

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

DIEGO VASCONCELOS SCHARDOSIM DE MATOS

Simulação Física Simplificada em Web

RIO DE JANEIRO  
2025

DIEGO VASCONCELOS SCHARDOSIM DE MATOS

Simulação Física Simplificada em Web

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado ao Instituto de Computação da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro como  
parte dos requisitos para obtenção do grau de  
Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Cláudio Esperança

Co-orientador:

RIO DE JANEIRO

2025

### CIP - Catalogação na Publicação

R484t      Ribeiro, Tatiana de Sousa  
              Titulo / Tatiana de Sousa Ribeiro. -- Rio de  
              Janeiro, 2018.  
              44 f.

              Orientador: Maria da Silva.  
              Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Matemática, Bacharel em Ciência da Computação,  
2018.

              1. Assunto 1. 2. Assunto 2. I. Silva, Maria da,  
orient. II. Titulo.

DIEGO VASCONCELOS SCHARDOSIM DE MATOS

Simulação Física Simplificada em Web

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado ao Instituto de Computação da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro como  
parte dos requisitos para obtenção do grau de  
Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA:

---

Cláudio Esperança  
Titulação (Instituição)

---

Nome do Professor1  
Titulação (Instituição)

---

Nome do Professor2  
Titulação (Instituição)

Epígrafe: É um item onde o autor apresenta a citação de um texto que seja relacionado com o tema do trabalho, seguido da indicação de autoria do mesmo.  
(texto iniciando do meio da página alinhado à direita)

*"Few are those who see with their  
own eyes and feel with their own hearts."*

**Albert Einstein**  
(Nome do autor da epígrafe)

## RESUMO

Resumo em português. O texto deve ser digitado ou datilografado em um só parágrafo com **espaçamento simples** e conter de **150 a 500** palavras. Utilizar a terceira pessoa do singular, os verbos na voz ativa e evitar o uso de símbolos e contrações que não sejam de uso corrente. O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão **Palavras-chave:**, separadas por ponto e vírgula (;) e finalizadas por ponto. Devem ser grafadas com as iniciais em letra minúscula, com exceção dos substantivos próprios e nomes científicos.

**Palavras-chave:** computação gráfica, simulação física, web.

## ABSTRACT

Abstract in english. The text should be typed in a single paragraph with **single spacing** and contain between 150 and 500 words. Use the third person singular, the verbs in the active voice and avoid the use of symbols and contractions that are not of current use. The keywords must appear right below the abstract, preceded by the expression **Keywords:**, separated by a semicolon (;) and ending with a period. They must be written with the initials in lowercase, with the exception of proper nouns and scientific names.

**Keywords:** artificial intelligence; cryptography; data mining; Sociedade Brasileira de Computação; neural network.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>PROJEÇÃO DE POSIÇÃO PELO MÉTODO JAKOBSEN .</b>	<b>9</b>
2.1	INTEGRAÇÃO VERLET . . . . .	9
<b>3</b>	<b>SOLUÇÃO DE RESTRIÇÕES POR RELAXAMENTO . . . .</b>	<b>10</b>
3.1	RESTRIÇÃO LINEAR . . . . .	10
3.2	RESTRIÇÃO ANGULAR . . . . .	10
3.3	RESOLVENDO MÚLTIPLAS RESTRIÇÕES CONCORRENTES POR RELAXAMENTO . . . . .	10
3.4	SIMULAÇÃO DE TECIDOS . . . . .	10
<b>4</b>	<b>MODELANDO CORPOS . . . . .</b>	<b>11</b>
4.1	CORPOS RÍGIDOS . . . . .	11
4.2	CORPOS DEFORMÁVEIS . . . . .	11
4.3	CORPOS ARTICULADOS . . . . .	11
<b>5</b>	<b>O FECHO CONVEXO . . . . .</b>	<b>12</b>
5.1	CAIXA DELIMITADORA ALINHADA AO EIXO (AABB) . . . . .	12
5.2	QUICKHULL . . . . .	12
<b>6</b>	<b>DETECÇÃO E RESPOSTA DE COLISÕES . . . . .</b>	<b>13</b>
6.1	POLÍGONOS CONVEXOS . . . . .	13
6.1.1	Teorema do Eixo Separador (SAT) . . . . .	13
6.1.2	Algoritmo Gilbert–Johnson–Keerthi (GJK) . . . . .	13
6.1.3	Resposta a colisão . . . . .	13
6.2	POLÍGONOS CÔNCAVOS . . . . .	13
6.3	TRATANDO CASOS DEGENERADOS . . . . .	13
<b>7</b>	<b>OTIMIZAÇÕES . . . . .</b>	<b>14</b>
7.1	BROAD PHASE E NARROW PHASE . . . . .	14
7.2	DIVISÃO ESPACIAL EM GRADE UNIFORME . . . . .	14
7.2.1	Uso na Broad Phase . . . . .	14
7.3	SEPARANDO SIMULAÇÃO DA THREAD PRINCIPAL . . . . .	14
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>15</b>



REFERÊNCIAS . . . . .	16
-----------------------	----

## 1 INTRODUÇÃO

## 2 PROJEÇÃO DE POSIÇÃO PELO MÉTODO JAKOBSEN

### 2.1 INTEGRAÇÃO VERLET

### **3 SOLUÇÃO DE RESTRIÇÕES POR RELAXAMENTO**

#### **3.1 RESTRIÇÃO LINEAR**

#### **3.2 RESTRIÇÃO ANGULAR**

#### **3.3 RESOLVENDO MÚLTIPLAS RESTRIÇÕES CONCORRENTES POR RELAXAMENTO**

#### **3.4 SIMULAÇÃO DE TECIDOS**

## 4 MODELANDO CORPOS

### 4.1 CORPOS RÍGIDOS

### 4.2 CORPOS DEFORMÁVEIS

### 4.3 CORPOS ARTICULADOS

## 5 O FECHO CONVEXO

### 5.1 CAIXA DELIMITADORA ALINHADA AO EIXO (AABB)

### 5.2 QUICKHULL

## **6 DETECÇÃO E RESPOSTA DE COLISÕES**

### **6.1 POLÍGONOS CONVEXOS**

#### **6.1.1 Teorema do Eixo Separador (SAT)**

#### **6.1.2 Algoritmo Gilbert–Johnson–Keerthi (GJK)**

#### **6.1.3 Resposta a colisão**

### **6.2 POLÍGONOS CÔNCAVOS**

### **6.3 TRATANDO CASOS DEGENERADOS**

## 7 OTIMIZAÇÕES

### 7.1 BROAD PHASE E NARROW PHASE

### 7.2 DIVISÃO ESPACIAL EM GRADE UNIFORME

#### 7.2.1 Uso na Broad Phase

### 7.3 SEPARANDO SIMULAÇÃO DA THREAD PRINCIPAL



## 8 CONCLUSÕES

## REFERÊNCIAS