

# Métodos de determinação de velocidade das reações químicas: teoria e prática



Universidade Estadual do  
Sudoeste da Bahia

SECRETARIA DA  
EDUCAÇÃO

**BAHIA**  
GOVERNO DO ESTADO

### **Reitor**

Prof. Dr. Paulo Roberto Pinto Santos

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Fábio Félix Ferreira

### **Pró-Reitora de Extensão e Assuntos Comunitários**

Prof<sup>ra</sup>. Me. Maria Madalena Souza dos Anjos Neta

### **Diretora da Edições Uesb**

Maria Dalva Rosa Silva

### **Editor**

Jacinto Braz David Filho

### **Coordenador Administrativo**

Romildo Pereira Chaves

### **COMITÊ EDITORIAL**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Almiralva Ferraz Gomes (DCSA/VC)

Prof. Me. Cândido Requião Ferreira (DQE/Jequié)

Prof. Dr. César Augusto Casotti (DS/Jequié)

Prof. Dr. Cláudio Lúcio Fernandes Amaral (DCB/Jequié)

Adm. Jacinto Braz David Filho (Edições UESB/VC)

Prof. Dr. Joaquim Perfeito da Silva (DFCH/VC)

Prof. Me. Jorge Luiz Santos Fernandes (DCSA/VC)

Prof<sup>a</sup>. Me. Lídia Nunes Cunha (DH/VC)

Prof<sup>a</sup>. Esp. Maria Dalva Rosa Silva (Edições UESB/VC)

Prof<sup>a</sup>. Me. Maria Madalena Souza dos Anjos Neta (PROEX/VC)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto (DEAS/VC)

### **PRODUÇÃO EDITORIAL**

### **Capa**

Warley Souza dos Reis

*Ilustração obtida do site:*

*[http : //upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Savante\\_Arrhenius\\_01.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Savante_Arrhenius_01.jpg)*

### **Editoração Eletrônica**

Marcel Francisco Figueredo Barbosa

### **Revisão de Linguagem**

Luciana Moreira Pires Flôres

Yuri Chaves Souza Lima



Impresso na tipografia Computer Modern 11/15/papel Offset Imune 90g/m<sup>2</sup>

Em março de 2015.

Jaime de Souza Júnior

**Métodos de determinação de velocidade das reações  
químicas: teoria e prática**



**Vitória da Conquista - Bahia  
2015**

Copyright ©2015 by Autor.

Todos os direitos desta edição são reservados a Edições Uesb.  
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação de direitos autorais (Lei 9.610/98)

---

S715c      Souza Júnior, Jaime de.  
                Métodos de determinação de velocidade das reações químicas: teoria e prática /  
                Jaime de Souza Júnior. – Vitória da Conquista: Edições UESB, 2015.  
                159p.

ISBN:978-85-7985-084-4

1. Cinética química. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. II.T.

CDD: 541.3

---

Elinei Carvalho Santana – CRB 5/1026. Bibliotecária – UESB – Campus de Vitória da Conquista.



Campus Universitário – Caixa Postal 95 – Fone/fax: 77 3424-8716  
Estrada do Bem-Querer, s/n – Módulo da Biblioteca, 1º andar  
45031-900 – Vitória da Conquista-BA

[www.uesb.br/editora](http://www.uesb.br/editora) - [editorauesb@yahoo.com.br](mailto:editorauesb@yahoo.com.br)

Dedico este livro aos meus queridos pais –  
Jayme de Souza (in memoriam) e  
Stella Caligari de Souza –,  
ao meu amigo e irmão Marcos Vieira.



## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

Aos alunos dos cursos de licenciatura e de bacharelado em Química da UESB: Vinicius Nunes dos Santos, Daniel Forêncio Filho, Pedro Kaynnan Costa, Lucas Oliveira Santos, Fernanda Cearli Santana Costa dos Santos, Otoniel Pereira da Rocha Filho e Herick Macedo Santos.

A minha ex-orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Helena de Almeida Santos, do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP), pelo auxílio na construção da minha vida acadêmica.



# SUMÁRIO

|          |                                                                            |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                                          | <b>13</b> |
| 1.1      | Cinética Química . . . . .                                                 | 13        |
| 1.1.1    | Estequiometria . . . . .                                                   | 14        |
| 1.1.2    | Molecularidade . . . . .                                                   | 15        |
| 1.1.3    | Reações monomoleculares . . . . .                                          | 16        |
| 1.1.4    | Reações bimoleculares . . . . .                                            | 16        |
| 1.1.5    | Reações trimoleculares . . . . .                                           | 17        |
|          | Exercícios . . . . .                                                       | 18        |
| <b>2</b> | <b>Leis Fundamentais de Velocidade</b>                                     | <b>19</b> |
| 2.1      | Velocidade de Reação . . . . .                                             | 19        |
| 2.2      | Ordem de Reação . . . . .                                                  | 22        |
| 2.3      | Constante de Velocidade . . . . .                                          | 25        |
| 2.4      | Reação de Ordem Zero . . . . .                                             | 25        |
| 2.5      | Equação de Velocidade de Primeira Ordem Integrada . . . . .                | 26        |
| 2.6      | Determinação de Constantes de Velocidade de Primeira Ordem                 | 28        |
| 2.7      | Equação de Velocidade de Segunda Ordem Integrada . . . . .                 | 30        |
| 2.8      | Determinação de Constantes de Velocidade de Segunda Ordem                  | 31        |
| 2.9      | Equação de Velocidade de Terceira Ordem Integrada . . . . .                | 34        |
|          | Exercícios . . . . .                                                       | 37        |
| <b>3</b> | <b>Métodos Experimentais para Determinação de<br/>Velocidade de Reação</b> | <b>41</b> |
| 3.1      | Métodos Diferenciais . . . . .                                             | 41        |
| 3.1.1    | O método da velocidade inicial . . . . .                                   | 41        |
| 3.2      | Métodos de Integração . . . . .                                            | 43        |
| 3.2.1    | Métodos de extração de amostras . . . . .                                  | 43        |
| 3.2.2    | Métodos contínuos . . . . .                                                | 45        |
| 3.3      | Reações em Fase Gasosa . . . . .                                           | 49        |
|          | Exercícios . . . . .                                                       | 52        |

|          |                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>Dependência da Velocidade com a Temperatura</b>        | <b>55</b> |
| 4.1      | Os Parâmetros de Arrhenius . . . . .                      | 55        |
| 4.2      | Energia de Ativação . . . . .                             | 58        |
|          | Exercícios . . . . .                                      | 61        |
| <b>5</b> | <b>Teorias da Velocidade de Reação</b>                    | <b>65</b> |
| 5.1      | Teoria de Colisão . . . . .                               | 65        |
| 5.2      | Formulação Termodinâmica da Equação de Velocidade . . . . | 70        |
| 5.3      | Entropia de Ativação . . . . .                            | 72        |
|          | Exercícios . . . . .                                      | 75        |
| <b>6</b> | <b>Teorias de Reações Monomoleculares</b>                 | <b>77</b> |
| 6.1      | Teoria de Lindemann . . . . .                             | 77        |
| 6.2      | Teoria de Hinshelwood . . . . .                           | 82        |
|          | Exercícios . . . . .                                      | 84        |
| <b>7</b> | <b>Catálise</b>                                           | <b>85</b> |
| 7.1      | Catálise Homogênea . . . . .                              | 86        |
| 7.2      | Reações em Fase Gasosa . . . . .                          | 86        |
| 7.3      | Catálise Ácido-Base . . . . .                             | 87        |
| 7.4      | Catálise Ácido-Base Específica . . . . .                  | 87        |
| 7.5      | Catálise Geral Ácido-Base . . . . .                       | 88        |
| 7.6      | Relação Catalítica de Brönsted . . . . .                  | 89        |
| 7.7      | Catálise Heterogênea . . . . .                            | 90        |
|          | 7.7.1 Decomposições orgânicas . . . . .                   | 90        |
|          | 7.7.2 Hidratação de hidrocarbonetos insaturados . . . . . | 91        |
|          | 7.7.3 Desidrogenação . . . . .                            | 91        |
|          | 7.7.4 Adição de cloreto de hidrogênio . . . . .           | 91        |
| 7.8      | Isoterma de Adsorção de Langmuir . . . . .                | 91        |
|          | 7.8.1 Reagentes fracamente adsorvidos . . . . .           | 93        |
|          | 7.8.2 Reagentes moderadamente adsorvidos . . . . .        | 94        |
|          | 7.8.3 Reagentes fortemente adsorvidos . . . . .           | 94        |
| 7.9      | Catálise Enzimática . . . . .                             | 96        |
|          | Exercícios . . . . .                                      | 100       |

|           |                                                                                                                       |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8</b>  | <b>Processos com Intervenção de Átomos e Radicais Livres</b>                                                          | <b>103</b> |
| 8.1       | Tipos de Reações Complexas . . . . .                                                                                  | 103        |
| 8.1.1     | Processos não em cadeia . . . . .                                                                                     | 103        |
| 8.1.2     | Processo em cadeia linear . . . . .                                                                                   | 104        |
| 8.1.3     | Processos em cadeia ramificada . . . . .                                                                              | 104        |
| 8.1.4     | Aproximação de estado estacionário . . . . .                                                                          | 105        |
| 8.2       | Reação Hidrogênio-Bromo . . . . .                                                                                     | 105        |
| 8.3       | Decomposição Térmica do Acetaldeído . . . . .                                                                         | 107        |
| 8.4       | Energia de Ativação . . . . .                                                                                         | 109        |
| 8.5       | Polimerização por Adição . . . . .                                                                                    | 110        |
| 8.6       | Cinética de Reações em Cadeia Ramificada . . . . .                                                                    | 113        |
|           | Exercícios . . . . .                                                                                                  | 115        |
| <b>9</b>  | <b>Reações em Solução</b>                                                                                             | <b>117</b> |
| 9.1       | Comparação das Reações em Solução com as Reações em Fase Gasosa . . . . .                                             | 117        |
| 9.2       | Teoria do Estado de Transição para Reações em Fase Líquida                                                            | 118        |
| 9.3       | Reações em que Intervêm Íons . . . . .                                                                                | 119        |
| 9.3.1     | A natureza do solvente . . . . .                                                                                      | 119        |
| 9.3.2     | A natureza dos íons . . . . .                                                                                         | 122        |
| 9.3.3     | Força iônica da solução . . . . .                                                                                     | 123        |
| 9.4       | Efeito da Pressão nas Velocidades de Reação . . . . .                                                                 | 127        |
|           | Exercícios . . . . .                                                                                                  | 129        |
| <b>10</b> | <b>Práticas de Laboratório</b>                                                                                        | <b>131</b> |
| 10.1      | Prática 1: Fatores que afetam a Velocidade de uma Reação .                                                            | 131        |
| 10.1.1    | Materias e reagentes . . . . .                                                                                        | 132        |
| 10.1.2    | Procedimento experimental . . . . .                                                                                   | 132        |
| 10.2      | Prática 2: Efeito da Temperatura sobre a Velocidade de Reação                                                         | 133        |
| 10.2.1    | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                       | 133        |
| 10.2.2    | Procedimento experimental . . . . .                                                                                   | 134        |
| 10.3      | Prática 3: Presença da Catalase na Batata e Reação entre o Ácido Oxálico e o Permanganato com o uso de um Catalisador | 134        |
| 10.3.1    | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                       | 134        |
| 10.3.2    | Procedimento experimental . . . . .                                                                                   | 135        |

|         |                                                                                                                                      |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.4    | Prática 4: Efeito da Concentração dos Reagentes sobre a Velocidade da Reação . . . . .                                               | 136 |
| 10.4.1  | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                                      | 136 |
| 10.4.2  | Procedimento experimental . . . . .                                                                                                  | 136 |
| 10.5    | Prática 5: Efeito da Concentração sobre a Velocidade da Reação entre o Tiosulfato de Sódio e o Ácido Clorídrico . . .                | 137 |
| 10.5.1  | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                                      | 138 |
| 10.5.2  | Procedimento experimental . . . . .                                                                                                  | 138 |
| 10.5.3  | Interpretação dos resultados . . . . .                                                                                               | 139 |
| 10.6    | Prática 6: Relógio de Iodo (I) . . . . .                                                                                             | 140 |
| 10.6.1  | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                                      | 141 |
| 10.6.2  | Procedimento experimental . . . . .                                                                                                  | 141 |
| 10.7    | Prática 7: Relógio de Iodo (II) . . . . .                                                                                            | 142 |
| 10.7.1  | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                                      | 143 |
| 10.7.2  | Procedimento experimental . . . . .                                                                                                  | 143 |
| 10.8    | Prática 8: Preparo, Etiquetagem e Armazenamento de Soluções (Etapa 1) . . . . .                                                      | 144 |
| 10.8.1  | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                                      | 144 |
| 10.8.2  | Procedimentos experimentais . . . . .                                                                                                | 145 |
| 10.9    | Prática 9: Medir a Velocidade de Oxidação do Íon Iodeto ( $I^-$ ) pelo Íon Persulfato ( $S_2O_8$ ) <sup>2-</sup> (Etapa 2) . . . . . | 146 |
| 10.9.1  | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                                      | 147 |
| 10.9.2  | Procedimento experimental . . . . .                                                                                                  | 147 |
| 10.10   | PRÁTICA 10: ESTUDO DA CATÁLISE: DECOMPOSIÇÃO CATALÍTICA DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO . . . . .                                          | 148 |
| 10.10.1 | Materiais e reagentes . . . . .                                                                                                      | 149 |
| 10.10.2 | Procedimento experimental . . . . .                                                                                                  | 149 |

|                    |            |
|--------------------|------------|
| <b>Referências</b> | <b>151</b> |
|--------------------|------------|

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| <b>Anexo I - Tabela de Constantes Físicas</b> | <b>153</b> |
|-----------------------------------------------|------------|

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| <b>Anexo II - Respostas aos Problemas</b> | <b>155</b> |
|-------------------------------------------|------------|