

Relatório do Projeto de Computação Gráfica - 2025/2026 - DI-FCUL

1. Identificação dos Alunos e Horas Despendidas

Grupo 06

Aluno	Número	Horas Dispendidas
Rodrigo Frutuoso	61865	27 horas
Simão Alexandre	61874	25 horas
Tiago Leite	61863	28 horas

Total do grupo: 80 horas

2. Descrição da Aplicação e Mecanismos de Interação

2.1 Visão Geral

A aplicação desenvolvida simula um veículo automóvel que pode circular livremente num ambiente 3D e entrar numa garagem. O projeto foi implementado em **Python** utilizando **OpenGL 2.1** através das bibliotecas **PyOpenGL** e **GLUT**.

2.2 Requisitos Principais Implementados

Veículo com Rodas Diferenciadas

- **Rodas traseiras:** Raio de 1.5 unidades, espessura de 0.6 unidades
- **Rodas dianteiras:** Raio de 1.2 unidades, espessura de 0.5 unidades (mais estreitas)
- Todas as rodas incluem **jantes detalhadas com 5 raios radiais**
- Material: Borracha preta (0.05, 0.05, 0.05)

Portas Interativas

- **2 portas laterais** (esquerda e direita) que abrem por interação do utilizador
- **Tecla Q:** Abre/fecha porta esquerda (rotação de 60°)
- **Tecla E:** Abre/fecha porta direita (rotação de 60°)
- Animação instantânea com rotação no eixo Y
- Pivot point preciso para rotação realista

Volante Funcional

- Volante modelado com **torus** (aro) e **3 raios radiais**
- **Rotação automática** baseada no ângulo de direção (steering) do carro
- Multiplicador visual de **3x** para efeito mais perceptível
- Posicionamento realista no lado esquerdo do condutor

Rotação das Rodas durante Movimento

- As **4 rodas giram automaticamente** quando o veículo se desloca
- Velocidade de rotação calculada com base na velocidade linear e raio da roda
- Fórmula: $\text{rot_speed} = (\text{vel} / (2\pi \times \text{raio})) \times 360^\circ$
- **Rodas dianteiras:** Incluem rotação de direção (steering) além da rotação de rolamento
- **Rodas traseiras:** Apenas rotação de rolamento

Garagem com Portão Interativo

- Garagem completa com **3 paredes laterais e teto**
- Portão animado que abre/fecha verticalmente
- **Tecla G:** Abre/fecha o portão da garagem (rotação de 90°)
- **Sistema de colisão:** Impede fechamento do portão quando o carro está a atravessar
- **Animação suave:** Movimento gradual a 20°/s
- Dimensões: 20×20 unidades (profundidade×largura)

Sistema de Iluminação Completo (6 Luzes)

Iluminação Diurna: - **GL_LIGHT0** (Sol - Luz Direcional): - Posição: (0.45, 0.9, 0.35, 0.0) - Cor: Branca (1.0, 1.0, 1.0) - Ambiente: Azulado suave (0.18, 0.18, 0.22)

- **GL_LIGHT1** (Luz da Garagem - Posicional):
 - Posição: (-25.0, 8.0, 0.0, 1.0)
 - Cor: Laranja/quente (1.0, 0.7, 0.4)
 - Especular: (0.8, 0.6, 0.3)
- **GL_LIGHT2 e GL_LIGHT3** (Postes de Rua):
 - Posições: (-7.0, 9.3, ±13.0)
 - Cor: Branco quente (1.0, 1.0, 0.9)
 - Atenuação: Constante=0.5, Linear=0.05, Quadrática=0.01

Iluminação Noturna (adicional): - **GL_LIGHT4 e GL_LIGHT5** (Faróis do Carro - Spotlight): - Cor: Amarelo quente (1.0, 1.0, 0.8) - Ângulo do cone: 40° - Atenuação: Constante=0.3, Linear=0.08, Quadrática=0.015 - Direção dinâmica: Acompanha rotação do carro

Sistema Dia/Noite

- **Tecla L:** Alterna entre modo dia e noite
- **Modo Dia:**
 - Céu azul claro (0.5, 0.7, 1.0)
 - Todas as luzes ativas exceto faróis
 - Ambiente normal (0.2, 0.2, 0.2)
- **Modo Noite:**
 - Céu escuro (0.05, 0.05, 0.15)
 - Apenas postes e faróis do carro ligados
 - Ambiente muito escuro (0.05, 0.05, 0.1)
 - Faróis com efeito emissivo

Cinco Materiais Diferentes

1. **Carroçaria** (Pintura Texturada):
 - Textura: Pintura.jpg
 - Base: Branco (1, 1, 1) para não alterar textura
2. **Rodas** (Borracha):
 - Cor: Preto mate (0.05, 0.05, 0.05)
 - Sem brilho especular
3. **Jantes** (Metal):
 - Aro: Cinza claro (0.7, 0.7, 0.7)
 - Centro: Cinza escuro (0.3, 0.3, 0.3)
 - Raios: Cinza médio (0.4, 0.4, 0.4)
4. **Vidro Frontal** (Transparente):
 - Cor: Azulado (0.7, 0.8, 0.9, 0.15)

- Material espectral: (0.3, 0.3, 0.3)
- Shininess: 20.0
- Alpha blending para transparência

5. Faróis:

- Corpo: Cinza escuro (0.2, 0.2, 0.2)
- Lente dianteira: Amarela brilhante com emissão no modo noite
- Lente traseira: Vermelha (1.0, 0.0, 0.0) com emissão no modo noite

Controlo da Câmara pelo Utilizador

Três modos de câmara (Tecla C para alternar):

1. Modo Livre (padrão):

- Setas ←/→: Rotação horizontal (-5°/+5°)
- Setas ↑/↓: Rotação vertical (-5°/+5°, limite: ±80°)
- Page Up/Down: Zoom in/out (distância: 5-200 unidades)
- Posição inicial: Distância 35, Ângulo H: 45°, Ângulo V: 20°

2. Modo 3ª Pessoa:

- Câmara segue o carro a **25 unidades** de distância
- Altura: **12 unidades** acima do carro
- Acompanha rotação e posição do veículo automaticamente
- Look-at aponta para o carro

3. Modo 1ª Pessoa:

- Câmara posicionada no interior do veículo (lado esquerdo do condutor)
- Visão para a frente na direção de movimento
- Simula perspectiva realista do condutor

Chão e Estrada Texturados

- **Chão:** Textura de mosaico (Mosaico_Chao.png)
 - Área: 200×200 unidades
 - Repetição: 50×50 tiles
 - Mapeamento com GL_REPEAT
- **Estrada:** Textura de asfalto (asphalt_clean.png)
 - Dimensões: De X=-29.5 até X=100, Z=±10
 - Ligeiramente elevada (y=0.02) para evitar z-fighting
 - Repetição adequada para continuidade visual

2.3 Requisitos Secundários Implementados

Movimento com Viragem Realista

- **Tecla W:** Acelerar para frente (velocidade máxima: 30 unidades/s)
- **Tecla S:** Recuar (velocidade máxima: 18 unidades/s, 60% da frontal)
- **Tecla A:** Virar à esquerda (máx: 35°)
- **Tecla D:** Virar à direita (máx: 35°)
- **Barra de Espaço:** Travão de mão (força: 15 unidades/s²)
- **Sistema físico:**
 - Aceleração: 2.0 unidades/s²
 - Fricção natural: 2.5 unidades/s² (quando sem input)
 - Modelo de Ackermann para viragem realista
 - Recentragem automática da direção (80°/s)

Volante Controlado pela Direção

- Rotação automática do volante baseada no steering angle
- Multiplicador de 3x para visibilidade
- Recentragem automática quando não há input de direção
- Sincronizado com rotação das rodas dianteiras

Câmera Segue o Veículo

- Modo 3ª pessoa com seguimento suave
- Atualização contínua da posição e rotação
- Distância e altura configuráveis

Câmera no Interior do Veículo

- Posição do condutor (lado esquerdo)
- Visão frontal na direção de movimento
- Offset lateral de -3 unidades para realismo
- Altura de 4 unidades (nível dos olhos)

Texturas Aplicadas (5 Texturas)

1. **Matrícula.png:** Matrículas frontal e traseira
2. **Pintura.jpg:** Carroçaria do carro
3. **Mosaico_Chao.png:** Chão/relva
4. **asphalt_clean.png:** Estrada
5. **tree_bark.png:** Tronco das árvores

Todas com: - Mipmaps automáticos (gluBuild2DMipmaps) - Filtros lineares para suavização - Mapeamento UV correto

Vidro Frontal Transparente

- Transparência com alpha blending ($\alpha = 0.15$)
- Tom azulado (0.7, 0.8, 0.9)
- Material com reflexos especulares (shininess: 20)
- Renderização bidirecional (sem face culling)
- Desabilitação temporária de depth write

Sistema de Colisão Completo

1. **Colisão com portão da garagem:**
 - Verifica posição da frente e traseira do carro
 - Impede entrada/saída quando portão fechado
 - Mensagem de erro quando tenta fechar com carro no meio
2. **Colisão com paredes da garagem:**
 - 3 paredes (2 laterais + 1 traseira)
 - Detecção AABB (Axis-Aligned Bounding Box)
 - Para o carro instantaneamente
3. **Colisão com obstáculos:**
 - Árvores (2): Raio de 5 unidades
 - Postes (2): Raio de 2.5 unidades
 - Detecção circular (distância euclidiana)
4. **Limites do mundo:**
 - Área delimitada: -100 a +100 em X e Z
 - Clamp automático de posição

Elementos de Cenário

1. Árvores (2 unidades):

- Tronco texturado (tree_bark.png)
- 2 cones verdes para folhagem
- Posições: (-15, 0, ±17)

2. Postes de Iluminação (2 unidades):

- Poste metálico cinza
- Braço horizontal
- Lâmpada esférica com material emissivo
- Luz posicional (GL_LIGHT2 e GL_LIGHT3)
- Posições: (-10, 0, ±13)

Faróis Funcionais

1. Faróis Dianteiros (2):

- Corpo: Cilindro cinza (raio: 0.7)
- Lente: Esfera amarela (raio: 0.6)
- Posições: (-6.0, 2.5, ±4.8)
- Iluminação: GL_LIGHT4 e GL_LIGHT5 (spotlight)
- Ligam automaticamente à noite

2. Faróis Traseiros (2):

- Corpo: Cilindro cinza (raio: 0.5)
- Lente: Esfera vermelha (raio: 0.45)
- Posições: (6.0, 2.5, ±4.8)
- Efeito emissivo vermelho à noite

Assentos no Interior

- **2 assentos** (condutor e passageiro)
- Compostos por:
 - Base (1.5×0.3×1.5)
 - Encosto (1.5×1.6×0.3)
 - Apoio de cabeça (1.0×0.5×0.3)
- Cor: Cinza escuro (0.2, 0.2, 0.2)
- Posições: (1.5, 3, ±3.0)

3. Descrição do Grafo de Cena

3.1 Estrutura do Grafo

O grafo de cena foi implementado através da classe **Node**, que permite criar uma hierarquia transformacional:

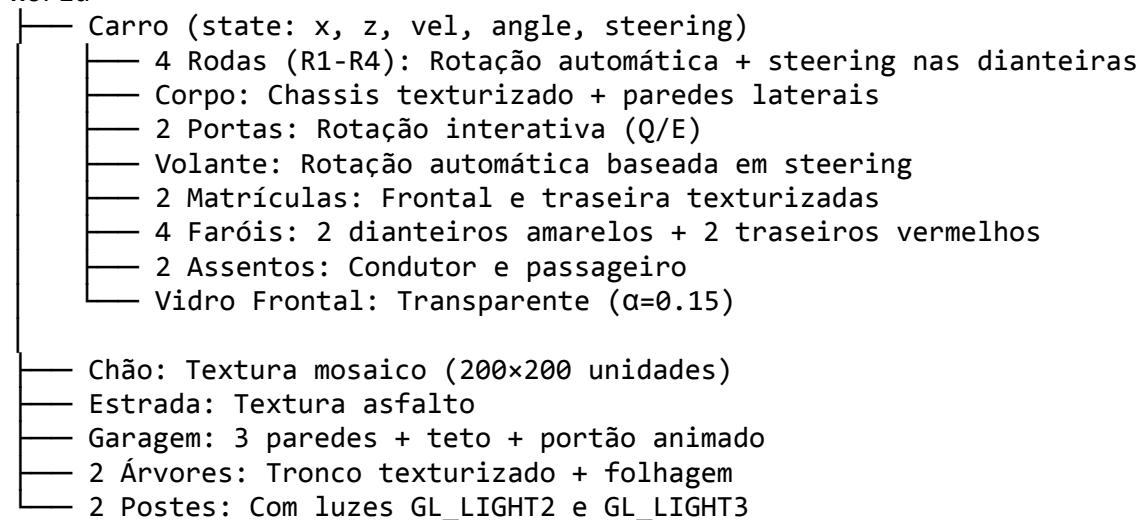
```
class Node:  
    - name: Identificador do nó  
    - geom: Função de geometria a desenhar  
    - transform: Função de transformação (translação, rotação, escala)  
    - updater: Função de atualização por frame  
    - state: Dicionário de estado (posição, ângulos, velocidade)  
    - children: Lista de nós filhos
```

Métodos principais: - `add(*kids)`: Adiciona filhos ao nó - `update(dt)`: Atualiza estado e propaga para filhos - `draw()`: Renderiza geometria e filhos (com `glPush/PopMatrix`)

3.2 Hierarquia Simplificada

Estrutura principal do grafo de cena:

World



Componentes das geometrias principais: - **Rodas:** Cilindro (pneu) + jantes com 5 raios radiais - **Volante:** Torus (aro) + esfera central + 3 raios - **Faróis:** Cilindro (corpo) + esfera (lente) com emissão noturna - **Garagem:** Portão com animação gradual (20°/s)

4. Screenshots Principais ([Pasta com Screenshots](#))

Screenshot 1: Vista Geral - Modo Dia

- Veículo, garagem, estrada texturizada, árvores e postes
- Iluminação diurna completa (sol + luz garagem + postes)
- Céu azul, chão com textura mosaico

Screenshot 2: Modo Noite com Faróis

- Faróis dianteiros amarelos e traseiros vermelhos acesos
- Cones de luz visíveis (spotlight 40°)
- Postes de rua iluminando, ambiente escuro

Screenshot 3: Portas Abertas e Interior

- Portas laterais abertas (60°) - teclas Q/E
- Interior visível: volante, assentos, vidro transparente

Screenshot 4: Câmara 1ª Pessoa

- Vista do condutor, volante rotacionável
- Vidro frontal transparente ($\alpha=0.15$)

Screenshot 5: Câmara 3ª Pessoa

- Seguimento do veículo (dist: 25, altura: 12)
- Rodas em movimento, matrículas visíveis

Screenshot 6: Garagem com Portão Aberto

- Veículo entrando, portão animado (90°)
- Sistema de colisão ativo, iluminação interna

5. Link para o Código Fonte

Repositório GitHub: <https://github.com/SimaoAlexandre/Computacao-Grafica>

Estrutura do projeto:

```
/  
  └── PrCG.py          # Código principal (1230 linhas)  
  └── Matrícula.png    # Textura da matrícula  
  └── Mosaico_Chao.png # Textura do chão  
  └── Pintura.jpg      # Textura da carroçaria  
  └── asphalt_clean.png # Textura da estrada  
  └── tree_bark.png    # Textura do tronco das árvores  
  └── RELATORIO.md     # Este relatório  
  └── README.md        # Instruções de execução
```

Dependências:

- Python 3.x
- PyOpenGL
- PyOpenGL-accelerate
- Pillow (PIL)
- FreeGLUT

6. Implementação Técnica

6.1 Física do Veículo

- **Modelo de Ackermann:** Wheelbase 10 unidades, steering máx $\pm 35^\circ$
- **Velocidades:** Frente 30 u/s, Ré 18 u/s
- **Aceleração:** 2.0 u/s², Fricção: 2.5 u/s², Travagem: 15.0 u/s²
- **Rotação das rodas:** $\omega = \text{vel} / (2\pi r)$ com raios específicos

6.2 Sistema de Iluminação

- **6 Luzes OpenGL** com atualização dinâmica
- **Faróis:** Posicionamento calculado com vetores forward/right
- **Spotlight:** Direção atualizada continuamente, cone 40°
- **Dia/Noite:** Luzes alternadas, ambiente e céu ajustados

6.3 Texturas e Transparências

- **5 Texturas** com mipmaps (gluBuild2DMipmaps)
- **Wrapping:** GL_REPEAT (chão/estrada), GL_CLAMP_TO_EDGE (matrícula)
- **Vidro:** Alpha blending ($\alpha=0.15$), glDepthMask(GL_FALSE), face culling desabilitado

6.4 Sistema de Colisões

- **Portão:** AABB + verificação de estado, impede fechamento com carro no meio
- **Paredes:** AABB com 3 paredes da garagem
- **Obstáculos:** Detecção circular para árvores (raio 5) e postes (raio 2.5)
- **Limites:** Mundo delimitado a [-100, 100] em X e Z

6.5 Controlo e Câmara

- **Input contínuo:** Conjunto keys_pressed, processamento em cada frame
- **3 Modos de câmara:** Livre (setas + Page Up/Down), 3^a pessoa (seguimento), 1^a pessoa (interior)
- **Delta time:** Movimento independente de FPS (~60 FPS)

7. Conclusões

7.1 Objetivos Alcançados

Todos os requisitos principais e maioria dos secundários implementados Sistema de cena hierárquico robusto (classe Node) Animações suaves com física realista (Ackermann steering) Sistema de iluminação complexo (6 luzes + dia/noite) Transparências e 5 texturas corretamente aplicadas Sistema de colisão completo (portão, paredes, obstáculos)

7.2 Dificuldades e Soluções

- **Transparências:** Resolvido com ordenação de renderização + glDepthMask
- **Faróis dinâmicos:** Cálculo com vetores forward/right do carro
- **Colisão com portão:** Verificação de posição frente e traseira
- **Rotação das rodas:** Fórmula correta $\omega = v/(2\pi r)$ com raios específicos

7.3 Melhorias Futuras

- Sombras projetadas (shadow mapping)
- Mais veículos, sistema de partículas
- HUD com velocímetro
- Luzes de travão e indicadores de direção

8. Referências

- OpenGL 2.1 Reference
- PyOpenGL Documentation
- Aulas de Computação Gráfica (DI-FCUL)
- Ackermann Steering