Pontos Interseção	4	2,2	18	5,9	26	10,3	7	4,0
	Contornos	10	5,4	4	1,3	1	0,4	3	1,7
		184	100	307	100	252	100	175	100

Fonte: Elaborado pelos autores

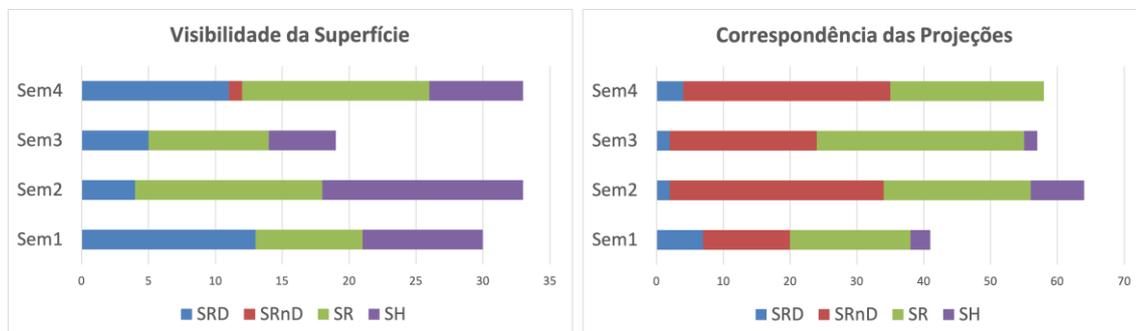
Do ponto de vista de um conjunto de problemas e erros, os mais comuns neste cluster estão relacionados às questões de interseção, realizadas nas SRDs, SRnDs e SRs. Embora a interseção constitua um problema a ser resolvido enquanto exercício, individualmente os erros correspondem a dificuldades na compreensão espacial dos elementos, motivo pelo qual foram alocados no cluster CE ao invés do RP. Juntos, os erros relacionados à interseção ('Linha de interseção', 'Pontos de interseção', 'Visibilidade da interseção' e 'Visibilidade da reta') correspondem a 56% (sem1), 67% (Sem2), 70% (Sem3) e 46% (Sem4) de todos os erros, o que é ainda mais significativo considerando-se que apenas três das quatro superfícies incluem questões de interseção.

Outro conjunto de problemas que se destaca no cluster e que são interrelacionados diz respeito à capacidade de identificar as partes visíveis e não visíveis dos objetos. Juntos, os problemas de visibilidade ('Visibilidade da superfície', 'Visibilidade da interseção' e 'Visibilidade da reta') compreendem 45% (sem1), 53% (Sem2), 50% (Sem3) e 46% (Sem4) de todos os erros observados. A presença desses erros indica claramente a dificuldade dos alunos em visualizar o objeto mentalmente, embora o contrário (acerto) não signifique que o aluno consiga elaborar o processo mental de maneira satisfatória. Esses problemas são reconhecidos pelos professores da disciplina também no ensino presencial e constituem desafios da disciplina.

Os principais problemas observados nas SRDs estão relacionados com a indicação correta da visibilidade, tanto da própria superfície (Figura 7) quando da questão de interseção (Figura 8). Embora observe-se uma grande variação nesses problemas entre os semestres, isso se deve a diferenças na configuração das atividades solicitadas aos alunos, que nem sempre possuem interseção com reta – motivo pelo qual a quantidade de erros na visibilidade da reta é menor do que a da superfície e da linha de interseção.

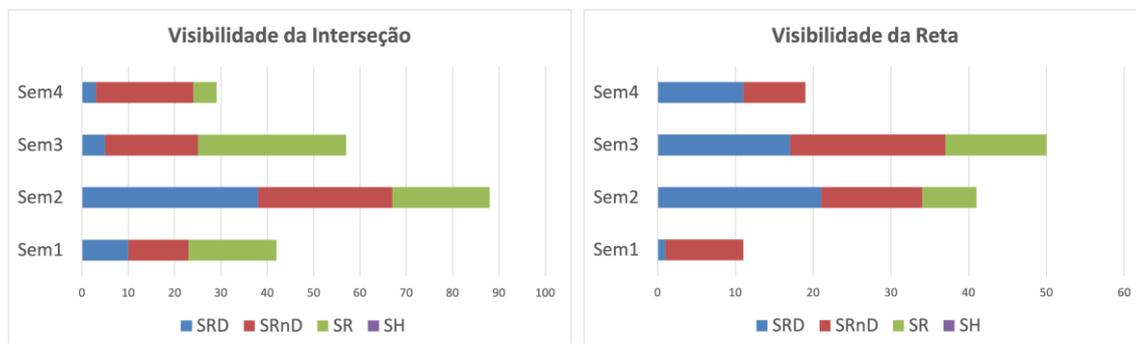
Nas SRnDs, os erros predominantes estão em 'Correspondência das projeções' (Figura 7) e em 'Linha de interseção' (Figura 9). Os principais erros correspondem a inconsistências na dupla-projeção de retas isoladas, o que pode ser causado pela percepção da pouca importância de representar ou combinar as projeções de elementos simples em um desenho mais complexo, como foi observado no cluster anterior. Quanto às linhas de interseção, há muitos trechos interrompidos ou marcados na posição incorreta, denotando falta de compreensão espacial sobre o modo como os planos cortam a superfície. Como já foi explicado, as SRnDs têm um processo de construção padronizado, o que inclui a resolução da visibilidade da superfície. Por esse motivo, a participação das SRnDs neste problema é mínima, embora sejam observados erros nos demais problemas de visibilidade, com destaque para o posicionamento incorreto dos pontos de interseção.

Figura 7: Problemas ‘Visibilidade da superfície’ e ‘Correspondência das projeções’ por superfície e por semestre.



Fonte: Elaborado pelos autores

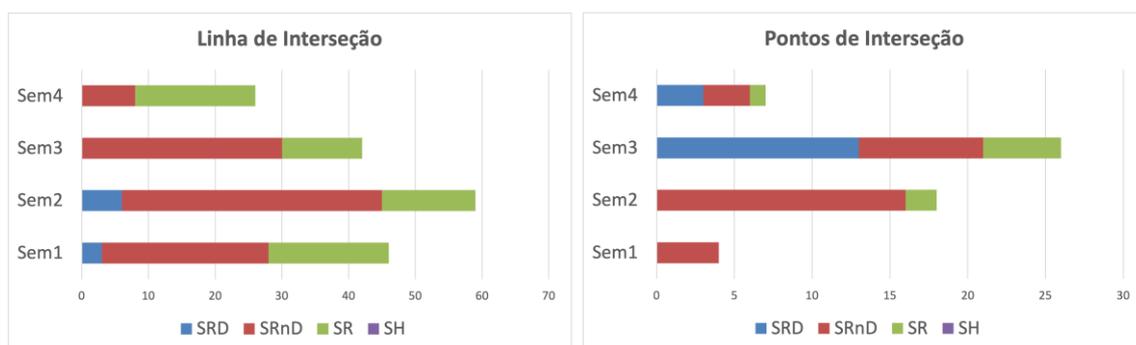
Figura 8: Problemas ‘Visibilidade da interseção’ e ‘Visibilidade da reta’ por superfície e por semestre.



Fonte: Elaborado pelos autores

As SRs apresentam problemas semelhantes com erros diferentes. O destaque se dá em ‘Correspondência das projeções’ (Figura 7), cujos erros são oriundos principalmente da representação dos elementos constitutivos (paralelos e meridianos) apenas na projeção em que se encontram em verdadeira grandeza, sendo ignorados na outra. Não é possível afirmar se isso ocorre em função da falta de entendimento espacial do objeto ou pela menor familiaridade dos alunos para com esses elementos, que são diferentes dos trabalhados nas superfícies anteriores e nos sólidos da disciplina prévia.

Figura 9: Problemas ‘Linha de interseção’ e ‘Pontos de interseção’ por superfície e por semestre.



Fonte: Elaborado pelos autores

As SHs são superfícies mais elaboradas que as demais, motivo pelo qual não são realizados exercícios de interseção. Sua participação nos problemas do cluster estão concentrados em ‘Visibilidade da Superfície’ (Figura 7) e em ‘Contornos’ (Tabela 6), sendo que estes são exclusivos das SHs e não representam uma grande parcela dos problemas de CE. A visibilidade dos helicoides é complexa, pois depende também da compreensão do sentido de rotação do mesmo. A baixa incidência de erros em ‘Correspondência das projeções’ (Figura 7) pode ser explicada pela existência de um processo de construção padronizado.

O último cluster, RP, apresenta uma combinação de problemas e erros variados e que não têm uma relação direta entre si. A Tabela 7 apresenta a participação dos problemas dentro do cluster, com o número absoluto de erros e o percentual.

Tabela 7: Problemas no cluster Resolução de Problemas observados por semestre

CONSTRUCTO	PROBLEMA	SEM1		SEM2		SEM3		SEM4	
		N	%	N	%	N	%	N	%
Resolução de Problemas	Operações auxiliares	21	31,8	20	16,3	24	34,8	19	17,1
	Planificação	1	1,5	27	22,0	8	11,6	19	17,1
	Modelagem	8	12,1	8	6,5	6	8,7	5	4,5
	Exercício incompleto	12	18,2	33	26,8	17	24,6	46	41,4
	Classificação	24	36,4	35	28,5	14	20,3	22	19,8
TOTAL		66	100	123	100	69	100	111	100

Fonte: Elaborado pelos autores

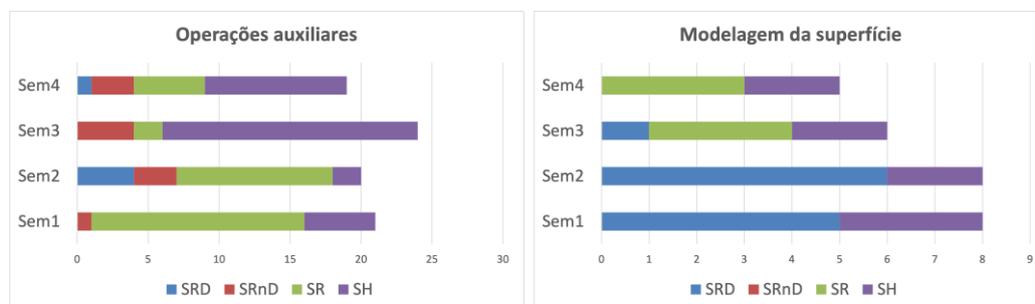
O principal problema deste cluster, ‘Operações auxiliares’, abarca uma série de processos e operações indiretamente ligados à representação das superfícies, mas necessários para sua execução. Muitas dessas operações são emprestadas do Desenho Geométrico para resolver um problema, como dividir uma reta em partes iguais, determinar uma mediatriz, uma bissetriz ou localizar pontos de tangência por meio de um arco capaz. Outras operações, no entanto, implicam na criação de mais elementos constitutivos da superfície (geratrizes, paralelos, etc.) que são dispensáveis para sua representação, mas fundamentais para a resolução de uma interseção, por exemplo.

A quantidade de tarefas não finalizadas incluídas em ‘Exercício Incompleto’ chama a atenção, especialmente no último semestre avaliado. A realização parcial de exercícios ocorreu com maior frequência nas SRs, que são relativamente simples de serem representadas, mas que podem ter questões de interseção um pouco mais complexas. Como já foi discutido, isso parece inconsistente com as facilidades do ensino remoto, como a consulta às videoaulas e o tempo estendido para a realização das tarefas. O formato da avaliações (média simples das atividades) e outras flexibilizações adotadas no período do ERE podem ter contribuído, em parte, para um desinteresse dos alunos em obter um aproveitamento maior na disciplina.

Os principais problemas e erros neste cluster que não são específicos de apenas uma das superfícies, aparecem na Figura 10: ‘Operações auxiliares’ e ‘Modelagem da superfície’. As SRnDs aparecem com uma pequena participação em ‘Operações auxiliares’, que, no caso, constituem erros na divisão da diretriz curva em partes iguais, isto é, a aplicação de um método oriundo do Desenho Geométrico. Já as SRDs têm, como principal problema a modelagem da superfície, em especial erros na supressão de partes cortadas e a sua

transposição para a figura planejada.

Figura 10: Problemas ‘Operações auxiliares’ e ‘Modelagem da superfície’ por superfície e por semestre



Fonte: Elaborado pelos autores

Os dois gráficos da Figura 10 apresentam problemas encontrados nas SRs, mas eles aparecem concentrados em semestres diferentes. Isso aconteceu devido à variação dos exercícios solicitados, sendo que no primeiro e segundo semestres os exercícios contaram apenas com problemas clássicos de interseção com reta, enquanto as atividades do terceiro e do quarto semestres incluíram também a modelagem dos objetos. No primeiro caso, os erros dizem respeito principalmente à criação de paralelos auxiliares ('Operações auxiliares'), enquanto no segundo caso os erros concentraram-se na falta da exclusão da parte cortada ('Modelagem da superfície').

As SHs, por sua vez, apresentam erros em ambos os problemas na Figura 10. Em relação às 'Construções auxiliares', os erros encontram-se na marcação do raio do núcleo (distância entre eixo e geratriz), na divisão da rotação em partes iguais e na divisão do passo utilizando o Teorema de Tales. Já em 'Modelagem da superfície', os erros encontram-se na construção das hélices, em especial problemas de interpolação dos pontos para a obtenção de um traçado curvo.

5. Considerações Finais

O presente estudo buscou identificar as principais dificuldades dos alunos para a aprendizagem do conteúdo de superfícies em GD e avaliar o efeito do ensino remoto. O método empregado permitiu observar diferenças no aproveitamento das turmas dentro do período analisado utilizando a média das notas das turmas e a média de erros cometidos por aluno. Os resultados mostram que houve uma queda considerável no aproveitamento dos alunos pelo decréscimo das notas, resultado corroborado pelo aumento expressivo dos erros/aluno. Observou-se, ainda, que as turmas do primeiro semestre tiveram um desempenho melhor em ambos os indicadores, o que pode ser explicado pelo conhecimento adquirido na disciplina prévia cursada ainda de modo presencial.

Um dos aspectos que chamou a atenção nas análises dos problemas de Representação Gráfica foi a grande quantidade de elementos não representados e não nomeados, em especial elementos básicos como pontos e retas. Acredita-se que isso possa estar relacionado ao aumento de complexidade dos objetos representados, o que faz com que detalhes como nomear projeções de pontos pareçam insignificantes. O mesmo efeito pode explicar, em parte, o grande volume de erros ligados à correspondência de elementos na épura, que constituem

um dos problemas mais recorrentes de Compreensão Espacial. Ainda em relação a isso, foi verificada uma grande concentração de erros de visibilidade, tanto nas superfícies quanto nas interseções. Embora não seja uma surpresa, esses erros evidenciam a dificuldade dos alunos em visualizar mentalmente todos os tipos de superfície analisadas, uma vez que respondem por até 70% dos erros dentro do cluster. Por fim, entre os erros considerados no cluster Resolução de Problemas destacaram-se aqueles ligados à utilização de operações auxiliares, que representam uma série de processos indiretamente ligados à representação das superfícies, mas necessários para resolver alguma questão.

O método utilizado demonstrou ser adequado para os objetivos do estudo. O uso das avaliações como fontes de dados sobre os equívocos cometidos pelos alunos, bem como o agrupamento dos erros em categorias, permitiu visualizar com maior clareza os pontos a serem reforçados tanto em relação aos conceitos gerais mais básicos da GD, quanto em pontos específicos de cada uma das superfícies estudadas na disciplina. A replicação do método em outros semestres permitiria, ainda, um acompanhamento contínuo das ações realizadas no âmbito da disciplina.

Como sugestões para trabalhos futuros, estão uma nova coleta de dados nas turmas presenciais para comparação com os resultados obtidos no período do ERE. Além disso, seria interessante procurar outras informações, como uma possível correlação entre os problemas identificados a partir do processo de análise empregado.

Referências

BRANOFF, T.; WIEBE, E.; SHREVE, M. How students use online instructional resources in a blended instruction introductory engineering graphics course. **Journal for Geometry and Graphics**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 213–223, 2011.

CATALAN SURFACE - ENCYCLOPEDIA OF MATHEMATICS. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: https://encyclopediaofmath.org/wiki/Catalan_surface. Acesso em: 3 out. 2022.

HELICOID - ENCYCLOPEDIA OF MATHEMATICS. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://encyclopediaofmath.org/wiki/Helicoid>. Acesso em: 3 out. 2022.

HOOD, G. J. *Geometry of engineering drawing: descriptive geometry by the direct method*. 3. eded. New York: McGraw-Hill, 1946.

LANZOTTI, A. et al. 'Federica's MOOC' (Massive Open Online Course): a blended course in engineering drawing at Federico II. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1115–1128, 2019.

LAWRENCE, S. **Developable Surfaces**: Their History and Application. *Nexus Network Journal*, [s. l.], v. 13, 2011.

OLMEDO-TORRE, N.; MARTÍNEZ, M. M. Detection of training deficiencies in the autonomous learning of graphic engineering students: A university teacher training experience based on competencies. **International Journal of Engineering Education**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 1592–1603, 2018.

ROVIDA, E. **Machines and Signs**: A History of the Drawing of Machines. [S. l.]: Springer Netherlands, 2012.

SANTOS, S. L. dos. **Interface interativa bidimensional em um software para o ensino de geometria descritiva**. [s. l.], 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/152710>. Acesso em: 30 set. 2022.

SURFACE - ENCYCLOPEDIA OF MATHEMATICS. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://encyclopediaofmath.org/wiki/Surface>. Acesso em: 3 out. 2022.

TEIXEIRA, F. G. et al. **HyperCAL GD**. Porto Alegre, Brasil: Grupo de Pesquisa ViD, 1999.

TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R. P. da. **Geometria Descritiva: Estudo de Superfícies**. 1999. Material didático (apostila).

TEIXEIRA, F.; SILVA, R.; SILVA, T. L. K. da. Modelagem paramétrica para o estudo de superfícies helicoidais em Geometria Descritiva. **Educação Gráfica**, [s. l.], v. 22, n. 02, p. 1–18, 2018.

TOLMEDO-TORRE, N.; MARTÍNEZ, M. M. Detection of training deficiencies in the autonomous learning of graphic engineering students: A university teacher training experience based on competencies. **International Journal of Engineering Education**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 1592–1603, 2018.

WANG, Y. et al. An investigation of effectiveness differences between in-class and online learning: an engineering drawing case study. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 89–98, 2019.

ZHANG, J et al. Research and Practice of the Mixed Teaching Mode for Engineering Graphics Based on MOOC. In: **ICGG 2018 - Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics**. Cham: Springer International Publishing, p. 1801–1809, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_161.