CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

VINICIUS BOCCI VICENTE

PROPRIEDADES VOLUMÉTRICAS DE SOLUÇÕES LIQUÍDAS BINÁRIAS CONTENDO GLICEROL + ÁLCOOIS A DIFERENTES TEMPERATURAS E À PRESSÃO ATMOSFÉRICA

São Bernardo do Campo
2014

VINICIUS BOCCI VICENTE

PROPRIEDADES VOLUMÉTRICAS DE SOLUÇÕES LIQUÍDAS BINÁRIAS CONTENDO GLICEROL + ÁLCOOIS A DIFERENTES TEMPERATURAS E À PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro Universitário da FEI, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, orientada pelo Prof. Dr. Ricardo Belchior Torres

São Bernardo do Campo
2014

Vicente, Vinicius Bocci.
Propriedades volumétricas de soluções liquídas binárias contendo glicerol + álcoois a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica / Vinicius Bocci Vicente. São Bernardo do Campo, 2015.
126 f. : il.

Dissertação - Centro Universitário da FEI.
Orientador: Prof. Dr. Ricardo Belchior Torres.

1. Densidade. 2. Propriedades volumétricas. I. Torres, Ricardo Belchior, orient. II. Título.

CDU 66.0

Centro Universitário da **FEI**

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
ATA DA BANCA JULGADORA

PGM-10

Programa de Mestrado de Engenharia Mecânica

Aluno: Vinicius Bocci Vicente **Matrícula:** 212125-9

Título do Trabalho: Propriedades volumétricas de soluções líquidas binárias contendo glicerol + álcoois a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.

Área de Concentração: Sistemas da Mobilidade

ORIGINAL ASSINADA

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Belchior Torres

Data da realização da defesa: 01/10/2014

A Banca Julgadora abaixo-assinada atribuiu ao aluno o seguinte:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

São Bernardo do Campo, 01 de Outubro de 2014.

MEMBROS DA BANCA JULGADORA

Prof. Dr. Ricardo Belchior Torres

Ass.: _____

Prof. Dr. Cyro Albuquerque Neto

Ass.: _____

Prof. Dr. Ricardo Hauch Ribeiro de Castro

Ass.: _____

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

ENDOSSO DO ORIENTADOR APÓS A INCLUSÃO DAS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

_____

Prof. Dr. Agenor de Toledo Fleury

A Deus e a minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus queridos pais e avós pela criação e por terem permitido que eu atingisse meus objetivos.

Aos meus amigos e companheiros pela força, dedicação e as horas de estudos que passamos juntos.

Ao meu professor orientador e amigo Ricardo Belchior Torres.

A todos os funcionários do Laboratório de Química pela orientação e apoio a minhas atividades.

RESUMO

Neste estudo foram obtidos dados experimentais de densidades de soluções líquidas binárias de glicerol + metanol, ou + etanol, ou + 1-propanol, ou + 2-propanol ou + 1-butanol, em toda faixa de composição, à pressão atmosférica e nas temperaturas de 288,15 K, 293,15 K, 298,15 K, 303,15 K e 308,15 K. As densidades foram determinadas usando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 4500). Os resultados experimentais foram usados para calcular o volume molar excesso (V_m^E) dos sistemas estudados, os quais foram correlacionados através de um polinômio de Redlich-Kister. Os valores do volume molar excesso foram todos negativos em toda faixa de composição, para todos os sistemas estudados, e aumentaram com o aumento da temperatura e da cadeia carbônica. Os valores do volume molar excesso foram ainda usados para calcular as seguintes grandezas volumétricas: volumes parciais molares, volumes molares aparentes, volumes parciais molares excesso e os volumes parciais molares e volumes parciais molares excesso à diluição infinita.

Palavras-chave: Densidade. Propriedades volumétricas. Glicerol. Álcoois. Redlich-Kister.

ABSTRACT

In the present work, experimental data of density of liquid binary mixtures of glycerol + methanol, or + ethanol, or + 1-pronanol, + or +2-propanol, or + 1-butanol, were determined over the entire composition range, at atmospheric pressure and at temperatures of 288.15 K, 293.15 K, 298.15 K, 303.15 K and 308.15 K. The densities were determined using a mechanical oscillation densimeter manufactured by Anton Paar (Model 4500 DMA). The experimental results were used to calculate the excess molar volume (V_m^E) of the studied systems which were correlated using a Redlich-Kister polynomial. The values of the excess molar volume were negative for all systems studied and increased with increasing temperature and carbon chain. The values of excess molar volume were also used to calculate the following volumetric quantities: partial molar volumes, apparent molar volumes, excess partial molar volumes, and partial molar volumes and excess partial molar volumes at infinite dilution

Keywords: Density. Volumetric properties. Glicerol. Álcoois. Redlich-Kister.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Tubo oscilador do Densímetro DMA 4500 – Fabricante Anton Paar.....41
FIGURA 2 – Densímetro de oscilação mecânica Anton Paar – Modelo DMA 4500.....42
FIGURA 3 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....47
FIGURA 4 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....47
FIGURA 5 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....48
FIGURA 6 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2 -propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....48
FIGURA 7 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1 -butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....49
FIGURA 8 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.....49
FIGURA 9 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....50
FIGURA 10 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão.....51
FIGURA 11 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....51
FIGURA 12 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....52
FIGURA 13 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1)1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....52
FIGURA 14 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.....53
FIGURA 15 – Comparação do volume molar excesso em função da fração molar do glicerol, para os sistemas {x_1 glicerol + (1 – x_1) álcoois}: 1-Propanol: ○, 298,15 Li, Su e Wang (2007); ○, 298,15 Autor; □, 303,15 K Li, Su e Wang (2007); □, 303,15 K Autor; ◇, 308,15 K Li, Su e Wang (2007); ◇, 308,15 K Autor. 2-Propanol: ✚, 298,15 K Li, Su e Wang (2007); ✚, 298,15

K Autor; Δ, 303,15 K Li, Su e Wang (2007); Δ, 303,15 K Autor; ∇, 308,15 K Li, Sue Wang (2007); ∇, 308,15 K Autor.....53
FIGURA 16 – Volume molar excesso em função da temperatura a x = 0,5.....54
FIGURA B1 - Volume parcial molar do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....97
FIGURA B2 - Volume parcial molar do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....97
FIGURA B3 - Volume parcial molar do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....98
FIGURA B4 - Volume parcial molar do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....98
FIGURA B5 - Volume parcial molar do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....99
FIGURA B6 - Volume parcial molar do metanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....99
FIGURA B7 - Volume parcial molar do etanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....100
FIGURA B8 - Volume Parcial molar do 1-propanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....100
FIGURA B9 - Volume parcial molar do 2-propanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....101
FIGURA B10 - Volume parcial molar do 1-butanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....101
FIGURA B11 - Volume parcial molar excesso do metanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica..102
FIGURA B12 - Volume parcial molar excesso do etanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....102
FIGURA B13 - Volume parcial molar excesso do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....103
FIGURA B14 - Volume parcial molar excesso do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....103

FIGURA B15 - Volume parcial molar excesso do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.104
FIGURA B16 - Volume parcial molar excesso do metanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica..104
FIGURA B17 - Volume parcial molar excesso do etanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....105
FIGURA B18 - Volume parcial molar excesso do 1-propanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....105
FIGURA B19 - Volume parcial molar excesso do 2-propano, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....106
FIGURA B20 - Volume parcial molar excesso do 1-butanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....106
FIGURA B21 - Volume molar aparente do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....107
FIGURA B22 - Volume molar aparente do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....107
FIGURA B23 - Volume molar aparente do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....108
FIGURA B24 - Volume molar aparente do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....108
FIGURA B25 - Volume molar aparente do glicerol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....109
FIGURA B26 - Volume molar aparente do metanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....109
FIGURA B27 - Volume molar aparente do etanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....110
FIGURA B28 - Volume molar aparente do 1-propanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....110

FIGURA B29 - Volume molar aparente do 2-propanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pres atmosférica.....111
FIGURA B30 - Volume molar aparente do 1-butanol, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.....111

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Estrutura dos componentes usados no presente estudo.....20
TABELA 2 - Propriedades Físicas dos diferentes solventes usados no presente estudo..... 20
TABELA 3 – Características dos Componentes Puros.....37
TABELA 4 - Valores de densidade dos componentes puros a diferentes temperaturas.....38
TABELA 5 – Valores calculados da incerteza do volume molar excesso para as diferentes composições e temperaturas.....45
TABELA 6 - Coeficiente A_j ajustados pela equação 48 e os desvios padrões, σ, calculados pela equação 49.....46
TABELA 7 - Volume parcial molar e volume parcial molar excesso á diluição infinita do componente 1.....54
TABELA 8 - Volume parcial molar e volume parcial molar excesso á diluição infinita do componente 2.....55
TABELA A1 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.....71
TABELA A2 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.....72
TABELA A3 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.....73
TABELA A4 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.....74
TABELA A5 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.....75
TABELA A6 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.....76

TABELA A7 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.....77
TABELA A8 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.....78
TABELA A9 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.....79
TABELA A10 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.....80
TABELA A11 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.....81
TABELA A12 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.....82
TABELA A13 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.....83
TABELA A14 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.....84
TABELA A15 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.....85
TABELA A16 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.....86
TABELA A17 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.....87

TABELA A18 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.....88
TABELA A19 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.....89
TABELA A20 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.....90
TABELA A21 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.....91
TABELA A22 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.....92
TABELA A23 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.....93
TABELA A24 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.....94
TABELA A25 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x1 glicerol + (1 – x1) 1-butanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.....95
TABELA C1 – Massa molar e densidade dos componentes puros para as diferentes temperaturas.....116
TABELA C2 – Valores da densidade das soluções para os diferentes sistemas a diferentes composições e temperaturas.....117
TABELA C3 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação à composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} para as diferentes composições e temperaturas.....118
TABELA C4 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação à composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) etanol} para as diferentes composições e temperaturas.....119

TABELA C5 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação à composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-propanol} para as diferentes composições e temperaturas.....120
TABELA C6 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação à composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 2-propanol} para as diferentes composições e temperaturas.....121
TABELA C7 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação à composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-butanol} para as diferentes composições e temperaturas.....122
TABELA C8 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação à massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) metanol} para as diferentes composições e temperaturas.....123
TABELA C9 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação à massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) etanol} para as diferentes composições e temperaturas.....123
TABELA C10 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação à massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-propanol} para as diferentes composições e temperaturas.....124
TABELA C11 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação à massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 2-propanol} para as diferentes composições e temperaturas.....124
TABELA C12 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação à massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-butanol} para as diferentes composições e temperaturas.....125
TABELA C13 – Valores calculados da incerteza do volume molar excesso para as diferentes composições e temperaturas.....126

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 Relevância do tema 14

1.2 Objetivo 15

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

2.1. Glicerol e Álcoois 16

2.1.1 Glicerol 16

2.1.2 Metanol 17

2.1.3 Etanol 18

2.1.4 Propanol 18

2.1.5 1-Butanol 19

2.2 Estudos de densidade e volume molar excesso de sistemas líquidos binários contendo glicerol e outros compostos químicos 21

2.3 Estudos de densidade e volume molar excesso de sistemas líquidos binários contendo álcoois. 23

3 FORMALISMO TERMODINÂMICO 30

3.1 Solução ideal 30

3.2 Função excesso 30

3.3 Grandezas parciais molares 32

3.4 Volume molar excesso e volume parcial molar excesso em soluções diluídas 34

3.5 Volume molar aparente 34

4 MATERIAS E MÉTODOS 37

4.1 Reagentes 37

4.2 Densímetro de oscilação mecânica 37

4.3 Metodologia 41

4.4 Procedimento experimental 42

6 CONCLUSÕES 59

REFERÊNCIAS 60

APÊNDICE A - Tabela 70

APENDICE B – Gráficos 96

APENDICE C - Cálculos das Incertezas 112

1 INTRODUÇÃO

Nessa seção, será apresentada a relevância do tema em estudo e objetivo do presente trabalho.

1.1 Relevância do tema

O estudo de grandezas excesso é um tema clássico e de grande relevância na termodinâmica química de soluções, sobretudo, porque a indústria química necessita de valores dessas grandezas para projetos de processos químicos. Além disso, dados de densidades e propriedades volumétricas são de grande importância para tentar compreender as possíveis interações intermoleculares presentes nos sistemas estudados.

O uso de novas tecnologias em equipamentos de medidas de densidade possibilitou o avanço do estudo de grandezas volumétricas devido à grande precisão com que essas são determinadas utilizando pequenos volumes de amostras.

Dentre as grandezas excesso, o volume molar excesso é de grande importância, uma vez que o seu comportamento está associado a efeitos físicos, químicos e estruturais. Em virtude da complexidade associada ao seu comportamento, juntamente com a sua pequena magnitude e relativa facilidade de obtê-lo com rapidez e grande precisão, utilizando pequenas quantidades de amostra, faz do volume molar excesso uma grandeza de grande utilidade no desenvolvimento e teste de modelos e teorias de solução.

Embora seja um tema clássico na Termodinâmica Química de Soluções, o estudo de grandezas volumétricas continua sendo um assunto muito estudado e esse fato é comprovado pela grande quantidade de trabalhos publicados anualmente na literatura.

Glicerol pertence à classe de solventes que apresentam ligações de hidrogênio em redes tridimensionais, assim como a água e os dióis (TOWEY, 2011; CHAMPENEY, 1986; CHELLI et al., 1999a; CHELLI, et al., 1999b; CHELLI et al., 2000; VAN KONINGSVELD, 1968; GARAWIA, 1987; DASHNAU et al., 2006; MARCUS, 2000). Essas estruturas permitem aos sistemas líquidos contendo glicerol algumas propriedades específicas, como baixa compressibilidade isotérmica e expansividade térmica isobárica, volume livre relativamente grande e alta viscosidade, entre outras. A molécula do glicerol possui três grupamentos hidroxilas que permitem formar ligações de hidrogênio inter e intramoleculares. O glicerol é

ainda capaz de formar 126 conformações como constatado em diferentes estudos de dinâmica molecular (MD) (CHELLI et al., 1999a; CHELLI, et al., 1999b; CALLAM et al., 2001).

Glicerol, etanol e propanol são importantes solventes na indústria farmacêutica e de alimentos. Eles formam entre si sistemas líquidos binários completamente miscíveis. Sistemas contendo glicerol e álcoois podem ser usados como um fluido de mistura entre óleo pesados e hidrocarbonetos ou dióxido de carbono no processo de recuperação de óleo por extração a vapor. A mistura desses solventes com óleo reduz a viscosidade do fluido aumentando a taxa de produção (DAS E BUTLER, 1998; BOUSTANI E MAINI, 2001).

1.2 Objetivo

O objetivo deste estudo consistiu na determinação do volume molar excesso, a partir de dados experimentais de densidade, de soluções líquidas binárias de glicerol + metanol, ou + etanol, ou + 1-pronanol, ou + 2-propanol e ou + 1-butanol nas temperaturas de 288,15 K, 293,15 K, 298,15 K, 303,15 K e 308,15 K, em toda faixa de composição e à pressão atmosférica. Os resultados experimentais foram correlacionados através de um polinômio de Redlich-Kister (REDLICH ; KISTER, 1948).

Utilizando o formalismo termodinâmico, outras propriedades volumétricas foram calculadas, entre elas, os volumes parciais molares, os volumes molares aparentes, os volumes parciais molares excesso e os respectivos volumes parciais molares e parciais molares excesso à diluição infinita.

A escolha dos sistemas estudados neste trabalho foi baseada na importância industrial do glicerol e dos álcoois e no comportamento das propriedades que as misturas desses componentes apresentam.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica, serão apresentadas informações relevantes aos componentes estudas assim como trabalhos envolvendo grandezas excesso de sistemas contendo glicerol e álcoois ou sistemas semelhantes.

2.1. Glicerol e Álcoois

O Glicerol e os álcoois em estudo possuem características e uso que serão apresentados.

2.1.1 Glicerol

O Glicerol, também conhecido como glicerina, é o nome comercial do composto de nomenclatura IUPAC propano-1,2,3-triol. O nome deriva da palavra grega glykos (γλυκός), que significa doce, uma vez que o glicerol tem um sabor adocicado. O glicerol foi descoberto em 1779 e o primeiro uso industrial foi em 1866, quando Nobel produziu a dinamite, com nitroglicerina (GERHARTZ, 1985, v. A-12 p. 477-489).

O Glicerol hoje é usado em diferentes aplicações devido a sua particular combinação de propriedades físicas e químicas. Ele quando puro é viscoso, incolor e inodoro. Devido aos seus três grupamentos hidroxilas, apresenta propriedades semelhantes as da água e álcoois, sendo miscíveis nessas espécies químicas. Entretanto, apresenta miscibilidade limitada em acetona, éter e dioxano e é praticamente insolúvel em hidrocarbonetos, álcoois alifáticos de cadeia longa, em solventes halogênicos, tais como clorofórmio, e em ácidos graxos. O glicerol é uma molécula reativa capaz de realizar as mesmas reações dos álcoois e os dois grupos hidroxílicos primários são mais reativos que os grupos hidroxílicos secundários. Sob condições neutra e alcalina, o glicerol pode ser aquecido até 275°C sem a formação de acroleína. Contudo, ele pode ser facilmente oxidado (GERHARTZ, 1985, v. A-12 p. 477-489).

Por se tratar de um composto atóxico, o glicerol pode ser utilizado como matéria prima para a produção de produtos em diversas áreas, como farmacêutica, cosmética e alimentícia. Por não apresentar sabor nem odor, ele vem sendo usado como emoliente e umectante em diversos produtos, como batom, blush, sombra e afins. A glicerina é ainda de grande utilidade

como lubrificante de equipamentos processadores de alimentos, por não causar contaminação quando em contato com os mesmos (COLLINS, 2005).

A importância biológica do glicerol advém do facto deste ser um dos precursores dos triglicerídeos, uma forma de lipídios responsável pelo armazenamento de energia. Ele é um dos precursores dos fosfolipídios, que são os principais constituintes das membranas biológicas das células e organelas. O glicerol pode ainda ser usado para formar glicose e fornecer energia para o metabolismo celular (LEHNINGER, 2008).

Nos últimos anos a glicerina vem ganhando um espaço especial nas discussões envolvendo química verde. A produção de biodiesel gera, como subproduto, uma grande quantidade de glicerina que não pode ser descartada na natureza. Com grandes investimentos na produção dessa forma de combustível alternativo, aumenta-se também a produção de glicerina. Como consequência, tem-se observado no mercado mundial a queda gradativa do preço da mesma (LEHNINGER, 2008).

Muitas pesquisas têm sido conduzidas com a finalidade de descobrir novas aplicações para a glicerina. Estudos na literatura, baseados na conversão microbiana de glicerina em produtos de maior valor agregado, têm se mostrado promissores (LEHNINGER, 2008).

2.1.2 Metanol

O metanol, também denominado álcool metílico, apresenta a fórmula química CH_3OH e é uma das mais importantes matérias primas da indústria química. Cerca de 85% do metanol produzido é utilizado na indústria química, ou como material de partida em síntese, ou como solvente.

Ele é solúvel em água, álcoois, ésteres e outros solventes orgânicos. Sua pequena molécula com um grupamento hidroxila (-OH) possibilita formar ligações de hidrogênio com a água, proporcionando uma solubilidade infinita na mesma. O metanol está presente em muitas reações na indústria, dentre elas as reações de desidrogenação, esterificação e carbonilação.

O metanol é usado como matéria-prima na produção do formaldeído, como solvente em processos de obtenção de produtos de origem animal e vegetal, como solvente de tintas e vernizes, em perfumaria, na produção de biodiesel, no preparo de medicamentos e, principalmente, como combustível de motores à explosão, como aviões a jato e carros de competições. É ainda utilizado na indústria de plásticos, na extração de produtos animais e

vegetais, e como solvente em reações de importância farmacológica, como no preparo de colesterol, vitaminas e hormônios (GERHARTZ, 1985, v. A-16, p. 465-486).

2.1.3 Etanol

O etanol (CH_3CH_2OH), também chamado álcool etílico, é o mais comum dos álcoois e pode ser obtido da fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução do acetaldeído. Ele é encontrado em bebidas como cerveja, vinho e aguardente, bem como na indústria de perfumaria e de antisséptico. No Brasil, tal substância é também muito utilizada como combustível de motores de explosão, constituindo assim um mercado em ascensão para um combustível obtido de maneira renovável.

O etanol é solúvel em todas as proporções em água, assim como em éter, benzeno, acetona e em outros solventes orgânicos. As propriedades químicas do etanol são determinadas pelo grupamento hidroxila, –OH, o qual pode ser submetido a muitas reações químicas importantes, com por exemplo oxidação, desidratação, halogenação e formação de éster (GERHARTZ, 1985, v. A-9, p. 587 - 653).

2.1.4 Propanol

O propanol compreende dois isômeros, sendo eles o 1-propanol e o 2-propanol, também conhecido como álcool isopropílico. Ambos são incolores, inflamáveis, e possuem um odor parecido com o do etanol. São completamente solúveis em água e facilmente solúveis em uma variedade de solventes orgânicos comuns (éteres, ésteres, ácidos e outros álcoois). Eles ocorrem na natureza a partir de óleos fósseis brutos ou a partir de fermentação ou decomposição de vegetais. 2-Propanol é produzido por hidratação do propeno, enquanto o 1-propanol é fabricado pela hidrogenação do propanal, que por sua vez deriva da hidroformilação do etileno.

Os álcoois propílicos são usados principalmente como solventes, em composições de fluidos anticongelante e para produtos domésticos e pessoais. Também são produtos secundários na indústria química para a produção de ésteres, aminas e outros derivados orgânicos.

O principal uso do 1-propanol está associado a sua atuação como um solvente para tintas, cosméticos, pesticidas e inseticidas. Ele também é usado comercialmente para a produção de etileno glicol. O 2-propanol é usado principalmente como solvente em tintas, como surfactantes e em limpeza de componentes eletrônicos. É o mais apropriado para este fim, pois a porcentagem de água na sua composição é menor do que 1%, evitando a oxidação das peças. Também utilizado em produtos de limpeza de superfícies de vidro e, quando misturado com detergente não-iônico, é muito utilizado em produtos específicos para limpeza de lentes de óculos, detergentes enzimáticos, etc (GERHARTZ, 1985, v. A-22, p. 173-183).

2.1.5 1-Butanol

O butanol, ou *n*-butanol, é um álcool primário com 4 átomos de carbono em sua estrutura e fórmula $CH_3CH_3CH_2H_2COH$. Os isômeros incluem o *iso*-butanol, 2-butanol e o *terc*-butanol. O butanol possui grande solubilidade em água (Handbook of Chemistry and Physics, 1990).

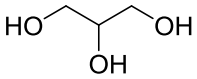
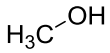
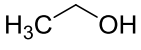
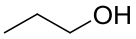
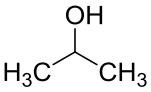
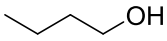
Os butanóis são líquidos incolores, e o seu vapor pode irritar as membranas mucosas e tem efeito sonífero em altas concentrações. Todos os butanóis são miscíveis em grande parte dos solventes orgânicos. Atualmente, a maior parte da produção do 1-butanol vem da hidrogenação do *n*-butiraldeído, o qual é obtido por meio da hidroformalição do propileno (GERHARTZ, 1985, v. A-4, p. 463-474).

O uso do 1-butanol está principalmente vinculado ao revestimento de superfícies. Nos EUA, cerca de 85% do uso do 1-butanol se encontra nesse mercado. Ele é um solvente usado na fabricação de vernizes ou convertidos em derivados que servirão como solventes de monômeros. Outras aplicações estão nos setores plásticos e têxtis, principalmente para a fiação de fibras acrílicas e no tingimento de poli-fibras (GERHARTZ, 1985, v. A-4 p. 463-474).

A tabela 1 apresenta a estrutura dos componentes e a tabela 2 algumas propriedades físico-químicas dos solventes usados nesta dissertação.

Tabela 1 - Estrutura dos componentes usados no presente estudo.

Componente	Representação Gráfica

Glicerol	
Metanol	
Etanol	
1-Propanol	
2-Propanol	
1-Butanol	

Fonte: Autor

Tabela 2 - Propriedades físicas dos diferentes solventes usados no presente estudo.

	cerol	Etanol	Metanol	1-Propanol	2-Propanol	1-Butanol
Massa Molar [g·mol^{-1}]	92,09 (1)	46,7(3)	32,042(2)	60,096(4)	60,096(4)	74,12(5)
Mp [°C]	18,0(1)	-114,15(3)	-97,68(2)	-126,1(4)	-88,5(4)	-89,3(5)
Ponto de Ebulição [°C] a 101,3 kPa	290,0(1)	78,39(3)	64,70(2)	97,15(4)	82,26(4)	117,7(5)
Densidade [g·cm^3] a 20°C	1,261(1)	0,78942(3)	0,78664(2)	0,80378(4)	0,78539(4)	0,8098(5)
Índice de refração (n_D^{20})	1,4740(1)	1,3614(6)	1,32840(2)	1,3837(4)	1,3732(4)	1,3991(5)
Viscosidade (cP)	2,05(6)	1,17(6)	0,594(6)	2,43(6)	2,25(6)	2,95(6)
Pressão de Vapor [mmHg] a 20°C	5,3(6)	44(6)	96,1(6)	32,4(6)	14,5(6)	12,1(6)
Calor Específico [cal·g^{-1}·°C^{-1}] a 20°C	0,555(6)	0,579(6)	0,600(6)	0,596(6)	0,585(6) (25°C)	0,596(6) (25°C)
Ponto de fulgor [°C]	44,4(6)	12,8(6)	12(6)	11,7(6)	25(6)	23,9(6)
Tensão Superficial [mN·m^{-1}]	63,40(1)	22,03(3)	22,10(2)	23,70(4)	21,32(4)	22,30(5)
Calor Latente de Vaporização [cal·g^{-1}]		200,6(6)	263,1(6)	159,4(6)	162,6(6)	134,4(6)
Ponto de auto-ignição [°C]	429(1)	425(3)	470(2)	370,86(4)	398,85(4)	

Fonte: (1) (Gerhartz, 1985, v. A-12 p 477-489), (2) (Gerhartz, 1985, v. A-16 p 465-486), (3) (Gerhartz, 1985, v. A-9 p 587 - 653), (4) (Gerhartz, 1985, v. A-22 p 173-183), (5) (Gerhartz, 1985, v. A-4 p 463-474), (6) Verneret.

2.2 Estudos de densidade e volume molar excesso de sistemas líquidos binários contendo glicerol e outros compostos químicos

Rodríguez et al. (2012) determinaram os volumes molares, volumes molares excesso e os volumes parciais molares, a partir de medidas das densidades, de soluções líquidas binárias de (glicerol + propileno glicol) na faixa de temperatura entre 278,15 K e 313,15 K, com variação de 5 K, e à pressão atmosférica. As densidades dos componentes puros e das soluções foram obtidas utilizando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 45). O volume molar excesso foi positivo, indicando uma expansão no volume quando a solução é formada. Os autores interpretaram qualitativamente os valores positivos do $V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}$ considerando os seguintes fenômenos: primeiro, ocorre uma expansão devido à despolimerização do propileno glicol pela adição de glicerol; depois, há uma contração devido à diferença dos volumes livres da diferentes moléculas; e finalmente, ocorre uma contração como resultado de ligações de hidrogênio entre o glicerol e propileno glicol, através de ligações -OH---O. Contudo essas ligações são menos intensas do que as ligações OH---OH. Assim, os efeitos da despolimerização (predominância de forças dispersivas) do propileno glicol superam os efeitos estruturais e químicos. Os volumes molares excesso se tornaram mais positivo com o aumento da temperatura na faixa de temperatura estudada. Na maior parte das temperaturas estudadas, os volumes parciais molares do glicerol e do propileno glicol nas misturas são maiores do que os correspondentes para os solventes puros.

Egorov e Makarov (2012) estudaram, através de medidas de densidade, o volume molar excesso do sistema {glicerol + terc-butanol (TBA)} no intervalo de temperatura entre 293,15 K e 348,15 K, em toda faixa de composição e à pressão atmosférica. As medidas de densidade foram determinadas utilizando um densímetro da Anton Paar (Modelo 4500). Os valores do $V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}$ foram negativos em toda a faixa de composição e temperatura, e esse comportamento foi justificado pelos autores devido ao rearranjo das ligações de hidrogênio presentes na solução, resultando em mudanças na conformação dos sistemas. Com o aumento da temperatura, os valores absolutos do volume molar excesso também aumentaram. Os valores dos volumes parciais molares à diluição infinita foram menores do que os respectivos volumes molares dos componentes nos estados puros, o que pode significar que os efeitos químicos e estruturais podem ser predominantes.

Alkindi, Al-Wahaibi e Muggeridge (2008) determinaram dados de densidade, viscosidades, tensão superficial e índice de refração de soluções binárias de etanol + glicerol à

temperatura de 294,15 K e pressão atmosférica. As medidas de densidade dos componentes puros e das respectivas soluções foram determinadas utilizando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA60/602). Os dados de densidade foram usados para calcular o volume molar excesso, V_m^E, o qual foi negativo em toda faixa de composição. A contração do volume foi atribuída a fortes ligações de hidrogênio entre o etanol e o glicerol. Os resultados apresentados também mostraram uma diminuição da magnitude do índice de refração e da tensão superficial com o aumento da concentração de etanol na mistura.

Xu, Hu e Lin (2003) determinaram as densidades de soluções líquidas binárias de {glicerol + *N*,*N*-dimetilformamida (DMF)} e de (glicerol + água) nas temperaturas de 298,15 K e 308,15 K e à pressão atmosférica. As medidas de densidade dos componentes puros e das respectivas soluções foram determinadas utilizando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 55). Com os resultados da densidade, foram calculados os volumes molares excesso e os volumes parciais molares excesso de cada sistema. Ambas as misturas apresentaram valores negativos do volume molar excesso e os autores justificaram esse comportamento como consequência de predominância de ligações de hidrogênio entre as espécies químicas presentes nos sistemas estudados.

Li, Su e Wang (2007) estudaram propriedades volumétricas de soluções binárias de glicerol + 1-propanol, ou + 2-propanol, ou + 1,2-propanol, ou + 1,3-propanol, entre as temperaturas de 298,15 K e 313,15 K, em toda faixa de composição e à pressão atmosférica. Através das medidas de densidade dos componentes puros e das soluções usando um picnômetro do tipo Gay-Lussac, foi possível determinar o volume molar excesso, V_m^E, o qual foi correlacionado usando um polinômio de Redlich-Kister. Os valores de V_m^E foram negativos para todos os sistemas estudados, e variaram com o aumento da cadeia carbônica segundo a ordem: (2-propanol < 1-propanol < 1,2-propanol < 1,3 propanol).

Os estudos de propriedades volumétricas de soluções líquidas binárias envolvendo glicerol + álcoois, encontrados na literatura e citados anteriormente, pressupõem que os efeitos químicos decorrentes, principalmente, das ligações de hidrogênio entre o glicerol e os álcoois, e os efeitos estruturais causados pela acomodação das diferentes moléculas quando a solução é formada, como uma consequência das diferenças dos volumes molares dessas espécies químicas, são os fatores responsáveis pelos valores negativos nas propriedades volumétricas dos sistemas contendo glicerol + álcoois.

2.3 Estudos de densidade e volume molar excesso de sistemas líquidos binários contendo álcoois.

Zarei, Golroudbari e Behroozi (2013) determinaram dados de densidade de soluções líquidas ternárias de *N*,*N*-dimetilacetamida (DMA) + *N*-metilformamida (NMF) + 1,2-propanodiol e de soluções binárias desses componentes em toda faixa de composição, na faixa de temperatura entre 293,15 K e 333,15 K e à pressão atmosférica. As medidas de densidade dos componentes puros e das soluções foram determinadas usando um densímetro fabricado pela Anton Parr (Model DMA 4500). Os resultados experimentais foram usados para calcular os volumes molares excesso, os quais foram correlacionados usando um polinômio de Redlich-Kister. Os valores do volume molar excesso foram negativos, em toda faixa de composição, para os três sistemas binários e a contração seguiu a ordem: DMA + NMF > DMA + 1,2-propanodiol > NMF + 1,2-propanodiol. Para todos os sistemas estudados, V_m^E tornou-se mais negativo com o aumento da temperatura.

Khanlarzzadedh e Iloukhani (2013) estudaram a entalpia molar excesso de soluções binárias de isobutanol + metanol, ou + etanol, ou + 1-propanol, ou + 1-butanol na temperatura de 298.15 K e à pressão atmosférica. Os dados experimentais da entalpia excesso foram determinados utilizando um calorímetro fabricado pela Parr (Modelo1455). Os valores da entalpia molar excesso foram negativos para todos os sistemas estudados e os desvios diminuíram com o aumento da cadeia carbônica (metanol > etanol > 1-propanol > 1-butanol). Os autores atribuíram os valores negativos da entalpia molar excesso a predominância da formação de ligações de hidrogênio entre o isobutanol e os demais álcoois sobre os demais efeitos envolvidos nos sistemas estudados.

Moosavi et al. (2013) determinaram dados de densidade de soluções líquidas binárias de (1,2-etanodiol + 1,2-propanodiol), (1,2-etanodiol + 1,3-propanodiol) e de (1,2-propanodiol + 1,3-propanodiol), na faixa de temperatura de T = (298,15 – 308,15) K, em um intervalo de 5 K, e à pressão atmosférica. As densidades foram determinadas usando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (modelo DMA 5000). Os resultados experimentais mostraram que as densidades das soluções binárias diminuíram com o aumento da temperatura sugerindo que o aumento da temperatura provoca uma agitação molecular diminuindo as atrações moleculares como resultado do rompimento das ligações de hidrogênio entre os componentes presentes nas soluções. Os resultados experimentais das medidas de densidade foram usados para calcular o volume molar excesso, V_m^E. Todas as soluções binárias

estudadas apresentaram V_m^E negativos, em toda sua faixa de composição, seguindo a ordem: (1,2-propanodiol + 1,3-propanodiol) > (1,2-ethanediol + 1,3-propanodiol) > (1,2-ethanediol + 1,2-propanodiol). Os valores negativos do V_m^E foram atribuídos às interações entre as moléculas, principalmente devido à ligação de hidrogênio entre as espécies presentes na solução, e às contribuições estruturais resultantes das acomodações das moléculas quando a solução é formada, como uma consequência da diferença entre os volumes molares e volumes livres entre as espécies presentes nas soluções. Para as soluções binárias (1,2-etanodiol + 1,3-propanodiol) e (1,2-etanodiol + 1,2-propanodiol), o aumento da temperatura ocasionou um aumento do volume molar excesso, enquanto que para o sistema contendo (1,2-propanodiol + 1,3-propanodiol), os valores do V_m^E se tornaram mais negativo com o aumento da temperatura.

No estudo realizado por Zemánková, Trancoso e Romaní (2013), os pesquisadores determinaram dados de densidade e da capacidade calorífica isobárica para os sistemas binários (água + 1,2-etanodiol, ou + 1,2-propanodiol, ou + 1,3-propanodiol, ou + 1,4 butanodiol, ou + 1,2-hexanodiol), em toda faixa de composição, nas temperaturas entre T = (283,15 K e 313,15) K e à pressão atmosférica. Os resultados experimentais de densidade foram usados para calcular o volume molar excesso. Para todos os sistemas estudados, os valores do V_m^E foram negativos em toda faixa de composição e tornaram-se menos negativo com o aumento da temperatura. Os resultados negativos das grandezas estudadas foram atribuídos à grande capacidade dos componentes presentes nas soluções formarem ligações de hidrogênio.

Zorębski e Przybyla, (2012) determinaram dados de densidade de soluções líquidas binárias de 1,2-propanodiol + metanol, ou + 1-propanol, ou + 1-hexanol, ou + 1-octanol, ou + 1-nonanol na faixa de temperatura entre 293,15 K e 318,15 K. As medidas de densidade dos componentes puros e das soluções foram determinadas utilizando um densímetro da Anton Paar (Modelo DMA 5000). Os valores dos volumes molares excesso das misturas 1,2-propanodiol + metanol, ou + 1-propanol foram negativos. Para os demais sistemas, os valores do V_m^E foram positivos.

Kijevčanin et al. (2013) determinaram experimentalmente a densidade, viscosidade e índice de refração de soluções binárias de (piridina + 1-propanol, ou + 1,2-propanediol, ou + 1,3-propanodiol, ou + glicerol), nas temperaturas entre T = (288,15 e 323,15) K, em intervalos de 5 K, e à pressão atmosférica. Esses resultados experimentais foram usados para determinar o volume molar excesso, o desvio da viscosidade e o desvio do índice de refração. As densidades dos componentes puros e das soluções foram medidas usando um densímetro

fabricado pela Anton Paar (modelo DMA 5000). Os valores do volume molar excesso das soluções binárias estudadas foram negativos para todos os sistemas estudados e em toda a faixa de temperatura, seguindo a ordem: glicerol > 1,3-propanodiol > 1-propanol > 1,2–propanodiol. Os autores atribuíram os valores negativos do V_m^E às ligações de hidrogênio entre a piridina e as moléculas dos álcoois (diós ou glicerol) quando a solução é formada e também as interações entre o grupamento –OH e os elétrons π do anel aromático. A diferença entre os valores do volume molar excesso para os diferentes sistemas foi atribuída à quantidade e posição do grupamento hidroxila nos polióis.

No estudo de Zarei, Asadi e Iloukhani (2008), os autores mediram as densidades e determinaram as propriedades volumétricas de soluções binárias de (1-propanol + 2-propanol), (1-propanol + 1,2- propanodiol) e (2-propanol + 1,2-propanodiol), em uma faixa de temperatura entre 293,15 K e 343,15 K, em um intervalo de 10 K, e na pressão de p = 82,15 kPa. As densidades foram medidas utilizando um densímetro fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 4500). Os resultados experimentais foram usados para calcular os volumes molares excesso desses sistemas, os quais foram correlacionados através de um polinômio de Redlich-Kister. Para todos os sistemas estudados, os valores do volume molar excesso foram negativos em toda faixa de composição estudada e a contração seguiu a sequência: (2-propanol + 1,2-propanodiol) > (1-propanol + 1,2-propanodiol) > (1-propanol + 2-propanol). Os valores de V_m^E tornaram-se mais negativo com o aumento da temperatura. Os resultados negativos para o volume molar excesso dos sistemas estudados foram atribuídos à predominância de associações intermoleculares sobre os efeitos de dissociações.

Egorov e Makarov (2012) estudaram propriedades volumétricas do sistema binário (etilenoglicol + tert-butanol) nas temperaturas entre T = (278,15 e 348,15) K e à pressão atmosférica. Para as medidas de densidade, foi utilizado um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 4500). Os valores de densidade foram usados para calcular o volume molar excesso, os volumes parciais molares e aparentes e a expansão isobárica parcial molar dos componentes. Os valores do V_m^E foram negativos em toda faixa de composição e em todas as temperaturas estudadas. Os autores concluíram, através dos valores experimentais das propriedades volumétricas, que o comportamento das propriedades volumétricas para o sistema estudado é decorrência de ligações de hidrogênio e mudanças conformacionais entre as diferentes moléculas presentes na mistura.

Egorov, Makarov e Kolker (2010) estudaram a densidade e propriedades volumétricas das soluções binárias de (etilenoglicol + dimetilsulfóxido) nas temperaturas entre T = (278,15

e 323,15) K. As medidas de densidades foram realizadas usando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 4500). Os valores do volume molar excesso, calculados a partir de dos resultados experimentais de densidades, foram negativos em toda faixa de composição e diminuíram com o aumento da temperatura. Os autores justificaram o comportamento negativo para o V_m^E com resultado das ligações de hidrogênio entre o etilenoglicol e o dimetilsulfóxido.

Dubey e Kumar (2010) realizaram medidas de densidade, viscosidade e velocidade do som de soluções binárias de {etilenoglicol monoetil éter (EGMME) + 1-hexanol, ou + 1-octanol, ou + 1-decanol, em toda faixa de composição, entre as temperaturas de *T* = (293,15 e 308,15) K e à pressão atmosférica. As medidas de densidade foram realizadas usando um densímetro da Anton Paar (Modelo DAS 5000). Esses resultados experimentais foram usados para calcular o volume molar excesso dos sistemas, os quais foram positivos para todas as soluções binárias e seguiram a ordem: 1-hexanol < 1-octanol < 1-decanol. Segundo os autores, os resultados experimentais do V_m^E supõem que as interações entre o EGMME e os álcoois são fracas.

Zorębski e Luboweicka-Kostka (2008) estudaram propriedades termodinâmicas e de transportes de soluções binárias de (1,2-etanodiol + 1-nonanol) na faixa de temperatura entre *T* = (298,15 e 313,15) K, e à pressão atmosférica. As medidas de densidades foram realizadas usando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Unilab (modelo MG-2). Os resultados experimentais de densidade foram usados para calcular o volume molar excesso, V_m^E, os quais foram positivos em toda faixa de composição estudada. A complexidade dos fenômenos químicos, físicos e estruturais associados ao sistema e a ausência de outros resultados experimentais não possibilitaram que os autores tirassem conclusões dos fenômenos presentes no sistema estudado. Segundo eles, a diferença significativa dos volumes molares dos componentes presentes na solução, a capacidades das moléculas se auto associarem, assim como a possibilidade de formação de associações cruzadas, tornaram difícil a interpretação do comportamento do sistema estudado.

Nos estudos de Parsa e Faraji (2008), os autores determinaram dados de densidade e viscosidade de soluções binárias de (água + 1,2-propanodiol), (água + 2-pirrolidona) e (1,2-propanodiol + 2-pirrolidona), toda faixa de composição e a *T* = 313,15 K. As medidas de densidade foram realizadas usando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 4500). Os resultados experimentais foram utilizados para calcular o volume molar excesso, V_m^E. Os valores do V_m^E foram negativos para os sistemas (água + 1,2-

propanodiol) e (água + 2-pirrolidona) e esse comportamento foi atribuído pelos autores à formação de ligação de hidrogênio entre as moléculas dos componentes presentes nos sistemas e também aos efeitos estruturais decorrentes da diferença de forma e tamanho entre as diferentes espécies presentes nas soluções. Para o sistema (1,2-propanodiol + 2-pirrolidona), os valores positivos do V_m^E foram atribuídos à diminuição das ligações de hidrogênio e da ordem estrutural quando a solução é formada.

Parsa e Haghro (2008) estudaram o volume molar excesso (V_m^E) de sistemas binários de polietileno glicol dimetil éter 250 com 1,2-alcanodióis, em toda composição, na faixa de temperatura entre T = (293,15 e 323,15) K e à pressão atmosférica. Os dados do V_m^E foram determinados através de medidas de densidade dos componentes puros e das soluções. Essas medidas foram realizadas utilizando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 4500). Os valores do V_m^E foram negativos para os sistemas contendo 1,2-propanodiol e 1,2-butanodiol, apresentaram um comportamento sigmoidal para o sistema contendo 1,2-pentanodiol, e para o sistema com 1,2-hexanodiol os valores foram positivos em toda faixa de composição. Os valores do V_m^E seguiram a ordem 1,2-propanodiol < 1,2-butanodiol < 1,2-pentanodiol < 1,2-hexanodiol. Os valores do volume molar excesso aumentaram em módulo com o aumento da temperatura. Os valores negativos do V_m^E foram atribuídos à predominância de ligações de hidrogênio enquanto os valores positivos foram atribuídos ao rompimento das estruturas ordenadas dos diferentes componentes presentes nas soluções.

Ćwilińska et al. (2008) estudaram o volume molar excesso de soluções binárias de {2-propaxietanol (PE) + dietilenoglicol (DEG), ou + trietilenoglicol (TEG), ou + tetraetileno glicol (TETRAEG)}, em toda faixa de composição, à pressão atmosférica e nas temperaturas de 293,15 K, 298,15 K e 303,15 K. As densidades foram medidas usando um picnômetro Lipkin do tipo bi-capilar. Os valores do volume molar excesso foram negativos para todos os sistemas estudados e seguiram a ordem: (PE + DEG) < (PE + TEG) < (PE + TETRAEG). Os valores negativos do volume molar excesso foram atribuídos às ligações de hidrogênio e ao empacotamento das moléculas das diferentes espécies quando a solução é formada.

Nain (2007) realizou medidas de densidades de soluções binárias de {formamida (FA) + etanol, ou + 1-propanol, ou + 1,2-etanodiol, ou + 1,2-propanodiol}, em toda faixa de composição, nas temperaturas entre T = (293,15 e 318,15) K, e à pressão atmosférica. As medidas de densidade foram realizadas usando um picnômetro. Essas medidas foram usadas

para calcular o volume molar excesso, os volumes parciais molares e os volumes parciais molares e parciais molares excesso à diluição infinita. Para os sistemas contendo etanol e 1-propanol, os valores do V_m^E foram negativos e tornaram-se mais negativos com o aumento da temperatura. Para os sistemas contendo 1,2-etanodiol e 1,2-propanodiol, os valores foram positivos e aumentaram com o aumento da temperatura. O volume molar excesso das misturas seguiu a ordem: etanol < 1-propanol < 1,2-ethanediol < 1,2-propanediol. Isso mostrou que a magnitude do V_m^E depende do número de grupamentos hidroxila e do comprimento da cadeia carbônica das moléculas dos álcoois.

Jiménez et al. (2001) estudaram a densidade, o índice de refração e a tensão superficial das soluções binárias de (1,2-etanodiol + 1-propanol) e (1,2-etanodiol + 1-butanol), na faixa de temperatura entre T = (293,15 e 308,15) K e à pressão atmosférica. As medidas de densidade foram realizadas usando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (DMA 60/602). Os valores do V_m^E, calculados a partir das medidas de densidade, foram negativos para o sistema (1,2-etanodiol + 1-propanol) e tornaram-se mais negativos com o aumento da temperatura. Para o sistema (1,2-ethanediol + 1-butanol), o volume molar excesso apresentou um comportamento segmoidal para a temperatura de T = 293,15 K, com valores positivos na região de baixa concentração do 1,2-etanodiol. Para as demais temperaturas, os valores do V_m^E foram negativos em toda faixa de composição.

Geyer et al. (2001) mediram a densidade de soluções binárias de (água + 1,2-propanodiol, ou + 1,2-butanodiol), em toda faixa de composição, nas temperaturas de 288,15, 298,15, e 308,15 e nas pressões de 0,1, 20, 40 e 60 MPa. As densidades foram medidas usando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 512p). Os resultados experimentais das medidas de densidade foram usados para calcular o volume molar excesso, V_m^E, desses sistemas. Os valores do V_m^E foram negativos, em toda faixa de composição, e aumentaram (tornaram-se menos negativos) com o aumento da temperatura e pressão estudadas.

Geyer, Uibig e Görnert (2000) estudaram dados de densidade de soluções líquidas de (água + 1,2-etanodiol, ou + 1,2-propanodiol, ou + 1,2-butanodiol), em toda faixa de composição, em um intervalo de temperatura de T = (278,15 a 318,15) K. Os autores também estudaram o sistema (água + 2,3-butanodiol) na faixa de temperatura entre T = (308,15 e 318,15) K. As medidas de densidade foram realizadas usando um densímetro fabricado pela Anton Paar (Modelo 512p) e todos os sistema foram estudados à pressão atmosférica. Os valores do V_m^E,

calculados a partir das medidas de densidade, foram negativos para todos os sistemas e seus valores absolutos diminuíram com o aumento da temperatura.

3 FORMALISMO TERMODINÂMICO

Nesse seção, será apresentado o formalismo termodinâmico das grandezas excesso.

3.1 Solução ideal

O conceito de solução ideal é utilizado como referência para estudar o comportamento de soluções reais. Para soluções binárias constituídas dos componentes A e B, essas serão consideradas como ideais se as interações entre A-A, B-B e A-B forem todas idênticas. Soluções líquidas reais são estudadas através de propriedades que medem o seu afastamento do comportamento de uma solução ideal. Essas propriedades são denominadas grandezas ou funções excesso. (SMITH, 2000)

3.2 Função excesso

O termo função excesso, introduzido por Scatchard e Hamer (1935), é definido como a diferença entre o valor da função de uma solução em um estado qualquer e o valor dessa função para uma solução ideal, nas mesmas condições de pressão, temperatura e composição. O conceito de função excesso é usualmente aplicável para as propriedades extensivas, intensivas, molares e parciais molares de soluções.

Portanto, uma grandeza excesso pode ser expressa como:

$$M^{\mathrm{E}}(T,P,n_1...) = M(T,P,n_1...) - M^{\mathrm{ideal}}(T,P,n_1...), \tag{1}$$

onde M representa uma grandeza extensiva (por exemplo: V, U, H, S, G) de um sistema constituído de m componentes.

Para grandezas molares:

$$M_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}(T,P,x_1...) = M_m(T,P,x_1...) - M_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ideal}}(T,P,x_1...)\ . \tag{2}$$

Analogamente, para grandezas parciais molares, tem-se:

$$\overline{M}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{E}}(T,P,x_1...) = \overline{M}_i(T,P,x_1...) - \overline{M}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{ideal}}(T,P,x_1...)\ . \tag{3}$$

O formalismo termodinâmico das grandezas excesso é análogo ao das grandezas termodinâmicas usuais. Dessa forma é possível escrever as equações:

$$H = U + PV \qquad H^E = U^E + PV^E \tag{4}$$

$$G = H - TS \qquad G^E = H^E - TS^E \tag{5}$$

$$A = U - TS \qquad A^E = U^E - TS^E \tag{6}$$

Para certas propriedades intensivas não existe analogia com a sua respectiva excesso. Um exemplo é o coeficiente de expansão térmica. Por definição:

$$\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{P,x} \tag{7}$$

e

$$\beta^{\text{ideal}} = \frac{1}{V^{\text{ideal}}}\left(\frac{\partial V^{\text{ideal}}}{\partial T}\right)_{P,x}. \tag{8}$$

Aplicando a definição de grandeza excesso, é possível escrever:

$$\beta^{\text{E}} = \beta - \beta^{\text{ideal}}, \tag{9}$$

logo

$$\beta^{\text{E}} = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{P,x} - \frac{1}{V^{\text{ideal}}}\left(\frac{\partial V^{\text{ideal}}}{\partial T}\right)_{P,x} \tag{10}$$

ou

$$\beta^{\text{E}} = \frac{1}{V}\left[\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{P,x} - \frac{V}{V^{\text{ideal}}}\left(\frac{\partial V^{\text{ideal}}}{\partial T}\right)_{P,x}\right]. \tag{11}$$

Substituindo $V = V^{\text{E}} + V^{\text{ideal}}$, tem-se:

$$\beta^{\mathrm{E}} = \frac{1}{V}\left\{\left(\frac{\partial\left(V^{\mathrm{E}} + V^{\mathrm{ideal}}\right)}{\partial T}\right)_{P,x} - \frac{V^{\mathrm{E}} + V^{\mathrm{ideal}}}{V^{\mathrm{ideal}}}\left(\frac{\partial V^{\mathrm{ideal}}}{\partial T}\right)_{P,x}\right\} \tag{12}$$

$$\beta^{\mathrm{E}} = \frac{1}{V}\left[\left(\frac{\partial V^{\mathrm{E}}}{\partial T}\right)_{P,x} + \left(\frac{\partial V^{\mathrm{ideal}}}{\partial T}\right)_{P,x} - \frac{V^{\mathrm{E}}}{V^{\mathrm{ideal}}}\left(\frac{\partial V^{\mathrm{ideal}}}{\partial T}\right)_{P,x} - \left(\frac{\partial V^{\mathrm{ideal}}}{\partial T}\right)_{P,x}\right] \tag{13}$$

Finalmente, tem-se:

$$\beta^{\mathrm{E}} = \frac{1}{V}\left[\left(\frac{\partial V^{\mathrm{E}}}{\partial T}\right)_{P,x} - V^{\mathrm{E}}\alpha^{\mathrm{ideal}}\right] \quad \neq \quad \frac{1}{V^{\mathrm{E}}}\left(\frac{\partial V^{\mathrm{E}}}{\partial T}\right)_{P,x} \tag{14}$$

3.3 Grandezas parciais molares

O volume molar de uma solução binária é definido como:

$$V_{\mathrm{m}} = \frac{V}{n_1 + n_2}\ , \tag{15}$$

onde V é o volume da solução, e n_1 e n_2 representam o número de moles dos componentes 1 e 2.

O volume parcial molar de um componente 1 em uma solução binária, formado pelos componente 1 e 2, pode ser expresso como:

$$\overline{V}_1 = \left(\frac{\partial V}{\partial n_1}\right)_{T,P,n_2}\ . \tag{16}$$

Derivando a equação (15) em função de n_1, obtém-se:

$$\left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}}{\partial n_1}\right)_{T,P,n_2} = \frac{\left(n_1 + n_2\right)\left(\partial V / \partial n_1\right)_{T,P,n_2} - V}{\left(n_1 + n_2\right)^2}\ . \tag{17}$$

Sabe-se que,

$$V = V_{\mathrm{m}}(n_1 + n_2). \tag{18}$$

Assim,

$$\left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}}{\partial n_1}\right)_{T,P,n_2} = \frac{\overline{V}_1}{(n_1 + n_2)} - \frac{V_{\mathrm{m}}}{(n_1 + n_2)}. \tag{19}$$

A fração molar pode ser definida como:

$$x_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}. \tag{20}$$

Logo:

$$\left(\frac{\partial x_1}{\partial n_1}\right)_{T,P,n_2} = \frac{n_2}{(n_1 + n_2)^2}. \tag{21}$$

Derivando a equação (20), obtém-se:

$$\left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}}{\partial x_1}\right)_{T,P}\left(\frac{\partial x_1}{\partial n_1}\right)_{T,P,n_2} = \frac{\overline{V}_1}{(n_1 + n_2)} - \frac{V_{\mathrm{m}}}{(n_1 + n_2)} = \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}}{\partial x_1}\right)_{T,P}\frac{n_2}{(n_1 + n_2)^2}$$

(22)

Multiplicando a equação (22) por (n_1 + n_2), tem-se:

$$\overline{V}_1 - V_{\mathrm{m}} = \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}}{\partial x_1}\right)_{T,P}\left(\frac{n_2}{n_1 + n_2}\right) \tag{23}$$

Assim, é possível expressar o volume parcial molar como:

$$\overline{V}_1 = V_{\mathrm{m}} + x_2\left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}}{\partial x_1}\right)_{T,P} \tag{24-1}$$

Da mesma forma, o volume parcial do componente 2 pode ser deduzido como:

$$\overline{V}_2 = V_{\mathrm{m}} + x_1 \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}}{\partial x_2} \right)_{T,P} \tag{24-2}$$

Os volumes parciais molares excesso dos componentes 1 e 2 em termos de função excesso são:

$$\overline{V}_1^{\mathrm{E}} = V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} + (1 - x_1) \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_1} \right)_{T,P} \tag{25-1}$$

e

$$\overline{V}_2^{\mathrm{E}} = V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} + (1 - x_2) \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_2} \right)_{T,P} \tag{25-2}$$

3.4 Volume molar excesso e volume parcial molar excesso em soluções diluídas

É de grande interesse o estudo do volume parcial molar e parcial molar excesso à diluição infinita, pois nessas condições as moléculas do soluto estão essencialmente isoladas, prevalecendo as interações soluto-solvente e solvente-solvente. Assim, as grandezas parciais molares excesso à diluição infinita podem proporcionar informações a respeito da interação soluto-solvente.

3.5 Volume molar aparente

O volume molar aparente, V_ϕ, pode ser usada para determinar o volume parcial molar através do uso das equações a seguir:

$$M = \sum_{i=1}^{i=m} n_i \overline{M}_i \ , \tag{26}$$

sendo M a grandeza extensiva, n_i o número de moles e $\overline{M}_i$ a grandeza parcial molar correspondente.

A relação entre M e M_{ϕ_j}, a grandeza molar aparente, é (ACREE, 1984):

$$M = n_j M_{\phi_j} + \sum_{i=1;i\neq j}^{i=m} n_i M_i^0 \,, \tag{27}$$

onde M_i^0 é a grandeza molar do componente puro *i*.

Sendo assim, tem-se:

$$M_{\phi_j} = \frac{M - \sum_{i=1;i\neq j}^{i=m} n_i M_i^0}{n_j} \tag{28}$$

Quando a equação (28) é derivada em relação a n_j, a seguinte relação entre a grandeza parcial molar e a grandeza molar aparente é obtida por:

$$\left(\frac{\partial M}{\partial n_j}\right)_{T,P,n_i\neq n_j} = \overline{M}_j = M_{\phi_j} + n_j\left(\frac{\partial M_{\phi_j}}{\partial n_j}\right)_{T,P,n_i\neq n_j} . \tag{29}$$

Pela equação (29),

$$\lim_{n_j\to 0} M_{\phi_j} = \overline{M}_j \,, \tag{30}$$

mostrando que, à diluição infinita, a grandeza parcial molar e a grandeza molar aparente são iguais

É possível apresentar a relação entre a grandeza molar aparente e uma grandeza molar excesso. Quando o volume molar aparente de uma solução binária é usada como exemplo, tem-se que:

$$V_{\phi_1} = \frac{V_\mathrm{m} - x_2 V_2^0}{x_1} \,, \tag{31}$$

onde V_m é o volume molar da solução, x_1 a fração molar do componente 1, x_2 a fração molar do componente 2 e V_2^0 o volume molar do componente 2.

De forma semelhante, obtém-se:

$$V_{\phi_2} = \frac{V_m - x_1 V_1^0}{x_2}. \tag{32}$$

Por definição:

$$V_m = x_1 \overline{V}_1 + x_2 \overline{V}_2. \tag{33}$$

Quando a equação (33) é substituída na equação (31), obtém-se:

$$V_{\phi_1} = \frac{x_1 \overline{V}_1 + x_2 \overline{V}_2 - x_2 V_2^0}{x_1}. \tag{34}$$

Contudo,

$$V^E = V - V^{ideal} \tag{35}$$

e assim:

$$V_m^E = x_1 \overline{V}_1 + x_2 \overline{V}_2 - x_1 V_1^0 - x_2 V_2^0 \quad . \tag{36}$$

Substituindo a equação (36) na equação (34), obtém-se:

$$V_{\phi_1} = \frac{V_m^E + x_1 V_1^0}{x_1}. \tag{37}$$

Analogamente, a substituição da equação (36) na equação (32), leva a:

$$V_{\phi_2} = \frac{V_m^E + x_2 V_2^0}{x_2} \quad . \tag{38}$$

4 MATERIAS E MÉTODOS

Para o presente estudo, foram utilizados reagentes com alto grau de pureza, e a metodologia utilizada será descrita a seguir.

4.1 Reagentes

Todos os reagentes utilizados no estudo apresentaram os seguintes valores de pureza, conforme especificações encontradas nos rótulos dos fabricantes: glicerol (Sigma-Aldrich, pureza ≥ 99,5%), etanol (Merck, pureza ≥ 99,5%), metanol (Merck, pureza ≥ 99,9%),1-propanol (Merck, pureza ≥ 99,8%), 2-propanol (Merck, pureza ≥ 99,9%) e 1-butanol (Merck, pureza ≥ 99,5%). Nenhum dos reagentes utilizados passou por processo de purificação adicional. A Tabela 3 apresenta as características de cada reagente usado. A Tabela 4 mostra um comparativo entre os valores de densidade encontrados na literatura e os valores experimentais.

Tabela 3 - Características dos Componentes Puros

Componentes	Fórmula Molecular	Massa Molar / g·mol^{-1}	Fabricante	CAS	Grau de Pureza
Glicerol	$C_3H_8O_3$	92,09	Sigma-Aldrich (Alemanha)	56-81-5	≥ 99,5
Metanol	CH_4O	32,04	Merck (Alemanha)	67-56-1	≥ 99,9
Etanol	C_2H6O	46,07	Merck (Alemanha)	64-17-5	≥ 99,5
1-Propanol	C_3H_8O	60,1	Merck (Alemanha)	71-23-8	≥ 99,8
2- Propanol	C_3H_8O	60,1	Merck (Alemanha)	67-63-0	≥ 99,9
1-Butanol	$C_4H_{10}O$	74,12	Merck (Alemanha)	71-36-3	≥ 99,5

Fonte: Rótulo dos fabriantes

4.2 Densímetro de oscilação mecânica

O princípio de operação do densímetro de oscilação mecânica se baseia na variação da frequência natural de um oscilador mecânico. Quando o fluido é inserido no tubo oscilador, essa frequência natural varia devido a variação da massa do tubo oscilador.

O cálculo da densidade leva em consideração um sistema equivalente onde se representa um corpo de massa *m*, que é suspenso por uma mola de constante *k*, com volume *v* e densidade ρ.

Tabela 4 - Valores de densidade dos componentes puros a diferentes temperaturas.

Componentes	T/ K	ρ / g·cm^{-3} Experimental	Literatura
Glicerol	288,15	1,26429	1,26439 [15], 1,26440 [16], 1,26443 [17]
	293,15	1,26092	1,26253 [15], 1,26200 [16],1,26155 [16], 1,26134 [17], 1,261025 [23], 1,26104 [24], 1,26088 [26], 1,2613 [27], 1,260 [28], 1,25776 [29]
	298,15	1,25783	1,25873 [15], 1,25830 [16], 1,25850 [16], 1,25810 [16]; 1,2589 [18], 1,2581 [19], 1,257943 [23], 1,25791 [24], 1,2578 [25], 1,25781 [26]
	303,15	1,25472	1,25490 [15], 1,25509 [16], 1,25490 [16], 1,25512 [17], 1,2556 [18], 1,254833 [23], 1,25524 [24], 1,2547 [25]
	308,15	1,25157	1,25265 [15], 1,2527 [18], 1,2522 [25], 1,25156 [26], 1,24410 [30]
Metanol	288,15	0,79596	0,795950 [40], 0,795969 [44], 0,7965 [17], 0,7965 [45], 0,79584 [46]
	293,15	0,79132	0,79303 [1], 0,79190 [2], 0,7915 [3], 0,79152 [38], 0,79115 [41], 0,79132 [42], 0,791786 [44]
	298,15	0,78662	0,78679 [4], 0,78720 [2], 0,78666 [20], 0,7868 [34], 0,786987 [39], 0,786504 [40], 0,78645 [41], 0,7869 [43], 0,786548 [44]
	303,15	0,78189	0,78363 [1], 0,78248[2], 0,7822 [3], 0,78196 [20], 0,7822 [34], 0,78176 [41], 0,78186 [42], 0,7819 [43], 0,0,782286 [44]
	308,15	0,77714	0,77660 [5], 0,776998 [6], 0,77771 [20], 0,7772 [34], 0,77773 [41], 0,7771 [43], 0,777067 [44]
Etanol	288,15	0,79364	0,79360 [47]
	293,15	0,78941	0,7896[5], 0,789454[7]
	298,15	0,78511	0,7853[5], 0,785164[7], 0,78506[8], 0,78497 [20], 0,7852 [34], 0,785489 [39]
	303,15	0,78079	0,7834[9], 0,7810[5], 0,780853[7], 0,78068 [20], 0,78069 [33], 0,7811 [34]
	308,15	0,77644	0,7790 [9], 0,7767 [5], 0,776510 [7], 0,77641 [20], 0,7767 [34]
1-Propanol	288,15	0,80741	0,80751 [15], 0,80740 [16], 0,80755 [16], 0,80749 [17], 0,807898 [44]
	293,15	0,80342	0,80362[10], 0,80350[11], 0,80428[12], 0,80365 [15], 0,80350 [16], 0,80346 [16], 0,80361 [16], 0,80375 [17], 0,803963 [23], 0,803771 [24], 0,80410 [31]
	298,15	0,79942	0,79960 [13], 0,79949 [11], 0,80021 [12], 0,79967 [15], 0,79935 [16], 0,79957 [16], 0,79991 [16], 0,79960 [16], 0,79950 [16], 0,79975 [17], 0,7996 [18], 0,79958 [20], 0,799953 [23], 0,799745 [24], 0,79993 [31], 0,8000 [34], 0,79951 [37], 0,800973 [39]

	303,15	0,79538	0,79558 [13], 0,79546 [11], 0,79642 [12], 0,79595 [15], 0,79600 [16], 0,79593 [16], 0,79596 [16], 0,7955 [18], 0,79548 [20], 0,7956 [21], 0,795915 [23], 0,795718 [24], 0,79586 [31], 0,7959 [34]
	308,15	0,79136	0,79162 [13], 0,79227 [12], 0,79157 [15], 0,79185 [16], 0,79141 [16], 0,7915 [18], 0,79138 [20], 0,79194 [31], 0,7919 [34]

Tabela 4 - Valores de densidade dos componentes puros a diferentes temperaturas.

Componentes	T/ K	ρ / g·cm^{-3} Experimental	Literatura
2-Propanol	288,15	0,78920	
	293,15	0,78506	0,78513 [11], 0,78535 [12]
	298,15	0,78085	0,78093[11], 0,78110[12], 0,7806 [18], 0,78123 [20], 0,7812 [34], 0,78095 [37], 0,780990 [39]
	303,15	0,77657	0,77666 [11], 0,77712 [12], 0,7766 [18], 0,77695 [20], 0,7768 [22], 0,7769 [34]
	308,15	0,77227	0,77288 [12], 0,77246 [20], 0,7726 [34]
1-Butanol	288,15	0,81527	0,81280 [48]
	293,15	0,81148	0,80956 [14], 0,81034 [31], 0,90850 [35]
	298,15	0,80763	0,80614 [8], 0,80576 [20], 0,80567 [31], 0,80575 [32], 0,8059 [34], 0,80584 [35], 0,805752 [36], 0,80564 [37]
	303,15	0,80374	0,80195 [14], 0,8024 [10], 0,80201 [20], 0,80194 [33], 0,8020 [34], 0,80204 [35]
	308,15	0,79983	0,7985 [10], 0,79821 [20], 0,79812 [31], 0,7981 [34], 0,79820 [35]

Fonte: [1] Valtz el al., 2004; [2] Gonzalez et al., 2007; [3] Pereira et al., 2003; [4] Blanco e Ortega, 1996; [5] García-Miaja et al., 2008; [6] Sakurai e Nakagawa, 1982; [7] Kijevčanin et al., 2007; [8] Chen et al., 2005; [9] Bhuiyan e Uddin, 2008; [10] Nikam et al.,2000; [11] Zarei et al., 2008; [12] Pang et al., 2007; [13] Jiménez et al., 1998; [14] Liau et al., 1998; [15] Romero et al., 2008; [16] Frenkel et al., 1998; [17] Riddick et al., 1986; [18] Li et al., 2007; [19] Verhoeye e Lauwers, 1969; [20] Nikan et al, 1998; [21] Lee et al., 1997; [22] Ku e Tuv, 1998, [23] Kijevčanin et al., 2013; [24] Selected values of of properties of chemical compounds, 1980; [25] Ge et al, 2010; [26] Egorov e Makarov, 2012; [27] Soujanya et a.l, 2010; [28] Adamenko et al., 2006; [29] Sanz et al., 2001; [30] Xu et al., 2003; [31] Jiménez et al., 2001; [32] Santana et al., 1999; [33] Oswal e Desai, 1999; [34] Aminabhavi et al., 1993; [35] Zorębski e Waligóra, 2008; [36] Spasojević et al., 2014; [37] Loras et al., 1997; [38] Machanová et al., 2014; [39] Wang e Yan, 2010; [40] Bender e Van Hook, 1988; [41] Kurnia et al., 2011; [42] Sun et al., 1988; [43] Mlkhall e Kimel, 1961; [44] Pal e Gaba, 2008; [45] Rodríguez et al., 1999; [46] Mokate e Ddamba, 2005; [47] Sheu e Tu, 2005; [48] Nain et al., 2009.

A frequência natural é dada por:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{\rho v + m}} \tag{39}$$

e o período τ é $1/f$:

$$\tau = 2\pi\sqrt{\frac{\rho v + m}{k}} \tag{40}$$

Extraindo a raiz quadrada e definindo

$$B = \frac{4\pi^2 v}{k} \tag{41}$$

e

$$C = \frac{4\pi^2 m}{k} \tag{42}$$

chega-se a seguinte equação para a densidade:

$$\rho = \frac{1}{B}\left(\tau^2 - C\right), \tag{43}$$

onde *B* e *C* são constantes do equipamento, determinadas a partir de densidades e períodos de oscilação de substâncias conhecidas.

Com o conhecimento da densidade de duas substâncias conhecidas, calculam-se as constantes através das equações a seguir:

$$B = \frac{\tau_1^2 - \tau_2^2}{\rho_1 - \rho_2} \tag{44}$$

e

$$C = \tau_1^2 - \left(\rho_1 B\right) \quad , \tag{45}$$

onde *i* é uma substância de densidade conhecida.

A Figura 1 representa o tubo oscilador em forma de *U*, do densímetro de oscilação mecânica, fabricado pela Anton Paar, modelo DMA 4500, e usado para determinar as medidas de densidade do presente estudo.

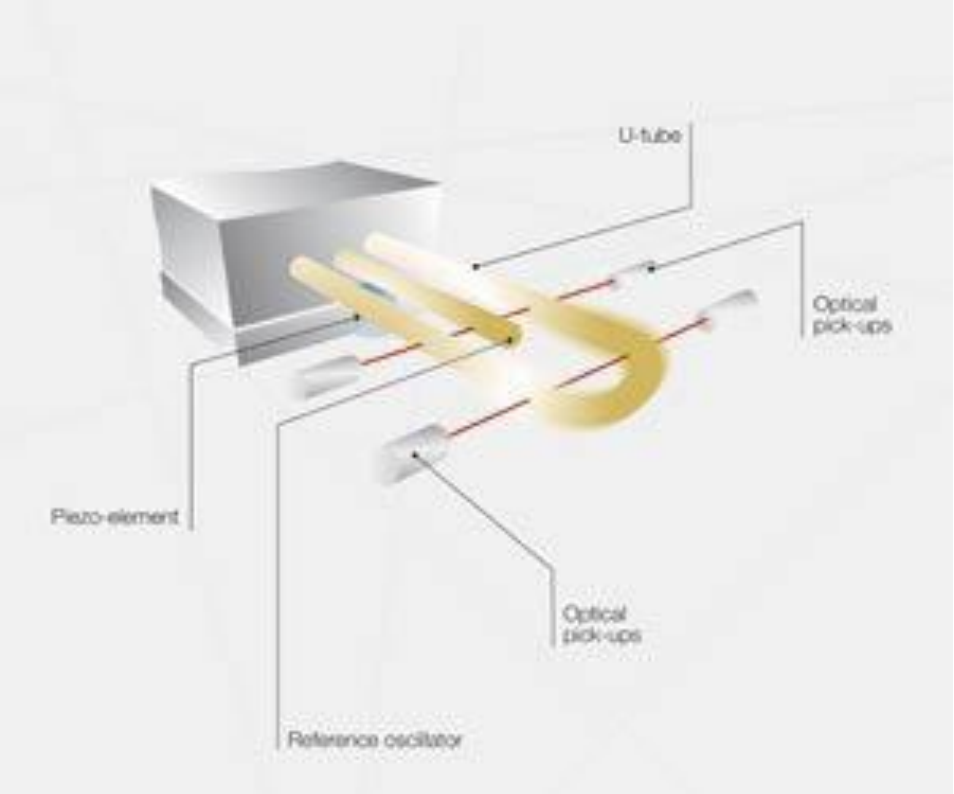


Figura 1 – Tubo Oscilador do Densímetro DMA 4500 – Fabricante Anton Paar.
Fonte: Manual de Instruções da Anton Paar (DMA 4500).

4.3 Metodologia

As densidades das soluções binárias foram obtidas através da técnica de densitometria de oscilação mecânica. Para a determinação da densidade dos componentes puros e das soluções binárias, utilizou-se um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar, modelo DMA 4500 (Figura 2). O equipamento foi calibrado pelo técnico responsável pelo laboratório segundo procedimento desenvolvido pela Anton Paar. O densímetro possui uma resolução de $1 \cdot 10^{-5}$ g·cm^{-3} em uma faixa de densidade entre 0 e 3 g·cm^{-3}. O volume da amostra necessária para a realização da medida é de aproximadamente 1 g·cm^{-3}. A temperatura do tudo oscilador é controlada automaticamente através de um dispositivo eletrônico Peltier. A faixa de temperatura, quando utilizado o sistema Peltier, varia entre 0 e 90 ºC, com resolução de 0,01 ºC. O dispositivo Peltier permite a operação do DMA 4500 sem a necessidade de banho externo.

Figura 2 – Densímetro de oscilação mecânica da Anton Paar – Modelo DMA 4500.
Fonte: Autor

4.4 Procedimento experimental

Para diminuir as perdas por evaporação dos componentes puros durante a pesagem, as atividades no laboratório foram realizadas em temperatura controlada a 19°C. Os componentes puros foram mantidos em frascos de 100 cm^3 para as atividades diárias e as soluções foram preparadas em frascos de 10 cm^3. Ambos os frascos foram lavados e colocados em estufa para eliminar a umidade antes do uso. Para a pesagem dos reagentes foi utilizada uma balança analítica fabricada pela OHAUS Adventurer (Modelo AR 2140, com resolução de $1 \cdot 10^{-4}$ g).

As frações molares das soluções foram determinadas utilizando a seguinte equação:

$$x_1 = \frac{m_1/M_1}{m_1/M_1 + m_2/M_2}, \tag{46}$$

onde x é fração molar, m a massa em grama e M é a massa molar.

As soluções, depois de preparadas, foram injetadas no densímetro através de seringas especiais de 5 cm^3. As leituras das densidades foram realizadas após equilíbrio térmico e nas diferentes temperaturas de estudo, iniciando-se da maior temperatura para a menor temperatura.

Após lidas as densidades, o tubo oscilador do densímetro DMA 4500 foi lavado com uma solução de água e sabão, e em seguida foi seco com acetona e ar antes da injeção da próxima solução. Já as seringas e os frascos foram lavados com água e sabão e colocados para secar em uma estufa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O volume molar excesso (V_m^E) foi calculado a partir das densidades dos componentes puros e das suas soluções, através da equação (47)

Por definição:

$$V_m^E = V_m - V^{ideal}$$

O desenvolvimento da equação anterior para um mol de uma solução binária constituída pelos componentes 1 e 2, leva a equação (47):

$$V_m^E = V_m - x_1 V_1^o - x_2 V_2^o$$

$$V_m^E = \frac{m}{\rho} - x_1 V_1^o - x_2 V_2^o$$

$$V_m^E = \frac{x_1 M_1 + x_2 M_2}{\rho} - \frac{x_1 M_1}{\rho_1} - \frac{x_2 M_2}{\rho_2}$$

$$V_m^E = x_1 M_1 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_1} \right) + x_2 M_2 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_2} \right), \quad (47)$$

onde x_i é a fração molar, M_i é a massa molar, ρ_i é a densidade do componente puro, e ρ é a densidade da solução.

Os resultados experimentais das frações molares, densidades e das propriedades volumétricas encontram-se no APÊNDICE A.

As incertezas nos valores do volume molar excesso são apresentadas na Tabela 5. Os cálculos das incertezas são apresentados no APÊNDICE C.

Os valores de V_m^E experimentais foram ajustados através do seguinte polinômio de Redlich-Kister (REDLICH, KISTER, 1948):

$$V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} = x_2(1-x_2)\sum_{j=0}^{n} A_j(1-2x_2)^j \,, \tag{48}$$

com *j* variando de 0 a 3.

Os valores do desvio quadrático médio foram calculados a partir da equação abaixo:

$$\sigma = \left[\sum \left\{V_{(\mathrm{exp})}^{\mathrm{E}} - V_{(\mathrm{cal})}^{\mathrm{E}}\right\}^2 /(N-n)\right]^{1/2}, \tag{49}$$

onde *N* é o número de dados experimentais e *n* é o número de coeficientes do polinômio.

Tabela 5 – Valores calculados da incerteza do volume molar excesso para as diferentes composições e temperaturas.

	T / K				
Sistemas	288,15	293,15	298,15	303,15	308,15
			$x_1 = 0{,}9$		
Glicerol + metanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + etanol	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004
Glicerol + 1-propanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 2-propanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 1-butanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
			$x_1 = 0{,}5$		
Glicerol + metanol	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0003
Glicerol + etanol	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004
Glicerol + 1-propanol	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 2-propanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 1-butanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
			$x_1 = 0{,}1$		
Glicerol + metanol	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0004	± 0,0004
Glicerol + etanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 1-propanol	± 0,0006	± 0,0006	± 0,0006	± 0,0007	± 0,0007
Glicerol + 2-propanol	± 0,0007	± 0,0007	± 0,0007	± 0,0007	± 0,0007
Glicerol + 1-butanol	± 0,0008	± 0,0008	± 0,0008	± 0,0008	± 0,0008

Fonte: Autor

Os coeficientes A_j, obtidos pelo método dos mínimos quadrados, estão apresentados na tabela 6, juntamente com os desvios padrões.

Tabela 6 - Coeficiente Aj ajustados pela equação (48) e os desvios padrões, σ, calculados pela equação (49).

T / K	A_o / cm^3·mol^{-1}	A_1 / cm^3·mol^{-1}	A_2 / cm^3·mol^{-1}	A_3 / cm^3·mol^{-1}	σ x 10^{-2} / cm^3·mol^{-1}
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) CH_3OH					
288,15	-4,05526	-1,89591	-0,94453	-1,30021	1,132
293,15	-4,21420	-1,94683	-1,06807	-1,19480	1,061
298,15	-4,34670	-2,01106	-1,08433	-1,23663	1,034
303,15	-4,48248	-2,06893	-1,10062	-1,30284	1,031
308,15	-4,61902	-2,12134	-1,13228	-1,38896	1,018
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) CH_3CH_2OH					
288,15	-3,73149	-0,76020	-0,54400	-0,67345	0,575
293,15	-3,88854	-0,79782	-0,57280	-0,44400	0,278
298,15	-4,00277	-0,75733	-0,51864	-0,70646	0,844
303,15	-4,12065	-0,78113	-0,44776	-0,78788	0,891
308,15	-4,23440	-0,77279	-0,38481	-0,92178	1,046
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) $CH_3(CH_2)_2OH$					
288,15	-2,47349	0,21987	-0,43685	-0,41297	1,100
293,15	-2,59148	0,22798	-0,51029	-0,21574	0,956
298,15	-2,68279	0,24021	-0,46250	-0,22326	0,903
303,15	-2,77720	0,26192	-0,41749	-0,23002	0,851
308,15	-2,87880	0,29327	-0,38257	-0,24190	0,904
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) $CH_3(CH_2)_3(OH)$					
288,15	-1,47130	0,30552	-0,56124	0,41225	0,653
293,15	-1,56927	0,33360	-0,63258	0,55639	0,679
298,15	-1,65004	0,35427	-0,56764	0,51938	0,638
303,15	-1,73157	0,40349	-0,56823	0,48970	0,642
308,15	-1,81779	0,44377	-0,53409	0,46943	0,644
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) $CH_3CH(OH)CH_3$					
288,15	-3,30930	0,33579	-0,31593	0,04677	1,176
293,15	-3,46644	0,34338	-0,36959	0,22715	1,088
298,15	-3,59903	0,35236	-0,31764	0,20897	1,085
303,15	-3,74495	0,35766	-0,26192	0,20417	1,095
308,15	-3,90641	0,39132	-0,18128	0,19511	1,146

Fonte: Autor

As figuras 3-7 mostram o comportamento da densidade, em função da fração molar do glicerol, para todos os sistemas e temperaturas estudados. Em todos os sistemas, a densidade

aumenta monotonicamente com o aumento da fração molar e diminui com o aumento da temperatura. A figura 8 apresenta uma comparação da densidade, para os diferentes sistemas, a T = 298,15 K.

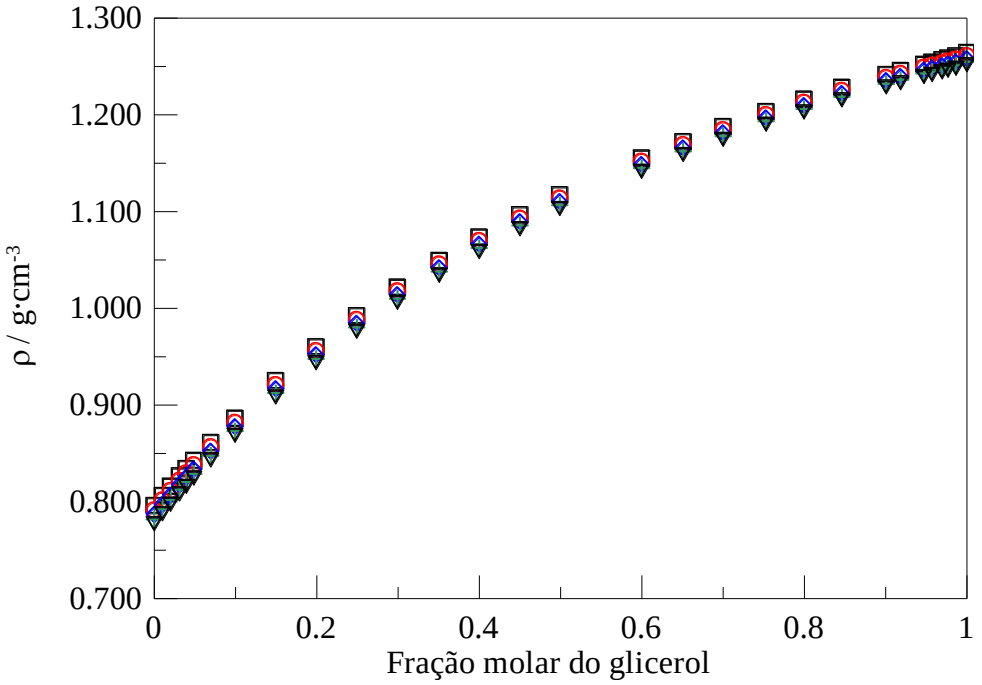


Figura 3 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K

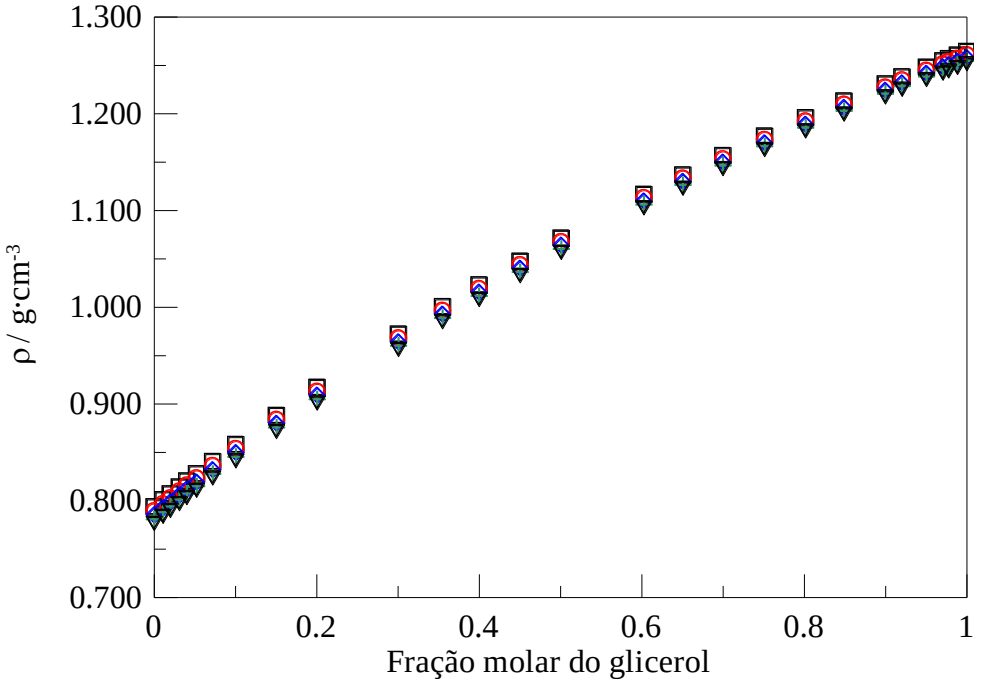


Figura 4 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legemda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K.

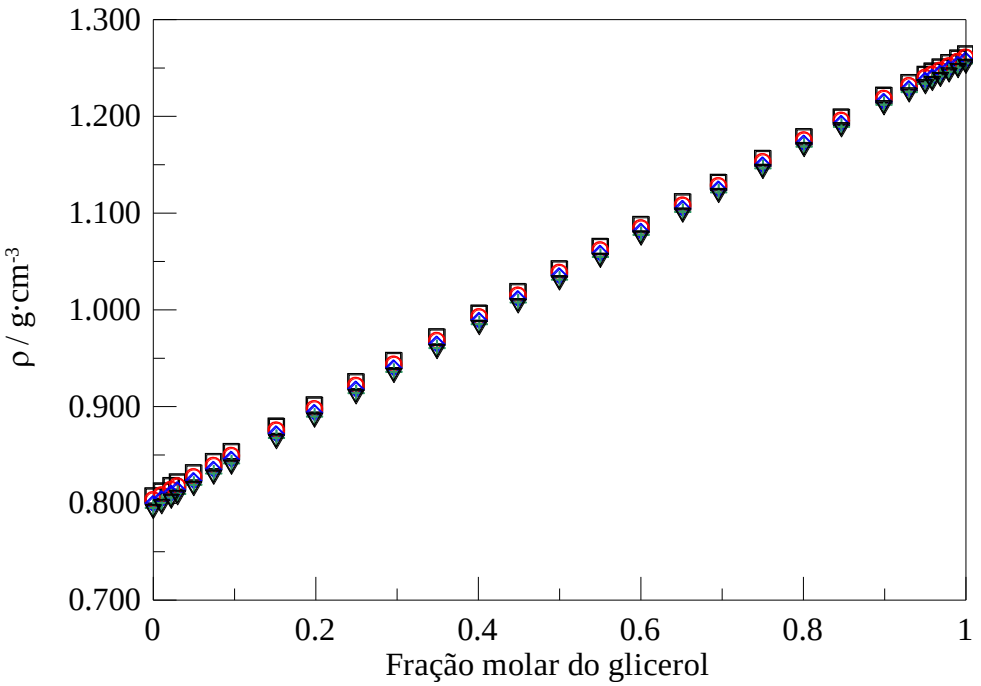


Figura 5 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K

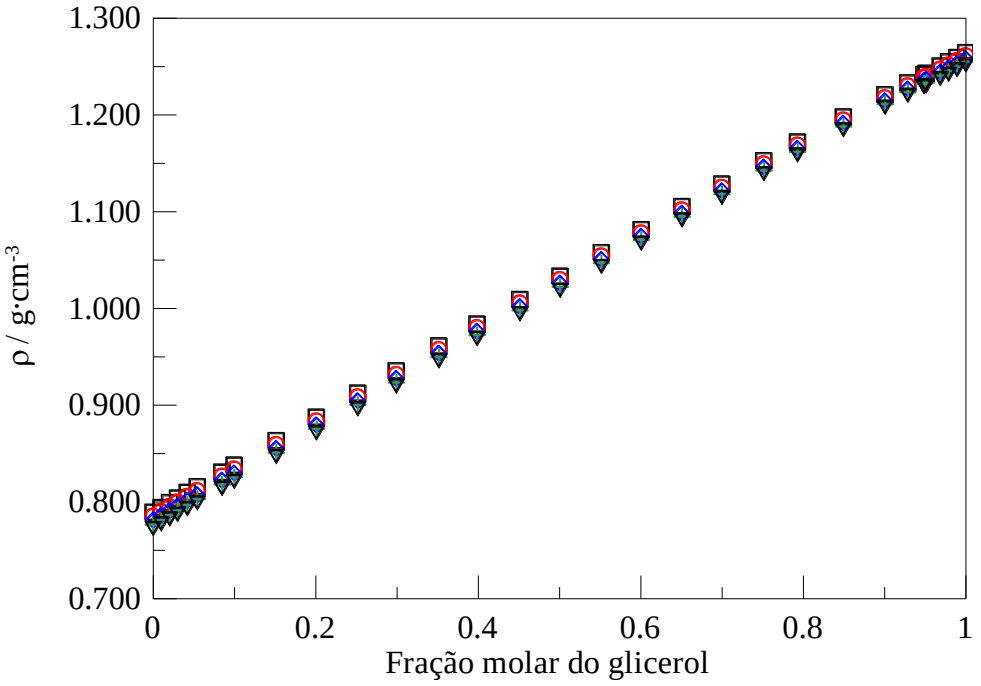


Figura 6 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K

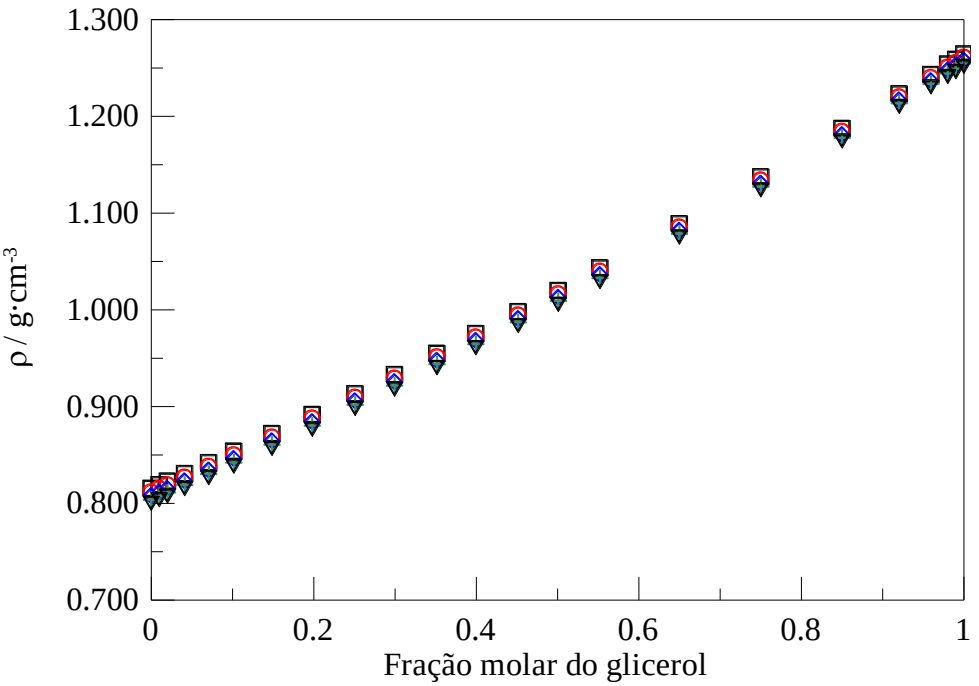


Figura 7 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K

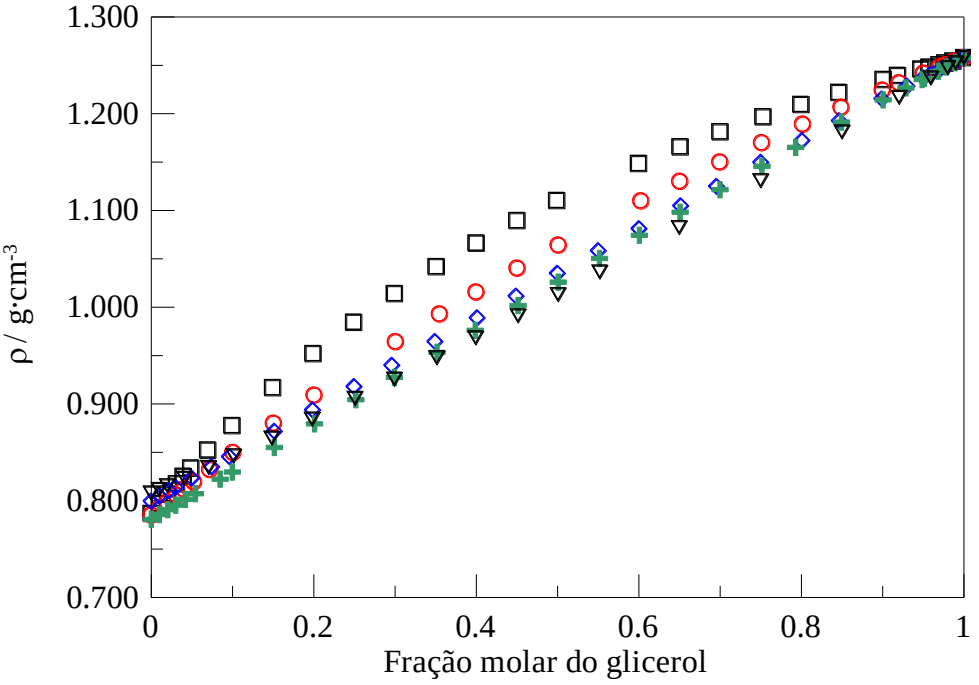


Figura 8 – Densidade, em função da fração molar do glicerol, a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, metanol; ○, etanol ; ◇, 1-propanol; ✚, 2-propanol; ▽, 1-butanol

As figuras 9-13 apresentam os valores de volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, a diferentes temperaturas. Para todos os sistemas estudados, V_m^E é negativo em toda faixa de composição e temperaturas estudadas, e a contração segue a sequência: metanol > etanol > 2-propanol > 1-propanol > 1-butanol. Isso também pode ser observado na figura 14.

Valores negativos do volume molar excesso são atribuídos a dois principais fenômenos: (1) devido a efeitos estruturais decorrentes das acomadações das moléculas dos componentes presentes no sistema como consequência da diferença dos seus volumes molares e volumes livres; (2) devido a interações específicas, principalmente pela formação de complexo de transferência de carga e ligações de hidrogênio entre as diferentes espécies químicas presentes no sistema.

A molécula do glicerol apresenta três grupamentos hidroxila (-OH) e isso faz acreditar que o glicerol possa realizar ligações de hidrogênio com os álcoois levando a valores negativos do V_m^E.

A Figura 15 mostra uma comparação entre os valores do volume molar excesso encontrado no presente estudo com aqueles ibtidos por Li, Su e Wang (2007) para os sistemas glicerol + 1-propanol e glicerol + 2-propanol.

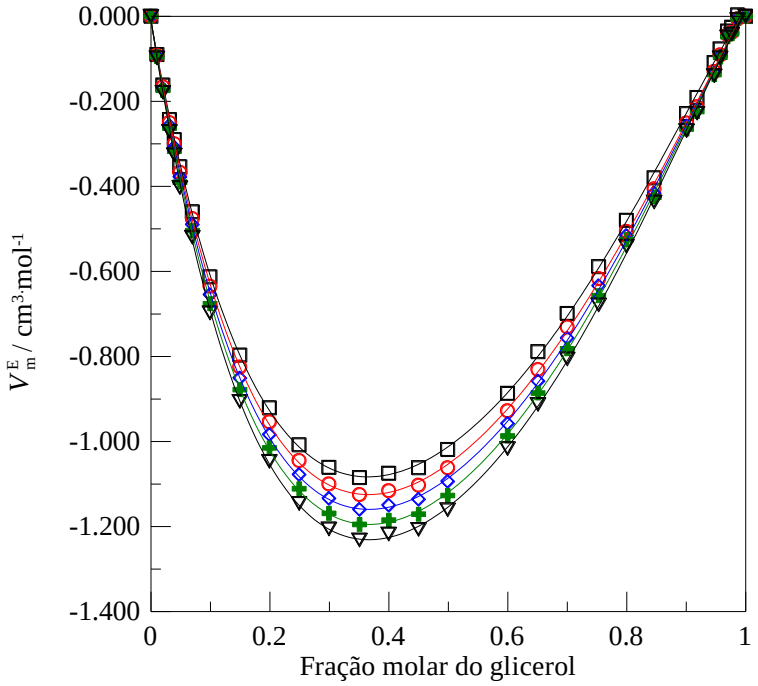


Figura 9 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K. As linhas sólidas representam a correlação Redlich-Kister

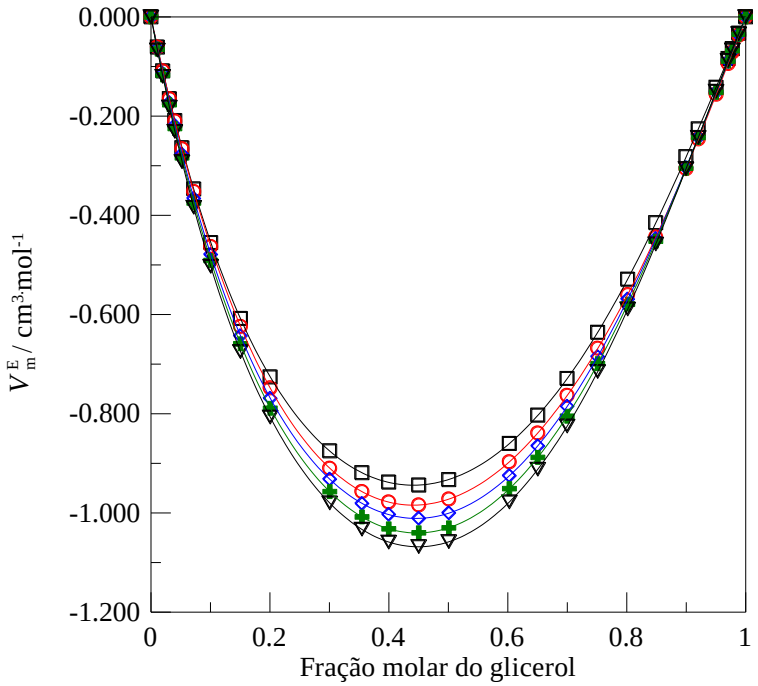


Figura 10 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K. As linhas sólidas representam a correlação Redlich-Kister

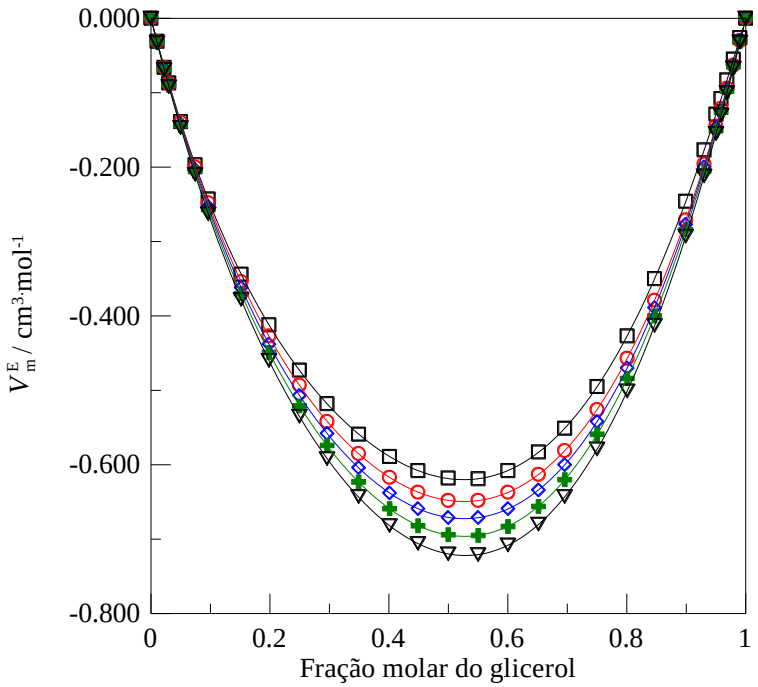


Figura 11 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K. As linhas sólidas representam a correlação Redlich-Kister

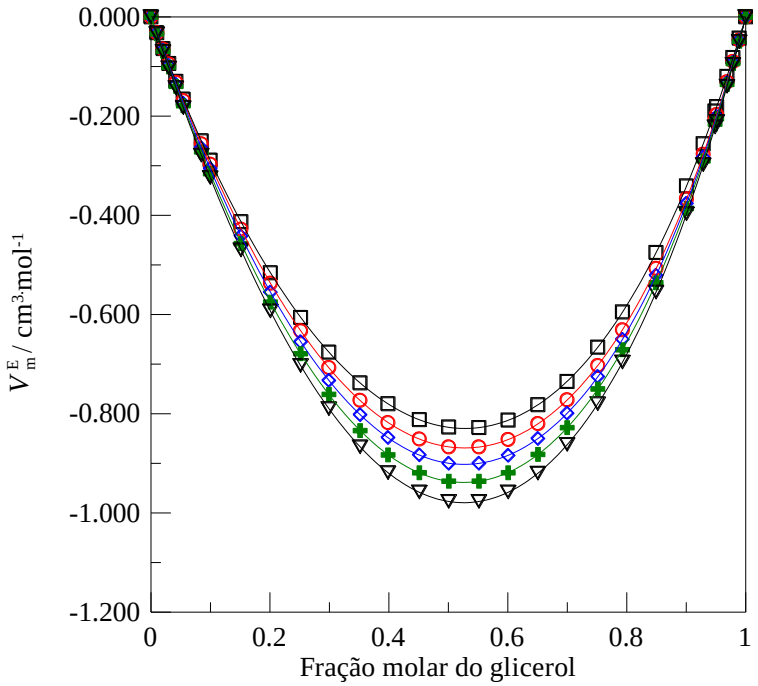


Figura 12 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K. As linhas sólidas representam a correlação Redlich-Kister

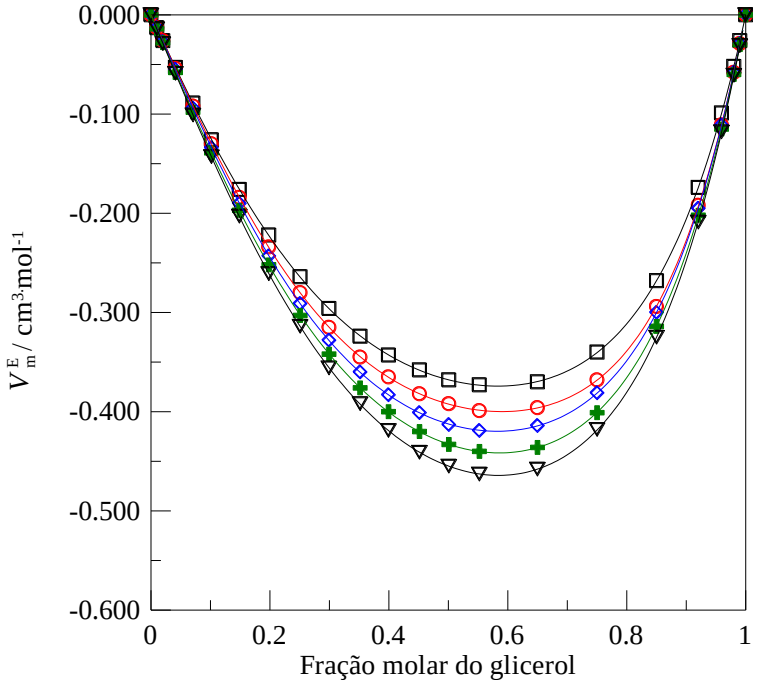


Figura 13 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K; ▽, 308,15 K. As linhas sólidas representam a correlação Redlich-Kister

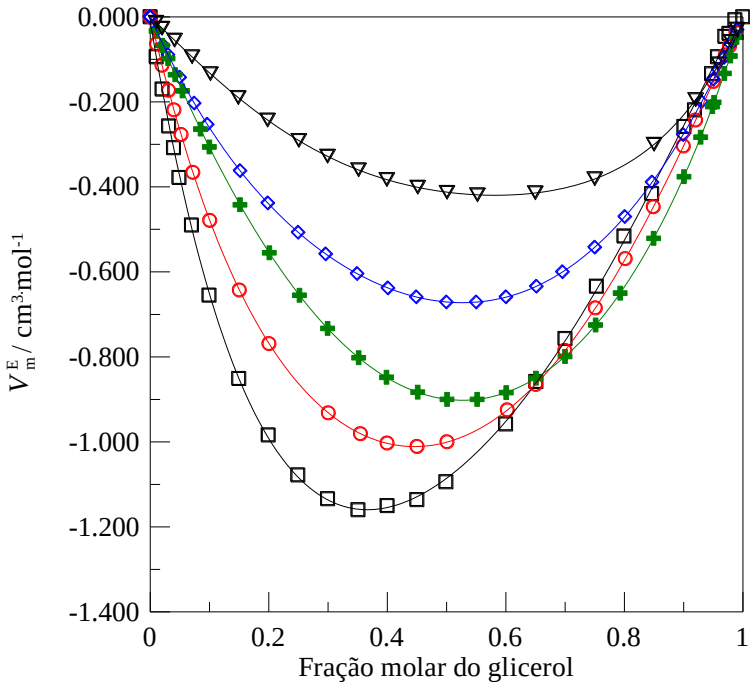


Figura 14 - Volume molar excesso, em função da fração molar do glicerol, a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, metanol; ○, etanol; ◇, 1-propanol; ✚, 2-propanol; ▽, 1-butanol

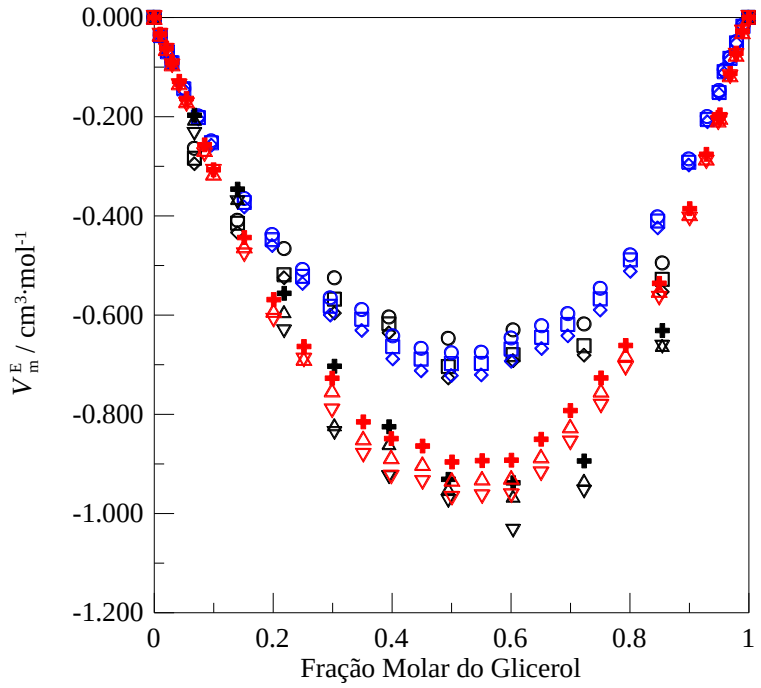


Figura 15 – Comparação do volume molar excesso em função da fração molar do glicerol, para os sistemas {x_1 glicerol + (1 – x_1) álcoois}: 1-Propanol: ○, 298,15 Li, Su e Wang (2007); ○, 298,15 Autor; ☐, 303,15 K Li, Su e Wang (2007); ☐, 303,15 K Autor; ◇, 308,15 K Li, Su e Wang (2007); ◇, 308,15 K Autor. 2-Propanol: ✚, 298,15 K Li, Su e Wang (2007); ✚, 298,15 K Autor; Δ, 303,15 K Li, Su e Wang (2007); Δ, 303,15 K Autor; ▽, 308,15 K Li, Sue Wang (2007); ▽, 308,15 K Autor.
Fonte: Autor

As tabelas 7 e 8 mostram que há uma diferença considerável entre o volume molar do glicerol e dos alcoóis estudados. Uma vez que os desvios negativos seguem a sequência glicerol + metanol > glicerol + etanol > glicerol + 2-propanol > glicerol + 1-propanol > glicerol + 1-butanol, é possível que os efeitos estruturais também sejam importantes nesses sistemas. A 298,15 K o volume molar do metanol é 40,731 $cm^3 \cdot mol^{-1}$ enquanto que o volume molar do glicerol é 73,216 $cm^3 \cdot mol^{-1}$. A maior contração para o sistema contendo metanol pode ser explicada pela maior acomodação intersticial das moléculas do metanol na estrutura do glicerol como consequência da diferença nos volumes molares e volumes livres entre as espécies químicas quando a solução é formada. Esse efeito tende a diminuir a medidas que a cadeia carbônica dos álcoois cresce.

Tabela 7 - Volume parcial molar e volume parcial molar excesso à diluição infinita do componente 1.

T / K	V_1^{o} / $cm^3 \cdot mol^{-1}$	$\overline{V}_1^{\infty}$ / $cm^3 \cdot mol^{-1}$ Eq. (54)	$V_{\phi 1}$ / $cm^3 \cdot mol^{-1}$ Eq. (58)	V_m^{E} / $cm^3 \cdot mol^{-1}$ Eq. (60)	$V_1^{o} - \overline{V}_1^{\infty}$ / $cm^3 \cdot mol^{-1}$
$x_1\ C_3H_8O_3 + (1 - x_1)\ CH_3OH$					
288.15	72,848	71,055	64,691	63,619	-1,793
293.15	73,039	70,906	63,768	63,755	-2,133
298.15	73,218	71,042	63,796	63,784	-2,176
303.15	73,400	71,196	63,868	63,855	-2.204
308.15	73,584	71,350	63,795	63,783	-2,234
$x_1\ C_3H_8O_3 + (1 - x_1)\ CH_3CH_2OH$					
288.15	72,843	70,002	66,639	66,640	-2,841
293.15	73,037	69,819	66,672	66,672	-3,218
298.15	73,216	70,158	66,785	66,785	-3,058
303.15	73,398	70,397	66,872	66,873	-3,001
308.15	73,582	70,657	66,811	66,812	-2,925
$x_1\ C_3H_8O_3 + (1 - x_1)\ CH_3(CH_2)_2OH$					
288.15	72,843	70,124	69,289	69,291	-2,719
293.15	73,039	69,924	69,425	69,427	-3,115
298.15	73,218	70,054	69,644	69,645	-3,164
303.15	73,401	70,173	69,834	69,835	-3,228
308.15	73,583	70,268	69,998	70,000	-3,315
$x_1\ C_3H_8O_3 + (1 - x_1)\ CH_3(CH_2)_3OH$					
288.15	72,854	70,096	71,428	71,435	-2,758
293.15	73,045	69,947	71,660	71,667	-3,098
298.15	73,224	70,128	71,741	71,747	-3,096
303.15	73,406	70,207	72,028	72,034	-3,199
308.15	73,590	70,319	72,117	72,123	-3,271
$x_1\ C_3H_8O_3 + (1 - x_1)\ CH_3CH(OH)CH_3$					
288.15	72,847	68,837	69,502	69,504	-4,010
293.15	73,044	68,633	69,792	69,796	-4,411
298.15	73,223	68,741	69,904	69,908	-4,482
303.15	73,405	68,833	70,031	70,034	-4,572
308.15	73,587	68,910	70,053	70,056	-4,677

Fonte: Autor

Tabela 8: Volume parcial molar e volume parcial molar excesso á diluição infinita do componente 2.

T / K	V_2^o / cm³·mol⁻¹	$\overline{V}_2^\infty$ / cm³·mol⁻¹ Eq. (55)	$V_{\phi 2}$ / cm³·mol⁻¹ Eq. (59)	V_m^E / cm³·mol⁻¹ Eq. (60)	$V_2^o - \overline{V}_2^\infty$ / cm³·mol⁻¹
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) CH_3OH					
288.15	40,253	32,046	40,798	39,662	-8,207
293.15	40,489	32,054	40,352	40,363	-8,435
298.15	40,731	32,042	40,533	40,544	-8,689
303.15	40,978	32,013	40,823	40,833	-8,965
308.15	41,228	31,955	40,976	40,988	-9,273
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) CH_3CH_2OH					
288.15	58,087	52,356	55,585	55,587	-5,731
293.15	58,379	52,673	55,329	55,331	-5,706
298.15	58,698	52,710	55,560	55,563	-5,988
303.15	59,023	52,883	55,803	55,805	-6,140
308.15	59,353	53,037	56,119	56,122	-6,316
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) $CH_3(CH_2)_2OH$					
288.15	74,435	71,328	73,346	73,359	-3,107
293.15	74,805	71,711	73,260	73,264	-3,094
298.15	75,180	72,047	73,635	73,639	-3,133
303.15	75,561	72,395	73,803	73,807	-3,166
308.15	75,945	72,731	74,192	74,196	-3,214
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) $CH_3(CH_2)_3OH$					
288.15	90,915	89,601	88,806	88,805	-1,314
293.15	91,339	90,030	88,958	88,956	-1,309
298.15	91,775	90,433	89,297	89,295	-1,342
303.15	92,219	90,815	89,625	89,622	-1,404
308.15	92,670	91,233	89,914	89,912	-1,437
x_1 $C_3H_8O_3$ + (1 - x_1) $CH_3CH(OH)CH_3$					
288.15	76,153	72,912	74,095	74,097	-3,241
293.15	76,555	73,287	74,181	74,183	-3,268
298.15	76,967	73,612	74,496	74,497	-3,355
303.15	77,391	73,947	74,798	74,801	-3,444
308.15	77,822	74,320	75,155	75,157	-3,502

Fonte: Autor

A figura 16 mostra o comportamento do volume molar excesso em função da temperatura a composição x = 0,5. Para todos os sistemas estudados, volume molar excesso aumenta em módulo, isto é, diminui com o aumento da temperatura. Isso leva a $\left(\partial V_m^E / \partial T\right)$ negativo, apesar do fato da formação de complexo diminuir com o aumento da temperatura. Segundo estudo na literatura (HEPLER E FENBY, 1973), os valores negativos de $\left(\partial V_m^E / \partial T\right)$ podem ser explicados em termos de uma diminuição no volume molar do complexo formado

quando a temperatura aumenta. Esse efeito mais que compensaria a diminuição na extensão da formação do complexo.

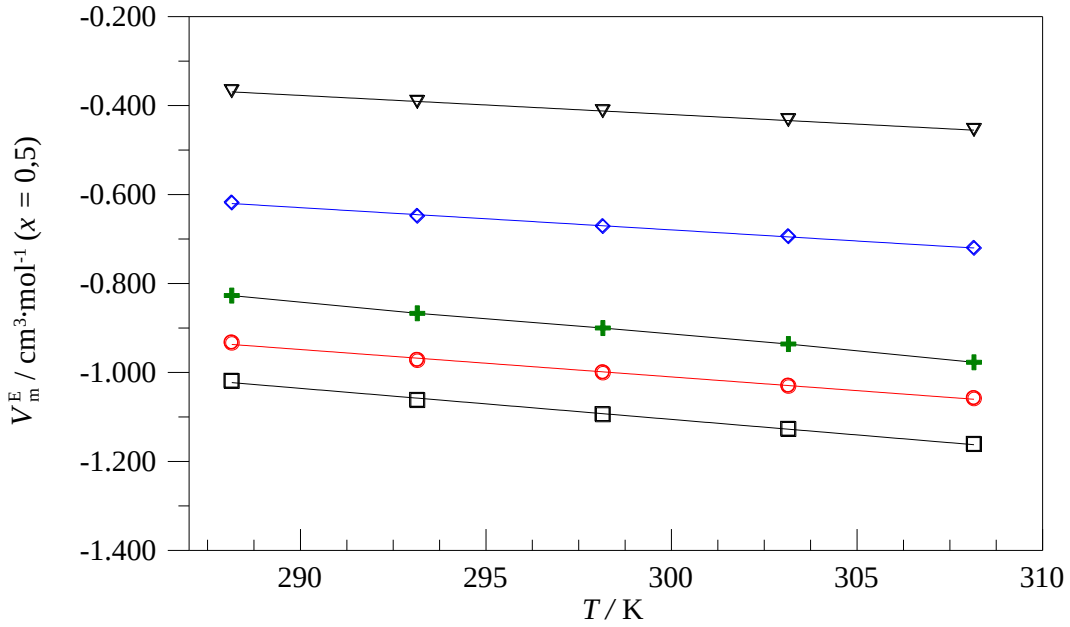


Figura 16 – Volume molar excesso em função da temperatura a x = 0,5.
Fonte: Autor
Legenda: □, metanol; ○, etanol; ◇, 1-propanol; ✚, 2-propanol; ▽, 1-butanol

Os volumes parciais molares excesso $\overline{V}_1^{\,E} = (\overline{V}_1 - V_1^o)$ e $\overline{V}_2^{\,E} = (\overline{V}_2 - V_2^o)$ e os volumes parciais molares, $\overline{V}_1$ e $\overline{V}_2$, foram calculados a partir das equações abaixo:

$$\overline{V}_1 = V_m^E + V_1^o - x_2\left(\partial V_m^E / \partial x_2\right)_{p,T} \tag{50}$$

e

$$\overline{V}_2 = V_m^E + V_2^o + (1 - x_2)\left(\partial V_m^E / \partial x_2\right)_{p,T} \tag{51}$$

Diferenciando a equação (49) em relação a x_2 e combinando os resultados da diferenciação com as equações (50) e (51), obtêm-se as seguintes equações para os volumes parciais molares do componente 1 ($\overline{V}_1$) e do componente 2 ($\overline{V}_2$):

$$\overline{V}_1 = V_1^o + x_2^2 \sum_{j=0}^{j=n} A_j (1 - 2x_2)^j + 2x_2^2 (1 - x_2) \sum_{j=0}^{j=n} A_j (j)(1 - 2x_2)^{j-1} \tag{52}$$

e

$$\overline{V}_2 = V_2^o + (1-x_2)^2 \sum_{j=0}^{j=n} A_j (1-2x_2)^j - 2x_2(1-x_2)^2 \sum_{j=0}^{j=n} A_j (j)(1-2x_2)^{j-1} \quad (53)$$

Os valores dos volumes parciais molares e parciais molares excesso são apresentados nas figuras B1-B20. É possível observar que os valores dos volumes parciais molares são menores do que os correspondentes volumes molares dos componentes puros, V_1^o e V_2^o, o que leva a valores negativos dos volumes parciais molares excesso. Esse fato pode ser um indicativo de que as interações entre as diferentes moléculas presentes no sistema são mais fortes do que as interações presentes nos componentes puros.

O cálculo dos volumes parciais molares e parciais molares excesso à diluição infinita foram também objetos de estudo.

Tomando como valores do $x_2 = 1$ e $x_1 = 0$ na equação (52) e $x_1 = 1$ e $x_2 = 0$ na equação (53), obtém-se os respectivos volumes parciais molares à diluição infinita:.

$$\overline{V}_1^{\infty} = V_1^o + \sum_{j=0}^{j=n} A_j (-1)^j \quad (54)$$

e

$$\overline{V}_2^{\infty} = V_2^o + \sum_{j=0}^{j=n} A_j \quad (55)$$

Assim, as equações (54) e (55) representam os volumes parciais molares à diluição infinita do glicerol e dos álcoois, respectivamente.

Os volumes parciais molares também podem ser calculados pelo volume molar aparente. Os volumes molares aparentes de cada componente dos sistemas binários podem ser apresentados pelas seguintes equações:

$$V_{\phi_1} = (V_m - x_2 V_2^o) / x_1 \quad (56)$$

e

$$V_{\phi_2} = (V_m - x_1 V_1^o) / x_2 \quad (57)$$

O volume molar aparente também pode ser expresso através do volume molar excesso:

$$V_{\phi 1} = V_1^o + (V_m^E / x_1) \quad (58)$$

e

$$V_{\phi 2} = V_2^{o} + (V_m^E / x_2) \tag{59}$$

Uma extrapolação gráfica ou analítica do V_{ϕ_1} para $x_1 = 0$ ($x_2 = 1$), e do V_{ϕ_2} para $x_2 = 0$ ($x_1 = 1$) levaram aos valores, respectivamente, do $\overline{V}_1^{\infty}$ e do $\overline{V}_2^{\infty}$.

O volume parcial molar à diluição infinita também foi calculado, a partir do volume molar excesso, usando um método baseado na extrapolação do "volume reduzido". Esse método foi obtido rearranjando a equação (58) e dividindo por x_2:

$$V_m^E / x_1 x_2 = (V_{\phi_1} - V_1^{o}) / x_2 . \tag{60}$$

A extrapolação linear do "volume reduzido" representado, por $V_m^E / x_1 x_2$, para $x_1 = 0$ e para $x_1 = 1$, também levaram aos valores do $\overline{V}_1^{\infty}$ e do $\overline{V}_2^{\infty}$.

O método de obtenção do $\overline{V}_1^{\infty}$ e $\overline{V}_2^{\infty}$ utilizando as equações (54) e (55), pela extrapolação do V_{ϕ_1} e do V_{ϕ_2} ou pela extrapolação do $V_m^E / x_1 x_2$ para $x_1 = 0$ ou 1 levaram a valores equivalentes dos volumes parciais molares à diluição infinita.

Os valores dos volumes parciais molares à diluição infinita calculados pelos três diferentes métodos, assim como os valores dos volumes parciais molares excesso à diluição infinita, são apresentados nas Tabelas 7 e 8. Para todos os sistemas, os valores dos volumes molares à diluição infinita são menores que os volumes molares dos componentes puros. Como consequência, os valores dos $\overline{V}_1^{E,\infty}$ e dos $\overline{V}_2^{E,\infty}$ são negativos. Isso leva acreditar que as interações soluto-solvente são mais intensas do que as interações presentes nos componentes puros.

6 CONCLUSÕES

Os valores das propriedades volumétricas encontradas no presente estudo levam a acreditar que os efeitos químicos e estruturais devem prevalecer sobre os efeitos físicos para os sistemas estudados.

A influência dos efeitos químicos pode ser consequência de possíveis ligações de hidrogênio entre o glicerol e os álcoois presentes nas soluções. Os grupamentos hidroxila presentes nas estruturas dos compostos favorecem esse tipo de interação. Contudo, essa certeza só é possível com estudos espectroscópicos.

Já a contribuição dos efeitos estruturais deve-se a acomodações intersticiais das moléculas dos álcoois na estrutura do glicerol como consequência das diferenças entre os volumes molares e volumes livres das moléculas presentes nos sistemas.

A correlação do polinômio de Redlich-Kister, usando quatro parâmetros, mostrou boa concordância com os resultados experimentais.

O estudo também mostrou que a temperatura influencia no comportamento dos volumes molares excesso dos sistemas estudados.

Como recomendação de trabalhos futuros, sugere-se estudar a entalpia molar excesso e o equilíbrio líquido-vapor dos sistemas binários do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ACREE, W.E. Thermodynamics properties of nonelectrolyte solutions. **Academic**, 1984.

ADAMENKO, I.I.; et al. Anomalous behavior of glycerol–water solutions. **Journal of Molecular Liquids**, Ukraine, v. 127, p. 90-92, Aug 2006.

ALKINDI, A.; AL-WAHAIBI, Y.; MUGGERIDGE A. Physical properties (density, excess molar volume, viscosity, surface tension, and refractive index) of ethanol + glycerol. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Oman, v.53, p. 2793-2796, Nov. 2008.

AMINABHAVI, T.M.; et al. Densities, viscosities, refractive indices, and speeds of sound for methyl acetoacetate + aliphatic alcohols (C_1-C_8). **The Journal of Chemical & Engineering Data**, India, v. 38, p. 31-39, Jan. 1993.

BENDER, T.M.; VAN HOOK, W.A. Molar volumes of CH3OH, CH3OD, and CD3OD, and apparent or excess molar volumes for (methanol-OH + water), (methanol-OD + deuterium oxide), and (methanol-OH + methanol-OD), at 288.15, 298.15, and 313.15 K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, USA, v. 20, p. 1109-1114, Sept. 1988.

BHUIYAN, M.M.H.; UDDIN, M.H. Excess molar volumes and excess viscosities for mixtures of N,N-dimethylformamide with methanol, ethanol and 2-propanol at different temperatures. **Journal of Molecular Liquids**, Japan, v. 138, p. 139-146, Feb. 2008.

BLANCO, A.M.; ORTEGA, J. Experimental study of miscibility, density and isobaric vapor-liquid equilibrium values for mixtures of methanol in hydrocarbons (C5, C6) **Fluid Phase Equilibria**, Spain, v. 122, p. 207-222, July 1996.

BOUSTANI, A.; MAINI, B. The role of diffusion and convective dispersion in vapour extraction process. **Journal of Canadian Petroleum Technology**, Italy, v. 40, p. 68-77, Apr. 2001.

CALLAM, C.S.; et al. Computational analysis of the potential energy surfaces of glycerol in the gas and aqueous phases: effects of level of theory, basis set, and solvation on strongly intramolecularly hydrogen-bonded systems**. Journal of the American Chemical Society**, USA, v. 123, p. 11743–11754, Nov. 2001.

CHAMPENEY, D.C.; JOARDER, R.N.; DORE, J.C. Structural studies of liquid D-glycerol by neutrondiffraction. **Molecular Physics Journal,** United Kingdon, v. 58, p. 337–347, June 1986.

CHELLI, R.; et al. Glycerol condensed phases Part I. A molecular dynamics study. **Physical Chemistry Chemical Physics,** Italy, v. 1, p. 871–877, Mar 1999a.

CHELLI, R.; et al. Glycerol condensed phases. Part II: a molecular dynamics study of the conformational structure and hydrogen bonding. **Physical Chemistry Chemical Physics**, Italy, v. 1, p. 879–885, Mar 1999b.

CHELLI, R.; et al. Density functional calculation of structural and vibrational properties of glycerol. **The Journal of Physical Chemistry**, Italy, v. A104, p. 5351–5357, June 2000.

CHEN, S.-D.; Q.-F. LEI, W.-J. FANG, Viscosities and densities for binary mixtures of N-methylpiperazine with methanol, ethanol, n-propanol, iso-propanol, n-butanol and iso-butanol at 293,15, 298,15 and 303.15 K. **Fluid Phase Equilibria**, China, v. 234, p. 22-33, July 2005.

COCCHI M.; et al. Density and volumetric properties of ethane-1,2-diol + di-ethylen-glycol mixtures at different temperatures. **Fluid Phase Equilibria,** Italy, v. 172, p. 93-104, May 2000.

COLLINS, P. M. **Dictionary of carbohydrates**. CRC, 2005, p. 584-986 (em inglês).

ĆWILIŃSKA A., et al. M. Excess molar volumes and deviations of the relative permittivity of the binary mixtures of 2-propoxyethanol with diethylene, triethylene, and tetraethylene glycols at various temperatures. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, Poland, v. 40, p. 476 - 482, Feb. 2008.

DAS, S. K.; BUTLER, R. M. Mechanisms of the vapour extraction process for heavy oil and bitumen. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Canada, v. 21, p. 43-59, Sept. 1998.

DASHNAU, J.L.; et al. Hydrogen bonding and the cryoprotective properties glycerol/water mixtures. **The Journal of Physical Chemistry**, USA, v. B110, p. 13670–13677, July 2006.

DAWIDOWSKI, J.; et al. Coherent neutron scattering response from glassy glycerol. **Phys. Rev**., v. E53, p. 5079–5088, May 1996.

DUBEY G.; KUMAR K. Volumetric and viscometric properties of binary liquid mixtures of ethylene glycol monomethyl ether + 1-hexanol, 1-octanol, and 1-decanol at temperatures of *T* = (293.15, 298.15, 303.15, and 308.15) K. **Journal of Chemical & Engineering Data,** India, v. 55, p. 1700 - 1703, Apr. 2010.

EGOROV G., MAKAROV D. Volumetric Properties of Binary Mixtures of Glycerol +tert-Butanol over the Temperature Range 293.15 to 348.15K at Atmospheric Pressure. **Journal of Solution Chemistry**, Russia, v.41, p. 536-554, Apr 2012.

ERGOROV G.; MAKAROV D. Volumetric properties of the binary mixture of ethylene glycol + tert-butanol at *T* = (278.15, 288.15, 298.15, 308.15, 323.15, 333.15, 348.15) K under atmospheric pressure. **Journal of Molecular Liquids,** Russia, v. 171, p. 29 – 36, Apr 2012.

ERGOROV G.; MAKAROV D.; KOLKER A. Densities and volumetric properties of ethylene glycol + dimethylsulfoxide mixtures at temperatures of (278.15 to 323.15) k and pressure of (0.1 to 100) MPa. **Journal of Chemical & Engineering Data.** Russia, v. 55, p. 3481 – 3488, Sept 2010.

FRENKEL, M…et al. Thermodynamics properties of organic compounds and their mixtures. Berlin, **Springe**, 1998.

GARAWI, M.; DORE, J.C.; CHAMPENEY, D.C. Structural studies of liquid D-glycerol II. Molecular conformation and long range correlations. **Molecular Physics Journal**, United Kingdom, p. 62, v. 475–487, Oct. 1987.

GARCÍA-MIAJA, G.; TRONCOSO, J.; ROMANÍ, L. Excess properties for binary systems ionic liquid + ethanol: Experimental results and theoretical description using the ERAS model. **Fluid Phase Equilibria**, Spain, v. 274, p. 59-67, Dec. 2008.

GE, M.-L.; MA, J.-L.; CHU, B. Densities and Viscosities of Propane-1,2,3-triol + Ethane-1,2-diol at *T*) (298,15 to 338,15) K. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, China, v. 55, p. 2649-2651, Jan 2010.

GERHARTZ, Wolfgang (Ed.). **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. 5th. ed. rev. Weinheim: VCH, c1985-1996. v. ISBN 3527201017 v. A-12 p. 477-489 (Glycerol).

_____. **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. 5th. ed. rev. Weinheim: VCH, c1985-1996. v. ISBN 3527201017 v. A-4 p. 463-474 (Butanol).

_____. **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. 5th. ed. rev. Weinheim: VCH, c1985-1996. v. ISBN 3527201017 v. A-22 p. 173-183 (Propanol).

_____. **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. 5th. ed. rev. Weinheim: VCH, c1985-1996. v. ISBN 3527201017 v. A-16 p. 465-486 (Methanol).

_____. **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. 5th. ed. rev. Weinheim: VCH, c1985-1996. v. ISBN 3527201017 v. A-9 p. 587 - 653 (Ethanol).

GEYER H.; et al. Measurement of densities and excess molar volumes for (1,2-propanediol, or 1,2-butanediol + water) at the temperatures (288.15, 298.15 and 308.15) K and at the pressure (0.1, 20, 40, 60) MPa. **The Journal of Chemical Thermodynamics,** v. 33, p. 987 – 997, Germany, Set 2001.

GEYER H.; ULBIG P.; GÖRNET M. Measurement of densities and excess molar volumes for (1,2-ethanediol, or 1,3-propanediol, or 1,2-butanediol + water) at the temperatures (278.15, 288.15, 298.15, 308.15 and 318.15) K and for (2,3-butanediol + water) at the temperature (308.15, 313.15 and 318.15) K. **The Journal of Chemical Thermodynamics,** Germany, v. 32, p. 1585-1596, Dec. 2000.

GONZÁLEZ B.; et al. Density, dynamic viscosity, and derived properties of binary mixtures of methanol or ethanol with water, ethyl acetate, and methyl acetate at T = (293,15, 298,15, and 303,15) K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, Dinmark, v. 39, p. 1579-1588, Dec 2007.

Handbook of Chemistry and Physics, 71 st edition, Michigan, CRC Press Ann Arbor, 1990.

HEPLER, L.G.; FENBY, DV. Thermodynamic study of complex-formation between triethylamine and chloroform. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, New Zelandia, v. 5, p. 471-475, July 1973.

JIMÉNEZ E.; et al. Excess volume, changes of refractive index and surface tension of binary 1,2-ethanediol + 1-propanol or 1-butanol mixtures at several temperatures. **Fluid Phase Equilibria**, Spain, v. 180, p. 151-164, Apr. 2001.

JIMÉNEZ, E.; et al. Viscosities and densities for the 1-propanol + *n*-heptane system at several temperatures. **Journal of Solution Chemistry**, Spain, v. 27, p. 569-579, June 1998.

KHANLARZADEH K.; ILOUKHANI H. Experimental and theoretical study on excess molar enthalpy of binary mixtures containing isobutanol (1) + alkna-1-ols (C_1 – C_4) (2) at T = 298,15 K. **Journal of Molecular Liquids,** Iran, v.187, p.24-29, June 2013.

KIJEVČANIN, M.L.; et al. Volumetric properties of the ternary system ethanol + chloroform + benzene at temperature range (288.15–313.15) K: Experimental data, correlation and prediction by cubic EOS. **Fluid Phase Equilibria**, Serbia, v. 251, p. 78–92, Feb. 2007.

KIJEVČANIN M.; et al. Experimental determination and modeling of excess molar volumes, viscosities and refractive indices of the binary systems (pyridine + 1-propanol, + 1,2 – propanediol, + 1,3 – propanediol, and + glycerol). New UNIFAC-VISCO parameters determinations. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, Serbia, v. 56, p. 49 – 56, July 2013.

KU, H.-C.; TU, C.-H. Density and Viscosity of Binary Mixtures of Propan-2-ol, 1-Chlorobutane, and Acetonitrile. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Malaysia, v. 43, p. 465-468, Apr.1998.

KURNIA, K.A.; at al. Densities, refractive indices and excess molar volumes for binary mixtures of protic ionic liquids with methanol at T = 293,15 to 313,15 K. **Journal of Molecular Liquids**, Malaysia, v. 159, p. 211-219, Apr. 2011.

LEE, M.-J.; et al. Density and viscosity for monoethanolamine + 1-propanol, + 1-hexanol, and + 1-octanol. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Taiwan, v. 42, p. 854-857, Sept 1997.

LEHNINGER, A.; NELSON, D., LEHNINGER, M.C. **Principles of Biochemistry**, 5 ed., W.H. Freeman: New York, 2008.

LI, Q.; SU M.; WANG S. Densities and excess molar volumes for binary glycerol + 1-propanol, + 2-propanol, +1,2-propanediol, and + 1,3-propanediol mixtures at different temperatures. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, China, v. 52, p. 1141-1145, May 2007.

LIAU, W.–R.; TANG, M.; CHEN. Y.–P. Densities and viscosities of butyl acrylate + 1-butanol and ethyl laurate + 1-butanol at 293,15, 303,15, and 313,15 K. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Taiwan, v. 43, p. 826–829, Sept-Oct. 1998.

LORAS, S.; MONTON, B. J.; ESPAÑA, F. Vapor-liquid equilibria for the binary systems of methylcyclohexane with 1-propanol, 2-propanol, 1-butanol, and 2-butanol at 101.3 kPa. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Spain, v. 42, p. 914−918, Sept.-Oct. 1997.

MACHANOVÁ, K.; et al, M. Excess molar volumes and excess molar enthalpies in binary systems N-alkyl-triethylammonium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide + methanol. **Fluid Phase Equilibria**, Ireland, v. 363, p. 156–166, Feb. 2014.

MARCUS, Y. Some thermodynamic and structural aspects of mixtures of glycerol with water. **Physical Chemistry Chemical Physics**, Israel, v. 2, p. 4891–4896, July 2000.

MlKHAlL, S.Z.; KIMEL, W.R. Densities and viscosities of methanol-water mixtures. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, USA, v. 6, p. 533−537, Oct 1961.

MOKATE, O.; DDAMBA, W.A.A. Volumetric properties of difurylmethane in methanol from 288.15 to 308.15 K. **Journal of Solution Chemistry**, Botsuana,v. 34, p. 1327-1339, Nov. 2005.

MOOSAVI M.; et al. Thermodynamic study on some alkanediol solutions: Measurement and modeling. **Thermochimica Acta,** Iran, v. 561, p. 1 – 13, Mar. 2013.

NAIN A.K. Densities and volumetric properties of (formamide + ethanol, or 1-propanol, or 1,2-ethanediol, or 1,2-propanediol) mixtures at temperatures between 293.15 K and 318.15 K. **The Journal of Chemical Thermodynamics,** India, v. 39, p. 462 – 473, Mar. 2007.

NAIN, A.K.; et al. Densities and volumetric properties of ethyl acrylate + 1-butanol, or 2-butanol, or 2-methyl-1-propanol, or 2-methyl-2-propanol binary mixtures at temperatures from 288,15 to 318,15 K. **Journal of Molecular Liquids**, India, v.144, p. 138-144, Feb. 2009.

NIKAM, P.S.; et al. Densities and viscosities of binary mixtures of toluene with methanol, ethanol, propan-1-ol, butan-1-ol, pentan-1-ol, and 2-methylpropan-2-ol at (303.15, 308.15, 313.15) K. **Journal of Chemical & Engineering Data**, India, v. 45, p. 559-563, May 2000.

NIKAM, P.S.; SHIRSAT, L.N.; HASAN, M. Density and Viscosity Studies of Binary Mixtures of Acetonitrile with Methanol, Ethanol, Propan-1-ol, Propan-2-ol, Butan-1-ol, 2-Methylpropan-1-ol, and 2-Methylpropan-2-ol at (298,15, 303,15, 308,15, and 313,15) K. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, India, v. 43, p. 732-737, July 1998.

OSWAL, S.L.; DESAI, H.S. Studies of viscosity and excess molar volume of binary mixtures 2. Butylamine +1-alkanol mixtures at 303,15 and 313,15 K. **Fluid Phase Equilibria**, India, v. 161, p. 191–204, July 1999.

PAL, A.; GABA, R. Densities, excess molar volumes, speeds of sound and isothermal compressibilities for {2-(2-hexyloxyethoxy)ethanol + n-alkanol} systems at temperatures between (288,15 and 308,15) K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, India, v. 40, p. 750-758, May 2008.

PANG, F.-M.; et al. Densities and viscosities of aqueous solutions of 1-propanol and 2-propanol at temperatures from 293,15 K to 333,15 K. **Journal of Molecular Liquids**, Malaysia, v. 136, p. 71-78, Nov. 2007.

PARSA J.B.; FARAJI M. Volumetric properties and viscosities of the 2-pyrrolidone + 1,2-propanediol + water ternary system and its binary constituents at T = 313,15 K. **Journal of Molecular Liquids,** Iran, v.144, p. 102 - 107, Aug. 2008.

PARSA J.B., HAGHRO M.F. Excess molar volume and viscosity deviation for binary mixtures of polythylene glycol dimethyl ether 250 with 1,2-alkanediols (C_3 – C_6) at T = (293.15 to 323.15) K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**. Iran, v. 40, p. 782 – 788, Feb. 2008.

PEREIRA, S.M.; et al. Speeds of sound, densities, isentropic compressibilities of the system (methanol + polyethylene glycol dimethyl ether 250) at temperatures from 293,15 to 333,15K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, Spain, v. 35, p. 383-391, Mar. 2003.

REDLICH, O.; KISTER, A.T. Algebraic representation of thermodynamic properties and the classification of solutions. **Industrial and Engineering Chemistry**, USA, v. 40, p. 345-348, Feb 1948.

RIDDICK, J.A.; BUNGER, W.B.; SAKANO, T.K. **Organic solvents: Physical properties and methods of purification, techniques of chemistry**, 4°ed,. Wiley-Interscience, New York, 1986.

RODRÍGUEZ, A.; CANOSA, J.; TOJO. J. Physical properties of binary mixtures of (t-butyl methyl ether + alcohols) from T = 288,15 K to T = 298,15 K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, Spain, v. 31, p. 1009-1023, Aug. 1999.

RODRÍGUEZ G.; et al. Volumetric properties of glycerol formal+propylene glycol mixtures at several temperatures and correlation with the Jouyban-Acree model. **Journal of Solution Chemistry,** Colombia, v.41, p.1477-1494, Sept. 2012.

ROMERO, C.M.; PÁEZ, M.S.; PÉREZ, D. A comparative study of the volumetric properties of dilute aqueous solutions of 1-propanol, 1,2-propanediol, 1,3-propanediol, and 1,2,3-propanetriol at various temperatures. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, Colombia, v. 40, p. 1645-1653, Dec. 2008.

SANTANA, P.; et al. Measurements and analysis of excess molar enthalpies and excess molar volumes of the binary systems $\{x\ CH_3(CH_2)_3Cl + (1-x)CH_3(CH_2)_{n-1}OH\}$ (n = 4 to 8) at T = 298,15 K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, Spain, v. 31, p. 547-554, Apr. 1999.

SANZ, M.T.; et al. Vapor Liquid Equilibria of Binary and Ternary Systems with Water, 1,3-Propanediol, and Glycerol. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Spain, v. 46, p. 635-639, Mar. 2001.

SAKURAI, M.; NAKAGAWA, T. Densities of dilute solutions of water in benzene and in methanol at 278,15, 288,15, 298,15, 308,15, and 318,15 K. Partial molar volumes Vw and values of ∂Vw/∂T for water in benzene and in methanol. **The Journal of Chemical Thermodynamics**., Japan, v. 14, p. 269-274, Mar. 1982.

SCATCHARD, G.; HAMER, W.J. The Application of Equations for the Chemical Potentials to Partially Miscible Solutions, **The Journal of American Chemistry Society**, USA, v. 57, p. 1805-1809, Oct. 1935.

SELECTED values of properties of chemical compounds, data project, Thermodynamics Research Center. Texas: Texas A&M University, College station, 1980.

SHEU, Y.-W.; TU, C.-H. Densities and viscosities of binary mixtures of isoamyl acetate, ethyl caproate, ethyl benzoate, isoamyl butyrate, ethyl phenylacetate, and ethyl caprylate with ethanol at *T* = (288.15, 298,15, 308.15, and 318.15) K. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Taiwan, v. 51, p. 496−503, Dec. 2005.

SHOEMAKER, D.P.; GARLAND, C.W.; NIBLER, J. W. **Experiments in physical chemistry**, 5. Ed., McGraw-Hill Book Company. 1989.

SMITH J. M., NESS VAN H.C., ABBOTT M.M., Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química, 5. ed., **LTC**, p. 283-320, 2000.

SOUJANYA, J.; et al. Experimental (vapour + liquid) equilibrium data of (methanol + water), (water + glycerol) and (methanol + glycerol) systems at atmospheric and sub-atmospheric pressures. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, India, v. 42, p. 621-624, May 2010.

SPASOJEVIĆ, V.D.; et al. Densities, refractive indices, viscosities, and spectroscopic study of 1-amino-2-propanol + 1-butanol and + 2-butanol solutions at (288.15 to 333.15) K. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Serbia, v. 59, p. 1817-1829, Apr. 2014.

SUN, T.; et al. Acoustic and Thermodynamic Properties of Methanol from 273 to 333 K and at Pressures to 280 MPa. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Netherland, v. 33, p. 395−398, Oct. 1988.

TOWEY, J.J.; SOPER, A.K.; DOUGAN, L. The structure of glycerol in the liquid state: a neutron diffraction study. **Physical Chemistry Chemical Physics**, United Kingdom, v.13, p. 9397–9406, Apr. 2011.

VALTZ, A.; et al. Liquid densities and excess molar volumes for water + diethylene glycolamine, and water, methanol, ethanol, 1-propanol+triethylene glycol binary systems at atmospheric pressure and temperatures in the range of 283,15–363,15 K. **Fluid Phase Equilibria** Czech Republic, v. 215. p. 129-142, Feb. 2004.

VAN KONINGSVELD, H. The crystal structure of glycerol and its conformation. **Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas**, Netherland, v. 87, p. 243–254, Nov. 1968.

VERHOEYE, L.; LAUWERS, E. Vapor-liquid equilibrium of the system 2-propanol-water-l,2,3-propanetriol at 760 mmHg. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, Belgin, v. 17, p. 306-309, July 1969.

VERNERET, Hubert, **Solventes Industriais –** Propriedades e Aplicações, ed. Toledo p.30-31 e 41.

XU, L.; HU, X.; LIN, R. Volumetic Properties of Glycerol with N, N- Dimethylformamide and with water at 25 and 35°C**. Journal of Solution Chemistry**, China, v.32, n.4, Apr. 2003.

ZAREI H.A.; ASADI S.; ILOUKHANI H. Temperature dependence of the volumetric properties of binary mixtures of (1-propanol, 2-propanol and 1,2-propanediol) at ambient pressure (81,5 kPa). **Journal of Molecular Liquids,** Iran, v.141, p. 25-30, Mar. 2008.

ZAREI H.A.; GOLROUDBARI S. A.; BEHROOZI M.. Experimental studies on volumetric and viscometric properties of binary and ternary mistures of N,N-dimethylacetamide, N-methylformamide and propane-1,2-diol at different temperatures. **Journal of Molecular Liquids,** Iran, v.187, p.260-265, July 2013.

ZEMÁNKOVÁ K.; TRANCOSO J.; ROMANÍ L. Excess volume and excess heat capacities for alkanediol + water system in the temperature interval (283.15-313.15) K. **Fluid Phase Equilibria,** Czech Republic, v. 356, p. 1-10, July 2013.

ZORĘBESKI E.; PRZYBYLA A. Volume effects for binary mixtures of propane-1,2-diol with methanol, propan-1-ol, hexan-1-ol, octan-1-ol, or nonan-1-ol at temperatures (293,15 to 318,15) K. **The Journal of Chemical Thermodynamics,** Poland, v. 59, p. 127 – 134, Dec. 2012.

ZORĘBESKI E.; LUBOWIECKA-KOSTA B. Thermodynamic and transport properties of (1,2 – ethanediol + 1 – nonanol) at temperatures from (298,15 to 313,15) K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, v. 41, p. 197 – 204, Iran, Set 2008.

ZORĘBSKI, E.; WALIGÓRA, A. Densities, excess molar volumes, and isobaric thermal expansibilities for 1,2-ethanediol + 1-butanol, or 1-hexanol, or 1-octanol in the temperature range from (293.15 to 313.15) K. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 53, p. 591-595, Poland, Jan 2008.

WANG, Y.; YAN. W. Excess molar volumes of 1,3-diethyl propanedioate with methanol, ethanol, propan-1-ol, propan-2-ol, butan-2-ol, 2-methyl-propan-1-ol, and pentan-1-ol at T = (288.15, 298.15, 313.15, and 328.15) K. **The Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 55, p. 4029−4032, China, Mai 2010.

APÊNDICE A - Tabela

Tabela A1 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0101	0,80630	-0,090	64,898	40,170	70,939	40,252	-1,919	0,001
0,0201	0,81595	-0,162	65,122	40,093	70,838	40,254	-2,020	0,002
0,0311	0,82655	-0,243	65,363	40,011	70,740	40,256	-2,119	0,005
0,0394	0,83414	-0,290	65,538	39,952	70,674	40,259	-2,184	0,007
0,0487	0,84263	-0,354	65,715	39,897	70,593	40,272	-2,249	0,010
0,0696	0,86111	-0,460	66,144	39,750	70,492	40,269	-2,366	0,017
0,0994	0,88622	-0,613	66,673	39,582	70,370	40,289	-2,472	0,027
0,1495	0,92516	-0,797	67,488	39,321	70,320	40,296	-2,522	0,033
0,1992	0,96010	-0,921	68,181	39,103	70,381	40,282	-2,461	0,020
0,2492	0,99224	-1,008	68,782	38,915	70,509	40,245	-2,333	-0,017
0,2993	1,02168	-1,061	69,302	38,750	70,672	40,183	-2,170	-0,080
0,3507	1,04932	-1,085	69,764	38,600	70,854	40,095	-1,989	-0,167
0,3999	1,07349	-1,075	70,152	38,470	71,026	39,992	-1,816	-0,271
0,4500	1,09654	-1,062	70,501	38,347	71,195	39,867	-1,647	-0,395
0,4990	1,11719	-1,019	70,808	38,237	71,351	39,726	-1,491	-0,537
0,5997	1,15511	-0,887	71,359	38,041	71,657	39,350	-1,185	-0,912
0,6508	1,17214	-0,789	71,618	37,942	71,825	39,065	-1,027	-1,177
0,7000	1,18772	-0,699	71,839	37,886	71,981	38,731	-0,867	-1,510
0,7529	1,20320	-0,589	72,069	37,855	72,167	38,245	-0,685	-1,997
0,7995	1,21600	-0,480	72,245	37,881	72,324	37,684	-0,518	-2,578
0,8461	1,22823	-0,380	72,427	37,903	72,501	36,884	-0,351	-3,357
0,9007	1,24142	-0,229	72,597	38,035	72,670	35,658	-0,173	-4,604
0,9184	1,24562	-0,191	72,655	38,066	72,725	35,138	-0,123	-5,103
0,9471	1,25204	-0,109	72,733	38,172	72,792	34,208	-0,056	-6,034
0,9572	1,25419	-0,077	72,758	38,215	72,810	33,844	-0,038	-6,398
0,9696	1,25678	-0,035	72,787	38,273	72,829	33,366	-0,020	-6,876
0,9767	1,25849	-0,026	72,802	38,308	72,837	33,077	-0,012	-7,164
0,9866	1,26059	0,003	72,823	38,361	72,844	32,655	-0,004	-7,587

Fonte: Autor

Tabela A2 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0101	0,80169	-0,092	64,860	40,403	70,817	40,488	-2,229	0,000
0,0201	0,81137	-0,166	65,086	40,324	70,740	40,489	-2,306	0,002
0,0311	0,82201	-0,250	65,329	40,240	70,666	40,491	-2,380	0,004
0,3940	0,82963	-0,300	65,507	40,178	70,618	40,493	-2,428	0,005
0,0487	0,83816	-0,367	65,689	40,122	70,558	40,506	-2,475	0,007
0,0696	0,85670	-0,476	66,120	39,969	70,490	40,500	-2,556	0,012
0,0994	0,88190	-0,635	66,662	39,796	70,414	40,517	-2,620	0,018
0,1495	0,92098	-0,825	67,493	39,524	70,412	40,516	-2,621	0,018
0,1992	0,95604	-0,954	68,203	39,297	70,500	40,497	-2,533	-0,001
0,2492	0,98831	-1,045	68,822	39,100	70,643	40,456	-2,391	-0,043
0,2993	1,01785	-1,100	69,358	38,929	70,812	40,392	-2,222	-0,107
0,3507	1,04560	-1,125	69,837	38,772	70,993	40,304	-2,040	-0,194
0,3999	1,06985	-1,116	70,239	38,637	71,165	40,201	-1,868	-0,298
0,4500	1,09299	-1,103	70,602	38,509	71,333	40,077	-1,701	-0,422
0,4990	1,11375	-1,062	70,920	38,394	71,490	39,935	-1,543	-0,564
0,5997	1,15182	-0,928	71,488	38,184	71,804	39,549	-1,229	-0,949
0,6508	1,16895	-0,831	71,755	38,076	71,979	39,252	-1,064	-1,226
0,7000	1,18441	-0,731	71,982	38,007	72,144	38,903	-0,897	-1,575
0,7529	1,19995	-0,617	72,217	37,957	72,338	38,393	-0,706	-2,085
0,7995	1,21279	-0,506	72,397	37,961	72,501	37,808	-0,532	-2,691
0,8461	1,22509	-0,406	72,585	37,955	72,684	36,980	-0,359	-3,498
0,9007	1,23832	-0,251	72,763	38,044	72,858	35,719	-0,176	-4,779
0,9184	1,24253	-0,213	72,826	38,060	72,916	35,189	-0,125	-5,289
0,9471	1,24899	-0,130	72,910	38,136	72,984	34,242	-0,057	-6,236
0,9572	1,25103	-0,091	72,938	38,168	73,002	33,872	-0,039	-6,606
0,9696	1,25355	-0,044	72,970	38,211	73,021	33,388	-0,020	-7,090
0,9767	1,25533	-0,038	72,987	38,238	73,029	33,096	-0,012	-7,382
0,9866	1,25740	-0,006	73,011	38,278	73,037	32,669	-0,004	-7,809

Fonte: Autor

Tabela A3 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0101	0,79702	-0,094	64,791	40,642	70,948	40,729	-2,277	0,000
0,0201	0,80673	-0,170	65,023	40,560	70,866	40,730	-2,359	0,002
0,0311	0,81740	-0,257	65,274	40,473	70,788	40,732	-2,437	0,004
0,3940	0,82505	-0,308	65,457	40,410	70,737	40,734	-2,488	0,006
0,0487	0,83360	-0,378	65,646	40,354	70,674	40,749	-2,539	0,008
0,0696	0,85221	-0,490	66,088	40,194	70,600	40,741	-2,625	0,013
0,0994	0,87750	-0,655	66,647	40,017	70,517	40,761	-2,695	0,020
0,1495	0,91672	-0,851	67,502	39,737	70,511	40,761	-2,702	0,020
0,1992	0,95191	-0,984	68,233	39,502	70,599	40,742	-2,614	0,001
0,2492	0,98430	-1,078	68,870	39,299	70,744	40,700	-2,469	-0,041
0,2993	1,01394	-1,134	69,423	39,122	70,918	40,634	-2,295	-0,107
0,3507	1,04179	-1,160	69,916	38,961	71,105	40,543	-2,107	-0,198
0,3999	1,06613	-1,150	70,330	38,821	71,283	40,436	-1,930	-0,305
0,4500	1,08935	-1,136	70,705	38,689	71,457	40,308	-1,756	-0,433
0,4990	1,11019	-1,094	71,033	38,570	71,620	40,160	-1,593	-0,581
0,5997	1,14841	-0,958	71,620	38,355	71,945	39,761	-1,267	-0,980
0,6508	1,16562	-0,858	71,895	38,244	72,127	39,454	-1,097	-1,266
0,7000	1,18116	-0,757	72,129	38,175	72,296	39,093	-0,924	-1,627
0,7529	1,19663	-0,634	72,372	38,125	72,496	38,568	-0,727	-2,152
0,7995	1,20946	-0,516	72,558	38,130	72,665	37,964	-0,548	-2,777
0,8461	1,22185	-0,416	72,752	38,128	72,853	37,112	-0,370	-3,608
0,9007	1,23515	-0,258	72,935	38,224	73,032	35,814	-0,181	-4,927
0,9184	1,23937	-0,219	73,000	38,242	73,092	35,269	-0,129	-5,452
0,9471	1,24586	-0,134	73,087	38,323	73,162	34,294	-0,059	-6,427
0,9572	1,24791	-0,094	73,115	38,357	73,181	33,913	-0,040	-6,807
0,9696	1,25044	-0,046	73,148	38,403	73,200	33,415	-0,021	-7,306
0,9767	1,25222	-0,039	73,166	38,432	73,208	33,114	-0,012	-7,607
0,9866	1,25430	-0,007	73,190	38,474	73,216	32,674	-0,004	-8,046

Fonte: Autor

Tabela A4 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0101	0,79232	-0,095	64,705	40,884	71,094	40,973	-2,313	0,001
0,0201	0,80207	-0,174	64,946	40,800	71,005	40,975	-2,402	0,002
0,0311	0,81277	-0,263	65,205	40,710	70,920	40,977	-2,487	0,004
0,3940	0,82045	-0,317	65,394	40,645	70,864	40,979	-2,544	0,006
0,0487	0,82903	-0,390	65,589	40,588	70,795	40,996	-2,599	0,009
0,0696	0,84770	-0,504	66,047	40,423	70,712	40,988	-2,695	0,015
0,0994	0,87308	-0,676	66,624	40,241	70,620	41,009	-2,774	0,022
0,1495	0,91245	-0,878	67,507	39,953	70,605	41,011	-2,789	0,023
0,1992	0,94776	-1,015	68,262	39,711	70,693	40,992	-2,702	0,004
0,2492	0,98026	-1,111	68,919	39,502	70,842	40,948	-2,552	-0,039
0,2993	1,01002	-1,169	69,488	39,319	71,022	40,880	-2,372	-0,108
0,3507	1,03795	-1,195	69,996	39,152	71,218	40,786	-2,177	-0,202
0,3999	1,06238	-1,185	70,423	39,008	71,403	40,674	-1,991	-0,313
0,4500	1,08569	-1,171	70,808	38,872	71,584	40,540	-1,810	-0,447
0,4990	1,10660	-1,127	71,146	38,749	71,753	40,388	-1,641	-0,600
0,5997	1,14497	-0,987	71,752	38,527	72,089	39,975	-1,305	-1,013
0,6508	1,16225	-0,886	72,035	38,415	72,275	39,661	-1,129	-1,307
0,7000	1,17786	-0,782	72,278	38,344	72,450	39,290	-0,952	-1,678
0,7529	1,19340	-0,657	72,528	38,296	72,655	38,750	-0,750	-2,218
0,7995	1,20608	-0,525	72,721	38,303	72,829	38,127	-0,565	-2,860
0,8461	1,21857	-0,425	72,921	38,306	73,023	37,251	-0,382	-3,717
0,9007	1,23194	-0,265	73,110	38,411	73,207	35,911	-0,187	-5,077
0,9184	1,23618	-0,224	73,177	38,434	73,269	35,349	-0,133	-5,619
0,9471	1,24270	-0,137	73,265	38,523	73,341	34,342	-0,061	-6,626
0,9572	1,24475	-0,096	73,294	38,560	73,361	33,949	-0,041	-7,019
0,9696	1,24730	-0,048	73,328	38,611	73,380	33,433	-0,021	-7,534
0,9767	1,24909	-0,041	73,346	38,642	73,389	33,122	-0,013	-7,846
0,9866	1,25115	-0,006	73,371	38,688	73,398	32,668	-0,004	-8,300

Fonte: Autor

Tabela A5 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0101	0,78761	-0,098	64,593	41,131	71,239	41,223	-2,352	0,001
0,0201	0,79738	-0,179	64,844	41,044	71,143	41,225	-2,448	0,002
0,0311	0,80812	-0,271	65,114	40,951	71,049	41,227	-2,542	0,004
0,0394	0,81583	-0,326	65,310	40,883	70,988	41,229	-2,603	0,007
0,0487	0,82444	-0,403	65,514	40,826	70,914	41,248	-2,664	0,009
0,0696	0,84317	-0,520	65,990	40,654	70,822	41,239	-2,770	0,016
0,0994	0,86864	-0,698	66,589	40,468	70,720	41,263	-2,859	0,024
0,1495	0,90814	-0,906	67,506	40,171	70,698	41,265	-2,880	0,026
0,1992	0,94358	-1,047	68,287	39,922	70,787	41,246	-2,792	0,007
0,2492	0,97620	-1,146	68,967	39,708	70,941	41,201	-2,637	-0,038
0,2993	1,00606	-1,206	69,555	39,520	71,130	41,129	-2,449	-0,109
0,3507	1,03409	-1,232	70,078	39,348	71,334	41,031	-2,245	-0,208
0,3999	1,05854	-1,218	70,517	39,199	71,527	40,915	-2,051	-0,324
0,4500	1,08201	-1,207	70,914	39,059	71,715	40,776	-1,863	-0,463
0,4990	1,10298	-1,161	71,262	38,932	71,890	40,618	-1,689	-0,621
0,5997	1,14149	-1,017	71,885	38,702	72,235	40,194	-1,343	-1,045
0,6508	1,15883	-0,913	72,179	38,585	72,427	39,871	-1,164	-1,345
0,7000	1,17450	-0,806	72,427	38,513	72,604	39,491	-0,982	-1,725
0,7529	1,19011	-0,679	72,687	38,464	72,816	38,937	-0,775	-2,279
0,7995	1,20279	-0,541	72,885	38,476	72,993	38,299	-0,585	-2,940
0,8461	1,21529	-0,437	73,093	38,481	73,195	37,393	-0,396	-3,823
0,9007	1,22866	-0,269	73,287	38,598	73,384	36,008	-0,194	-5,231
0,9184	1,23294	-0,228	73,356	38,624	73,448	35,424	-0,138	-5,793
0,9471	1,23949	-0,140	73,447	38,721	73,523	34,378	-0,063	-6,838
0,9572	1,24156	-0,098	73,476	38,762	73,543	33,970	-0,043	-7,247
0,9696	1,24412	-0,049	73,511	38,817	73,564	33,433	-0,022	-7,783
0,9767	1,24592	-0,042	73,530	38,851	73,573	33,110	-0,013	-8,107
0,9866	1,24801	-0,008	73,555	38,901	73,581	32,637	-0,005	-8,580

Fonte: Autor

Tabela A6 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0109	0,80095	-0,061	66,966	58,003	69,994	58,068	-2,850	0,000
0,0199	0,80695	-0,109	66,971	57,948	69,991	58,068	-2,853	0,000
0,0310	0,81406	-0,165	67,389	57,899	69,986	58,074	-2,850	0,000
0,0402	0,82022	-0,209	67,295	57,836	70,000	58,068	-2,844	0,000
0,0522	0,82772	-0,264	67,887	57,792	70,016	58,064	-2,830	-0,001
0,0720	0,84044	-0,347	67,895	57,682	70,042	58,062	-2,795	-0,003
0,1005	0,85799	-0,455	68,382	57,566	70,123	58,055	-2,723	-0,010
0,1505	0,88810	-0,608	68,843	57,356	70,296	58,030	-2,550	-0,035
0,2005	0,91705	-0,726	69,241	57,172	70,498	57,994	-2,340	-0,080
0,3006	0,97208	-0,875	69,945	56,822	70,948	57,834	-1,889	-0,232
0,3548	1,00043	-0,919	70,237	56,629	71,186	57,716	-1,655	-0,346
0,3998	1,02296	-0,938	70,473	56,499	71,362	57,619	-1,475	-0,455
0,4503	1,04743	-0,944	70,739	56,356	71,547	57,481	-1,289	-0,592
0,5009	1,07124	-0,933	70,976	56,198	71,717	57,320	-1,120	-0,746
0,6026	1,11652	-0,860	71,414	55,896	72,020	56,947	-0,822	-1,114
0,6505	1,13662	-0,803	71,612	55,773	72,148	56,733	-0,694	-1,328
0,6998	1,15664	-0,729	71,799	55,620	72,286	56,481	-0,567	-1,593
0,7512	1,17670	-0,636	72,005	55,534	72,404	56,125	-0,437	-1,936
0,8016	1,19568	-0,529	72,191	55,432	72,527	55,695	-0,314	-2,366
0,8489	1,21301	-0,415	72,350	55,298	72,636	55,179	-0,206	-2,882
0,8997	1,23064	-0,282	72,534	55,235	72,747	54,477	-0,104	-3,598
0,9203	1,23799	-0,226	72,586	55,164	72,768	54,118	-0,069	-3,948
0,9503	1,24791	-0,142	72,691	55,028	72,822	53,548	-0,029	-4,527
0,9705	1,25451	-0,084	72,762	55,155	72,840	53,102	-0,011	-4,973
0,9776	1,25679	-0,064	72,788	55,707	72,835	52,921	-0,006	-5,141
0,9884	1,26044	-0,033	72,812	55,528	72,840	52,656	-0,002	-5,405

Fonte: Autor

Tabela A7 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0109	0,79673	-0,061	66,996	58,312	69,848	58,379	-3,191	0,000
0,0199	0,80273	-0,109	67,033	58,257	69,874	58,378	-3,164	-0,001
0,0310	0,80985	-0,165	67,424	58,206	69,901	58,384	-3,130	-0,001
0,0402	0,81602	-0,210	67,348	58,141	69,940	58,376	-3,099	-0,003
0,0522	0,82353	-0,266	67,947	58,096	69,984	58,371	-3,056	-0,005
0,0720	0,83628	-0,352	67,945	57,982	70,052	58,367	-2,981	-0,010
0,1005	0,85386	-0,463	68,442	57,862	70,178	58,355	-2,862	-0,021
0,1505	0,88403	-0,624	68,913	57,645	70,403	58,323	-2,637	-0,053
0,2005	0,91305	-0,748	69,318	57,454	70,633	58,282	-2,401	-0,104
0,3006	0,96819	-0,910	70,044	57,092	71,093	58,118	-1,940	-0,258
0,3548	0,99668	-0,957	70,332	56,886	71,328	58,002	-1,708	-0,371
0,3998	1,01926	-0,978	70,577	56,751	71,502	57,906	-1,529	-0,480
0,4503	1,04389	-0,984	70,839	56,590	71,689	57,768	-1,342	-0,618
0,5009	1,06769	-0,972	71,094	56,432	71,864	57,601	-1,169	-0,776
0,6026	1,11317	-0,897	71,539	56,102	72,185	57,206	-0,852	-1,167
0,6505	1,13334	-0,839	71,742	55,965	72,323	56,973	-0,713	-1,400
0,6998	1,15326	-0,763	71,949	55,828	72,472	56,699	-0,575	-1,687
0,7512	1,17333	-0,668	72,163	55,737	72,599	56,320	-0,437	-2,054
0,8016	1,19241	-0,560	72,351	55,604	72,728	55,872	-0,309	-2,501
0,8489	1,20979	-0,444	72,514	55,440	72,838	55,349	-0,198	-3,024
0,8997	1,22746	-0,306	72,704	55,355	72,944	54,659	-0,098	-3,727
0,9203	1,23489	-0,246	72,754	55,159	72,968	54,313	-0,065	-4,064
0,9503	1,24482	-0,156	72,863	54,966	73,015	53,775	-0,027	-4,611
0,9705	1,25135	-0,094	72,941	55,055	73,032	53,359	-0,010	-5,027
0,9776	1,25360	-0,071	72,969	55,441	73,031	53,191	-0,006	-5,182
0,9884	1,25715	-0,037	73,001	55,329	73,035	52,948	-0,002	-5,426

Fonte: Autor

Tabela A8 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\bar{V}_1$	$\bar{V}_2$	$\bar{V}_1^E$	$\bar{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0109	0,79244	-0,064	67,092	58,630	70,150	58,698	-3,068	0,000
0,0199	0,79844	-0,114	67,131	58,574	70,147	58,698	-3,071	0,000
0,0310	0,80558	-0,173	67,482	58,521	70,142	58,705	-3,068	0,000
0,0402	0,81175	-0,219	67,418	58,455	70,156	58,698	-3,062	0,000
0,0522	0,81928	-0,277	67,993	58,408	70,172	58,695	-3,048	-0,001
0,0720	0,83204	-0,366	68,005	58,293	70,201	58,693	-3,011	-0,003
0,1005	0,84966	-0,479	68,501	58,169	70,286	58,685	-2,934	-0,011
0,1505	0,87990	-0,643	68,978	57,945	70,472	58,658	-2,747	-0,038
0,2005	0,90899	-0,769	69,392	57,747	70,693	58,619	-2,520	-0,086
0,3006	0,96416	-0,932	70,161	57,385	71,183	58,445	-2,029	-0,252
0,3548	0,99283	-0,981	70,436	57,164	71,443	58,316	-1,773	-0,376
0,3998	1,01549	-1,003	70,685	57,023	71,635	58,209	-1,576	-0,496
0,4503	1,04017	-1,011	70,957	56,859	71,839	58,058	-1,372	-0,647
0,5009	1,06405	-1,000	71,218	56,696	72,025	57,882	-1,187	-0,814
0,6026	1,10970	-0,925	71,672	56,351	72,353	57,478	-0,863	-1,214
0,6505	1,12994	-0,865	71,881	56,208	72,490	57,247	-0,725	-1,445
0,6998	1,14993	-0,785	72,093	56,064	72,636	56,979	-0,590	-1,727
0,7512	1,16985	-0,685	72,330	56,017	72,762	56,604	-0,454	-2,088
0,8016	1,18901	-0,569	72,520	55,882	72,891	56,155	-0,325	-2,537
0,8489	1,20646	-0,447	72,686	55,718	73,004	55,619	-0,212	-3,073
0,8997	1,22416	-0,304	72,882	55,661	73,115	54,893	-0,107	-3,813
0,9203	1,23171	-0,243	72,927	55,407	73,141	54,523	-0,071	-4,174
0,9503	1,24167	-0,152	73,039	55,217	73,192	53,936	-0,030	-4,769
0,9705	1,24823	-0,090	73,118	55,295	73,211	53,477	-0,011	-5,229
0,9776	1,25049	-0,069	73,147	55,676	73,209	53,291	-0,007	-5,401
0,9884	1,25405	-0,036	73,179	55,562	73,214	53,019	-0,002	-5,673

Fonte: Autor

Tabela A9 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0109	0,78812	-0,065	67,186	58,954	70,371	59,023	-3,028	0,000
0,0199	0,79413	-0,117	67,191	58,897	70,354	59,023	-3,045	0,000
0,0310	0,80128	-0,177	67,537	58,842	70,334	59,030	-3,058	0,001
0,0402	0,80746	-0,225	67,468	58,775	70,336	59,024	-3,064	0,001
0,0522	0,81500	-0,284	68,050	58,726	70,338	59,021	-3,063	0,001
0,0720	0,82776	-0,375	68,082	58,609	70,347	59,021	-3,046	0,000
0,1005	0,84543	-0,491	68,566	58,480	70,410	59,015	-2,991	-0,006
0,1505	0,87573	-0,659	69,051	58,250	70,573	58,991	-2,828	-0,029
0,2005	0,90490	-0,789	69,468	58,045	70,786	58,954	-2,609	-0,076
0,3006	0,96026	-0,957	70,245	57,668	71,284	58,776	-2,109	-0,245
0,3548	0,98894	-1,008	70,543	57,447	71,556	58,641	-1,841	-0,375
0,3998	1,01169	-1,032	70,794	57,299	71,760	58,528	-1,633	-0,502
0,4503	1,03639	-1,040	71,081	57,136	71,975	58,369	-1,418	-0,661
0,5009	1,06036	-1,030	71,346	56,967	72,171	58,183	-1,222	-0,838
0,6026	1,10619	-0,951	71,809	56,607	72,515	57,760	-0,883	-1,257
0,6505	1,12647	-0,888	72,025	56,463	72,657	57,522	-0,741	-1,495
0,6998	1,14653	-0,805	72,242	56,314	72,806	57,246	-0,602	-1,784
0,7512	1,16645	-0,699	72,490	56,277	72,935	56,863	-0,463	-2,153
0,8016	1,18555	-0,579	72,694	56,175	73,066	56,407	-0,332	-2,610
0,8489	1,20304	-0,452	72,865	56,026	73,181	55,861	-0,217	-3,156
0,8997	1,22077	-0,305	73,067	56,006	73,295	55,120	-0,109	-3,910
0,9203	1,22850	-0,243	73,103	55,666	73,320	54,743	-0,073	-4,279
0,9503	1,23849	-0,152	73,217	55,472	73,373	54,142	-0,031	-4,889
0,9705	1,24508	-0,089	73,298	55,539	73,392	53,671	-0,011	-5,360
0,9776	1,24735	-0,068	73,327	55,940	73,391	53,480	-0,007	-5,537
0,9884	1,25093	-0,035	73,359	55,797	73,395	53,200	-0,002	-5,816

Fonte: Autor

Tabela A10 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0109	0,78378	-0,067	67,141	59,283	70,608	59,354	-2,976	0,000
0,0199	0,78980	-0,120	67,173	59,224	70,573	59,355	-3,011	0,001
0,0310	0,79694	-0,182	67,615	59,170	70,534	59,362	-3,044	0,002
0,0402	0,80314	-0,231	67,497	59,100	70,520	59,357	-3,064	0,002
0,0522	0,81068	-0,292	68,120	59,050	70,506	59,354	-3,080	0,003
0,0720	0,82346	-0,384	68,148	58,931	70,491	59,356	-3,087	0,004
0,1005	0,84115	-0,503	68,643	58,799	70,529	59,352	-3,058	0,001
0,1505	0,87148	-0,675	69,146	58,565	70,667	59,331	-2,919	-0,020
0,2005	0,90078	-0,807	69,544	58,349	70,874	59,296	-2,706	-0,065
0,3006	0,95629	-0,980	70,338	57,959	71,390	59,111	-2,188	-0,241
0,3548	0,98497	-1,033	70,658	57,740	71,677	58,968	-1,905	-0,379
0,3998	1,00785	-1,059	70,905	57,580	71,895	58,847	-1,683	-0,513
0,4503	1,03248	-1,068	71,219	57,429	72,123	58,678	-1,454	-0,682
0,5009	1,05659	-1,058	71,481	57,247	72,329	58,483	-1,248	-0,869
0,6026	1,10263	-0,978	71,948	56,870	72,685	58,045	-0,897	-1,302
0,6505	1,12295	-0,912	72,173	56,726	72,829	57,803	-0,752	-1,544
0,6998	1,14320	-0,825	72,384	56,545	72,980	57,525	-0,612	-1,836
0,7512	1,16296	-0,715	72,656	56,555	73,109	57,140	-0,472	-2,207
0,8016	1,18217	-0,589	72,862	56,440	73,241	56,679	-0,340	-2,668
0,8489	1,19956	-0,458	73,048	56,350	73,358	56,125	-0,223	-3,222
0,8997	1,21732	-0,306	73,255	56,373	73,475	55,366	-0,113	-3,995
0,9203	1,22523	-0,243	73,283	55,944	73,502	54,976	-0,076	-4,376
0,9503	1,23526	-0,150	73,400	55,754	73,556	54,353	-0,032	-5,008
0,9705	1,24189	-0,088	73,481	55,807	73,577	53,862	-0,012	-5,499
0,9776	1,24417	-0,067	73,510	56,234	73,574	53,663	-0,007	-5,684
0,9884	1,24776	-0,034	73,544	56,137	73,579	53,370	-0,002	-5,977

Fonte: Autor

Tabela A11 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0104	0,81241	-0,031	69,320	74,401	70,173	74,438	-2,666	0,000
0,0222	0,81814	-0,066	69,819	74,363	70,238	74,431	-2,606	-0,001
0,0300	0,82180	-0,087	69,872	74,346	70,274	74,436	-2,565	-0,002
0,0499	0,83126	-0,139	70,050	74,292	70,380	74,432	-2,459	-0,007
0,0744	0,84291	-0,197	70,270	74,225	70,520	74,416	-2,324	-0,016
0,0963	0,85327	-0,243	70,376	74,172	70,646	74,408	-2,202	-0,027
0,1516	0,87948	-0,344	70,550	74,029	70,945	74,367	-1,893	-0,071
0,1985	0,90145	-0,412	70,795	73,927	71,205	74,312	-1,643	-0,124
0,2496	0,92551	-0,473	70,939	73,801	71,457	74,239	-1,390	-0,197
0,2961	0,94743	-0,518	71,061	73,682	71,661	74,157	-1,183	-0,274
0,3491	0,97183	-0,559	71,277	73,601	71,860	74,066	-0,978	-0,372
0,4012	0,99631	-0,589	71,364	73,442	72,039	73,962	-0,809	-0,474
0,4490	1,01860	-0,608	71,465	73,319	72,160	73,869	-0,678	-0,570
0,4999	1,04210	-0,618	71,600	73,188	72,284	73,762	-0,564	-0,673
0,5502	1,06528	-0,619	71,713	73,062	72,368	73,662	-0,470	-0,776
0,6003	1,08792	-0,608	71,867	72,963	72,455	73,554	-0,393	-0,881
0,6516	1,11143	-0,583	71,974	72,805	72,520	73,435	-0,324	-0,997
0,6957	1,13152	-0,551	72,058	72,632	72,578	73,328	-0,270	-1,108
0,7502	1,15625	-0,495	72,169	72,405	72,637	73,159	-0,207	-1,273
0,8008	1,17869	-0,427	72,296	72,219	72,697	72,968	-0,151	-1,468
0,8468	1,19898	-0,350	72,407	72,052	72,737	72,741	-0,102	-1,698
0,8992	1,22156	-0,246	72,557	71,927	72,787	72,392	-0,051	-2,046
0,9302	1,23464	-0,177	72,658	71,946	72,817	72,122	-0,027	-2,309
0,9501	1,24317	-0,129	72,708	71,939	72,824	71,934	-0,015	-2,505
0,9587	1,24643	-0,108	72,753	72,327	72,834	71,836	-0,010	-2,595
0,9685	1,25070	-0,083	72,773	72,414	72,833	71,733	-0,006	-2,706
0,9793	1,25524	-0,055	72,803	72,510	72,841	71,598	-0,003	-2,834
0,9903	1,25987	-0,026	72,833	73,274	72,843	71,459	-0,001	-2,973

Fonte: Autor

Tabela A12 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0104	0,80842	-0,031	69,443	74,770	70,010	74,808	-3,025	0,000
0,0222	0,81415	-0,066	69,989	74,731	70,115	74,798	-2,925	-0,002
0,0300	0,81780	-0,088	70,033	74,715	70,175	74,804	-2,861	-0,004
0,0499	0,82726	-0,140	70,203	74,659	70,336	74,797	-2,700	-0,011
0,0744	0,83892	-0,200	70,421	74,590	70,531	74,777	-2,510	-0,023
0,0963	0,84930	-0,248	70,501	74,534	70,695	74,767	-2,347	-0,038
0,1516	0,87553	-0,354	70,678	74,387	71,066	74,716	-1,969	-0,092
0,1985	0,89758	-0,427	70,904	74,276	71,355	74,654	-1,687	-0,151
0,2496	0,92165	-0,493	71,062	74,147	71,624	74,577	-1,418	-0,229
0,2961	0,94362	-0,542	71,186	74,020	71,833	74,493	-1,207	-0,308
0,3491	0,96807	-0,585	71,404	73,933	72,033	74,403	-1,003	-0,405
0,4012	0,99261	-0,617	71,492	73,767	72,206	74,300	-0,836	-0,505
0,4490	1,01496	-0,637	71,596	73,635	72,329	74,208	-0,707	-0,600
0,4999	1,03852	-0,648	71,733	73,497	72,451	74,101	-0,591	-0,705
0,5502	1,06177	-0,648	71,849	73,357	72,541	73,996	-0,494	-0,812
0,6003	1,08450	-0,637	72,004	73,246	72,631	73,881	-0,411	-0,925
0,6516	1,10802	-0,613	72,121	73,081	72,706	73,749	-0,335	-1,052
0,6957	1,12808	-0,581	72,216	72,916	72,767	73,630	-0,275	-1,175
0,7502	1,15290	-0,526	72,328	72,661	72,834	73,444	-0,206	-1,356
0,8008	1,17540	-0,457	72,458	72,459	72,896	73,241	-0,146	-1,564
0,8468	1,19574	-0,379	72,573	72,249	72,940	73,010	-0,096	-1,798
0,8992	1,21839	-0,271	72,726	72,048	72,989	72,671	-0,047	-2,137
0,9302	1,23150	-0,196	72,829	71,987	73,016	72,418	-0,024	-2,382
0,9501	1,24000	-0,145	72,884	71,917	73,023	72,248	-0,013	-2,560
0,9587	1,24324	-0,121	72,932	72,292	73,031	72,158	-0,009	-2,642
0,9685	1,24748	-0,094	72,955	72,325	73,030	72,067	-0,005	-2,741
0,9793	1,25195	-0,063	72,991	72,463	73,038	71,946	-0,002	-2,854
0,9903	1,25653	-0,030	73,024	73,182	73,040	71,824	-0,001	-2,976

Fonte: Autor

Tabela A13 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0104	0,80441	-0,032	69,654	75,145	70,138	75,182	-3,077	0,000
0,0222	0,81013	-0,067	70,159	75,106	70,239	75,174	-2,980	-0,002
0,0300	0,81378	-0,089	70,224	75,090	70,298	75,179	-2,917	-0,004
0,0499	0,82325	-0,142	70,355	75,032	70,455	75,172	-2,761	-0,010
0,0744	0,83492	-0,203	70,549	74,961	70,645	75,153	-2,574	-0,023
0,0963	0,84530	-0,253	70,635	74,905	70,808	75,143	-2,413	-0,038
0,1516	0,87157	-0,362	70,807	74,752	71,178	75,092	-2,037	-0,091
0,1985	0,89368	-0,438	71,016	74,634	71,470	75,029	-1,752	-0,151
0,2496	0,91777	-0,507	71,185	74,503	71,744	74,950	-1,478	-0,230
0,2961	0,93979	-0,558	71,309	74,372	71,959	74,864	-1,260	-0,312
0,3491	0,96431	-0,604	71,528	74,277	72,168	74,769	-1,047	-0,413
0,4012	0,98889	-0,638	71,621	74,108	72,351	74,662	-0,871	-0,519
0,4490	1,01129	-0,659	71,729	73,972	72,481	74,563	-0,734	-0,619
0,4999	1,03491	-0,671	71,869	73,829	72,611	74,450	-0,611	-0,731
0,5502	1,05823	-0,671	71,988	73,682	72,708	74,338	-0,508	-0,845
0,6003	1,08103	-0,659	72,145	73,564	72,803	74,216	-0,419	-0,965
0,6516	1,10463	-0,634	72,265	73,391	72,880	74,077	-0,339	-1,099
0,6957	1,12474	-0,600	72,363	73,218	72,945	73,953	-0,276	-1,227
0,7502	1,14950	-0,542	72,491	72,989	73,013	73,762	-0,205	-1,413
0,8008	1,17207	-0,470	72,624	72,777	73,077	73,557	-0,145	-1,623
0,8468	1,19248	-0,389	72,740	72,559	73,120	73,324	-0,095	-1,858
0,8992	1,21519	-0,277	72,898	72,352	73,169	72,989	-0,046	-2,193
0,9302	1,22833	-0,200	73,004	72,309	73,195	72,741	-0,024	-2,435
0,9501	1,23685	-0,147	73,060	72,226	73,202	72,572	-0,013	-2,610
0,9587	1,24011	-0,124	73,108	72,615	73,210	72,485	-0,009	-2,690
0,9685	1,24436	-0,095	73,132	72,620	73,210	72,396	-0,005	-2,787
0,9793	1,24884	-0,064	73,169	72,814	73,216	72,278	-0,002	-2,898
0,9903	1,25344	-0,030	73,203	73,544	73,218	72,158	-0,001	-3,017

Fonte: Autor

Tabela A14 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0104	0,80036	-0,032	69,868	75,527	70,254	75,564	-3,143	0,000
0,0222	0,80609	-0,068	70,289	75,487	70,353	75,556	-3,049	-0,002
0,0300	0,80974	-0,090	70,355	75,470	70,410	75,561	-2,987	-0,004
0,0499	0,81920	-0,144	70,509	75,413	70,564	75,554	-2,833	-0,010
0,0744	0,83088	-0,206	70,689	75,340	70,754	75,535	-2,648	-0,022
0,0963	0,84127	-0,257	70,778	75,282	70,916	75,524	-2,488	-0,037
0,1516	0,86757	-0,370	70,936	75,125	71,288	75,474	-2,109	-0,091
0,1985	0,88972	-0,449	71,145	75,002	71,584	75,409	-1,820	-0,152
0,2496	0,91386	-0,521	71,312	74,866	71,866	75,328	-1,538	-0,233
0,2961	0,93592	-0,574	71,435	74,730	72,089	75,240	-1,312	-0,318
0,3491	0,96051	-0,623	71,654	74,629	72,307	75,141	-1,090	-0,424
0,4012	0,98516	-0,659	71,749	74,453	72,499	75,027	-0,905	-0,535
0,4490	1,00759	-0,682	71,863	74,314	72,637	74,923	-0,760	-0,642
0,4999	1,03127	-0,694	72,007	74,165	72,775	74,802	-0,629	-0,760
0,5502	1,05465	-0,695	72,129	74,013	72,878	74,684	-0,519	-0,881
0,6003	1,07752	-0,683	72,289	73,888	72,978	74,554	-0,426	-1,008
0,6516	1,10119	-0,656	72,412	73,706	73,060	74,409	-0,341	-1,148
0,6957	1,12136	-0,620	72,514	73,527	73,127	74,280	-0,277	-1,282
0,7502	1,14619	-0,559	72,645	73,285	73,198	74,086	-0,204	-1,472
0,8008	1,16869	-0,484	72,793	73,107	73,261	73,878	-0,143	-1,684
0,8468	1,18916	-0,400	72,912	72,885	73,304	73,647	-0,093	-1,917
0,8992	1,21195	-0,284	73,072	72,668	73,352	73,316	-0,045	-2,248
0,9302	1,22513	-0,205	73,180	72,604	73,378	73,072	-0,023	-2,486
0,9501	1,23368	-0,151	73,238	72,527	73,385	72,907	-0,013	-2,657
0,9587	1,23694	-0,126	73,287	72,903	73,393	72,822	-0,009	-2,735
0,9685	1,24120	-0,098	73,312	72,938	73,392	72,735	-0,005	-2,830
0,9793	1,24570	-0,065	73,349	73,060	73,400	72,619	-0,002	-2,938
0,9903	1,25031	-0,031	73,384	73,732	73,401	72,503	-0,001	-3,055

Fonte: Autor

Tabela A15 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0104	0,79634	-0,033	69,990	75,911	70,348	75,948	-3,231	0,000
0,0222	0,80205	-0,069	70,502	75,871	70,447	75,939	-3,137	-0,002
0,0300	0,80571	-0,092	70,516	75,853	70,503	75,944	-3,076	-0,004
0,0499	0,81518	-0,147	70,643	75,794	70,657	75,938	-2,922	-0,010
0,0744	0,82686	-0,210	70,828	75,720	70,847	75,919	-2,737	-0,022
0,0963	0,83726	-0,263	70,911	75,660	71,011	75,908	-2,575	-0,037
0,1516	0,86360	-0,378	71,058	75,498	71,388	75,856	-2,191	-0,092
0,1985	0,88578	-0,460	71,269	75,371	71,693	75,790	-1,893	-0,155
0,2496	0,90996	-0,535	71,437	75,231	71,984	75,706	-1,602	-0,239
0,2961	0,93208	-0,592	71,557	75,089	72,217	75,614	-1,367	-0,327
0,3491	0,95676	-0,643	71,771	74,978	72,446	75,510	-1,133	-0,438
0,4012	0,98147	-0,682	71,870	74,795	72,648	75,390	-0,938	-0,555
0,4490	1,00393	-0,706	71,992	74,655	72,794	75,280	-0,785	-0,668
0,4999	1,02766	-0,720	72,142	74,501	72,939	75,152	-0,647	-0,793
0,5502	1,05109	-0,721	72,269	74,346	73,048	75,027	-0,531	-0,921
0,6003	1,07404	-0,708	72,431	74,211	73,154	74,891	-0,432	-1,054
0,6516	1,09776	-0,680	72,559	74,025	73,239	74,741	-0,345	-1,201
0,6957	1,11800	-0,643	72,663	73,836	73,308	74,607	-0,278	-1,338
0,7502	1,14292	-0,579	72,797	73,579	73,380	74,409	-0,204	-1,532
0,8008	1,16552	-0,501	72,947	73,375	73,444	74,200	-0,142	-1,746
0,8468	1,18594	-0,413	73,078	73,179	73,487	73,969	-0,092	-1,979
0,8992	1,20871	-0,293	73,248	72,996	73,534	73,640	-0,045	-2,308
0,9302	1,22194	-0,212	73,357	72,924	73,561	73,399	-0,023	-2,542
0,9501	1,23051	-0,155	73,417	72,853	73,567	73,237	-0,012	-2,711
0,9587	1,23379	-0,130	73,466	73,219	73,575	73,153	-0,009	-2,789
0,9685	1,23806	-0,100	73,492	73,257	73,574	73,066	-0,005	-2,882
0,9793	1,24256	-0,067	73,530	73,418	73,581	72,953	-0,002	-2,989
0,9903	1,24719	-0,032	73,566	74,101	73,583	72,838	-0,001	-3,103

Fonte: Autor

Tabela A16 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,79408	-0,032	69,494	76,117	68,958	76,150	-3,886	-0,001
0,0203	0,79909	-0,064	69,926	76,090	69,082	76,148	-3,762	-0,003
0,0300	0,80378	-0,094	69,957	76,061	69,194	76,145	-3,651	-0,005
0,0420	0,80966	-0,130	69,948	76,023	69,329	76,140	-3,516	-0,010
0,0543	0,81561	-0,166	70,002	75,987	69,461	76,133	-3,383	-0,017
0,0847	0,83051	-0,250	69,997	75,887	69,769	76,110	-3,075	-0,040
0,0997	0,83786	-0,289	69,981	75,836	69,923	76,100	-2,933	-0,055
0,1514	0,86321	-0,413	70,112	75,662	70,355	76,032	-2,489	-0,118
0,2009	0,88747	-0,516	70,224	75,492	70,731	75,958	-2,124	-0,196
0,2517	0,91231	-0,606	70,406	75,330	71,044	75,860	-1,800	-0,290
0,2992	0,93535	-0,676	70,588	75,186	71,318	75,764	-1,538	-0,390
0,3516	0,96108	-0,738	70,702	74,994	71,556	75,644	-1,287	-0,511
0,3986	0,98371	-0,780	70,899	74,857	71,765	75,525	-1,091	-0,629
0,4513	1,00907	-0,812	71,089	74,707	71,946	75,380	-0,899	-0,770
0,5007	1,03315	-0,827	71,203	74,510	72,102	75,242	-0,741	-0,913
0,5515	1,05754	-0,828	71,363	74,335	72,244	75,084	-0,599	-1,071
0,6006	1,08129	-0,813	71,488	74,117	72,365	74,919	-0,478	-1,236
0,6507	1,10512	-0,782	71,643	73,919	72,474	74,738	-0,370	-1,417
0,6998	1,12839	-0,735	71,793	73,705	72,566	74,546	-0,277	-1,609
0,7514	1,15253	-0,666	71,960	73,448	72,662	74,324	-0,194	-1,830
0,7929	1,17189	-0,595	72,086	73,207	72,719	74,131	-0,137	-2,023
0,8493	1,19777	-0,475	72,276	72,889	72,781	73,844	-0,074	-2,310
0,9005	1,22067	-0,341	72,468	72,651	72,822	73,557	-0,033	-2,597
0,9286	1,23296	-0,256	72,581	72,749	72,826	73,388	-0,017	-2,767
0,9513	1,24286	-0,181	72,673	72,580	72,847	73,242	-0,008	-2,912
0,9485	1,24172	-0,190	72,657	72,714	72,834	73,261	-0,009	-2,894
0,9686	1,25031	-0,120	72,742	73,045	72,840	73,129	-0,003	-3,026
0,9787	1,25472	-0,082	72,781	73,272	72,842	73,061	-0,002	-3,094
0,9892	1,25923	-0,043	72,821	73,997	72,844	72,984	0,000	-3,166

Fonte: Autor

Tabela A17 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,78993	-0,032	69,709	76,518	68,787	76,551	-4,252	-0,001
0,0203	0,79494	-0,065	70,097	76,491	68,943	76,549	-4,097	-0,003
0,0300	0,79964	-0,095	70,083	76,460	69,082	76,545	-3,958	-0,007
0,0420	0,80552	-0,132	70,075	76,422	69,248	76,539	-3,792	-0,013
0,0543	0,81147	-0,169	70,132	76,385	69,409	76,531	-3,631	-0,021
0,0847	0,82640	-0,256	70,099	76,279	69,777	76,503	-3,263	-0,048
0,0997	0,83376	-0,297	70,072	76,227	69,954	76,491	-3,097	-0,065
0,1514	0,85915	-0,428	70,209	76,047	70,446	76,415	-2,594	-0,137
0,2009	0,88346	-0,537	70,316	75,869	70,855	76,335	-2,196	-0,222
0,2517	0,90837	-0,633	70,500	75,697	71,185	76,230	-1,855	-0,321
0,2992	0,93148	-0,707	70,679	75,544	71,465	76,133	-1,586	-0,424
0,3516	0,95725	-0,773	70,806	75,345	71,708	76,011	-1,332	-0,546
0,3986	0,97996	-0,818	71,002	75,198	71,917	75,892	-1,135	-0,664
0,4513	1,00539	-0,851	71,200	75,039	72,099	75,744	-0,940	-0,808
0,5007	1,02955	-0,867	71,317	74,829	72,262	75,602	-0,779	-0,955
0,5515	1,05402	-0,867	71,482	74,640	72,410	75,437	-0,630	-1,120
0,6006	1,07785	-0,852	71,611	74,407	72,539	75,262	-0,501	-1,294
0,6507	1,10161	-0,820	71,786	74,219	72,656	75,067	-0,385	-1,489
0,6998	1,12496	-0,772	71,939	73,988	72,756	74,858	-0,284	-1,698
0,7514	1,14918	-0,703	72,110	73,712	72,857	74,620	-0,194	-1,937
0,7929	1,16859	-0,631	72,240	73,451	72,918	74,415	-0,134	-2,141
0,8493	1,19454	-0,507	72,437	73,092	72,982	74,120	-0,069	-2,436
0,9005	1,21750	-0,367	72,635	72,784	73,022	73,841	-0,029	-2,716
0,9286	1,22982	-0,277	72,751	72,792	73,025	73,685	-0,015	-2,872
0,9513	1,23964	-0,197	72,851	72,639	73,045	73,558	-0,007	-2,998
0,9485	1,23851	-0,207	72,834	72,751	73,033	73,574	-0,008	-2,983
0,9686	1,24703	-0,131	72,927	73,070	73,038	73,463	-0,003	-3,094
0,9787	1,25141	-0,090	72,969	73,266	73,039	73,407	-0,001	-3,150
0,9892	1,25588	-0,047	73,013	74,105	73,039	73,345	0,000	-3,207

Fonte: Autor

Tabela A18 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,78572	-0,033	69,829	76,931	68,891	76,964	-4,328	-0,001
0,0203	0,79074	-0,067	70,175	76,901	69,043	76,961	-4,176	-0,003
0,0300	0,79544	-0,098	70,177	76,870	69,178	76,958	-4,041	-0,007
0,0420	0,80133	-0,136	70,158	76,830	69,341	76,952	-3,878	-0,013
0,0543	0,80729	-0,174	70,210	76,792	69,499	76,944	-3,720	-0,021
0,0847	0,82223	-0,264	70,190	76,684	69,862	76,917	-3,358	-0,048
0,0997	0,82962	-0,306	70,153	76,627	70,038	76,904	-3,193	-0,064
0,1514	0,85505	-0,442	70,290	76,442	70,529	76,828	-2,691	-0,136
0,2009	0,87942	-0,555	70,400	76,257	70,942	76,747	-2,288	-0,222
0,2517	0,90439	-0,655	70,585	76,078	71,280	76,641	-1,939	-0,324
0,2992	0,92745	-0,733	70,801	75,931	71,570	76,539	-1,660	-0,430
0,3516	0,95340	-0,802	70,901	75,712	71,824	76,412	-1,395	-0,558
0,3986	0,97619	-0,848	71,101	75,557	72,044	76,286	-1,187	-0,683
0,4513	1,00169	-0,883	71,305	75,390	72,238	76,130	-0,981	-0,834
0,5007	1,02591	-0,900	71,430	75,175	72,410	75,979	-0,809	-0,990
0,5515	1,05046	-0,900	71,599	74,978	72,567	75,805	-0,652	-1,165
0,6006	1,07437	-0,884	71,733	74,735	72,703	75,620	-0,517	-1,349
0,6507	1,09822	-0,850	71,913	74,535	72,825	75,416	-0,394	-1,553
0,6998	1,12148	-0,799	72,087	74,329	72,929	75,199	-0,290	-1,770
0,7514	1,14577	-0,725	72,264	74,046	73,034	74,952	-0,197	-2,016
0,7929	1,16525	-0,650	72,397	73,776	73,096	74,743	-0,135	-2,226
0,8493	1,19127	-0,521	72,600	73,412	73,161	74,443	-0,070	-2,526
0,9005	1,21430	-0,376	72,803	73,094	73,201	74,161	-0,029	-2,808
0,9286	1,22665	-0,283	72,922	73,108	73,204	74,006	-0,015	-2,964
0,9513	1,23650	-0,201	73,025	72,940	73,224	73,878	-0,007	-3,090
0,9485	1,23537	-0,211	73,007	73,061	73,212	73,895	-0,008	-3,074
0,9686	1,24391	-0,133	73,103	73,387	73,216	73,784	-0,003	-3,185
0,9787	1,24830	-0,092	73,146	73,592	73,218	73,729	-0,001	-3,241
0,9892	1,25278	-0,048	73,191	74,407	73,219	73,667	0,000	-3,297

Fonte: Autor

Tabela A19 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,78145	-0,034	69,948	77,353	68,980	77,387	-4,422	-0,001
0,0203	0,78647	-0,069	70,300	77,323	69,129	77,385	-4,273	-0,003
0,0300	0,79118	-0,101	70,271	77,291	69,262	77,381	-4,139	-0,006
0,0420	0,79707	-0,140	70,264	77,250	69,423	77,375	-3,979	-0,012
0,0543	0,80304	-0,179	70,306	77,210	69,579	77,367	-3,823	-0,020
0,0847	0,81802	-0,272	70,259	77,097	69,938	77,340	-3,463	-0,047
0,0997	0,82537	-0,316	70,262	77,044	70,114	77,329	-3,299	-0,064
0,1514	0,85091	-0,457	70,359	76,845	70,606	77,252	-2,795	-0,136
0,2009	0,87533	-0,575	70,473	76,653	71,026	77,170	-2,387	-0,223
0,2517	0,90035	-0,679	70,670	76,469	71,372	77,060	-2,030	-0,327
0,2992	0,92342	-0,761	70,903	76,321	71,672	76,956	-1,741	-0,437
0,3516	0,94951	-0,834	70,990	76,086	71,938	76,823	-1,463	-0,571
0,3986	0,97240	-0,883	71,191	75,920	72,169	76,690	-1,244	-0,702
0,4513	0,99795	-0,919	71,408	75,749	72,375	76,525	-1,026	-0,863
0,5007	1,02222	-0,936	71,542	75,529	72,557	76,365	-0,844	-1,028
0,5515	1,04685	-0,936	71,717	75,323	72,724	76,180	-0,678	-1,213
0,6006	1,07083	-0,919	71,858	75,072	72,867	75,985	-0,534	-1,408
0,6507	1,09476	-0,882	72,043	74,863	72,996	75,770	-0,405	-1,623
0,6998	1,11808	-0,828	72,225	74,650	73,105	75,543	-0,296	-1,851
0,7514	1,14239	-0,750	72,413	74,369	73,213	75,287	-0,200	-2,106
0,7929	1,16186	-0,671	72,556	74,112	73,277	75,071	-0,136	-2,321
0,8493	1,18796	-0,536	72,765	73,740	73,344	74,766	-0,069	-2,626
0,9005	1,21106	-0,386	72,973	73,414	73,384	74,483	-0,029	-2,909
0,9286	1,22345	-0,290	73,096	73,422	73,387	74,330	-0,014	-3,064
0,9513	1,23332	-0,205	73,201	73,259	73,406	74,205	-0,007	-3,188
0,9485	1,23219	-0,216	73,183	73,376	73,394	74,221	-0,007	-3,173
0,9686	1,24075	-0,136	73,282	73,710	73,399	74,113	-0,003	-3,281
0,9787	1,24516	-0,094	73,325	73,895	73,400	74,059	-0,001	-3,335
0,9892	1,24965	-0,049	73,372	74,713	73,401	73,998	0,000	-3,389

Fonte: Autor

Tabela A20 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,77716	-0,034	69,966	77,782	69,053	77,818	-4,531	-0,001
0,0203	0,78219	-0,070	70,327	77,751	69,198	77,816	-4,385	-0,003
0,0300	0,78690	-0,103	70,331	77,718	69,329	77,812	-4,255	-0,006
0,0420	0,79281	-0,143	70,298	77,674	69,486	77,806	-4,097	-0,012
0,0543	0,79879	-0,183	70,347	77,633	69,640	77,799	-3,944	-0,020
0,0847	0,81379	-0,279	70,315	77,516	69,996	77,772	-3,588	-0,046
0,0997	0,82098	-0,324	70,484	77,479	70,171	77,760	-3,424	-0,063
0,1514	0,84675	-0,470	70,421	77,254	70,666	77,683	-2,918	-0,136
0,2009	0,87119	-0,593	70,556	77,059	71,093	77,599	-2,502	-0,224
0,2517	0,89603	-0,703	70,839	76,895	71,451	77,486	-2,133	-0,332
0,2992	0,91959	-0,790	70,944	76,691	71,765	77,377	-1,830	-0,447
0,3516	0,94563	-0,867	71,073	76,463	72,047	77,236	-1,537	-0,588
0,3986	0,96864	-0,919	71,271	76,282	72,292	77,095	-1,304	-0,728
0,4513	0,99422	-0,958	71,505	76,109	72,513	76,918	-1,071	-0,900
0,5007	1,01855	-0,977	71,648	75,883	72,708	76,747	-0,876	-1,077
0,5515	1,04325	-0,977	71,831	75,670	72,886	76,550	-0,698	-1,275
0,6006	1,06731	-0,958	71,978	75,409	73,038	76,343	-0,546	-1,482
0,6507	1,09132	-0,920	72,169	75,190	73,173	76,117	-0,410	-1,708
0,6998	1,11472	-0,862	72,357	74,966	73,287	75,880	-0,296	-1,945
0,7514	1,13911	-0,780	72,552	74,671	73,398	75,617	-0,197	-2,207
0,7929	1,15862	-0,696	72,703	74,407	73,463	75,399	-0,133	-2,425
0,8493	1,18467	-0,555	72,929	74,065	73,529	75,095	-0,067	-2,729
0,9005	1,20783	-0,397	73,144	73,736	73,568	74,820	-0,027	-3,004
0,9286	1,22025	-0,298	73,270	73,746	73,570	74,674	-0,013	-3,151
0,9513	1,23015	-0,211	73,378	73,579	73,589	74,556	-0,006	-3,267
0,9485	1,22902	-0,222	73,359	73,693	73,577	74,572	-0,007	-3,253
0,9686	1,23761	-0,140	73,460	74,015	73,581	74,472	-0,002	-3,353
0,9787	1,24202	-0,096	73,506	74,227	73,583	74,423	-0,001	-3,402
0,9892	1,24652	-0,050	73,554	75,074	73,583	74,367	0,000	-3,451

Fonte: Autor

Tabela A21 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 288,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,81903	-0,013	71,299	90,895	70,254	90,909	-2,594	-0,001
0,0200	0,82278	-0,026	71,567	90,884	70,404	90,907	-2,444	-0,003
0,0411	0,83060	-0,053	71,670	90,865	70,692	90,904	-2,159	-0,012
0,0707	0,84182	-0,089	71,671	90,826	71,037	90,884	-1,814	-0,032
0,1016	0,85369	-0,126	71,665	90,781	71,344	90,855	-1,515	-0,060
0,1486	0,87201	-0,176	71,667	90,715	71,691	90,811	-1,160	-0,111
0,1981	0,89167	-0,222	71,709	90,639	71,961	90,755	-0,889	-0,167
0,2509	0,91310	-0,264	71,745	90,551	72,163	90,697	-0,688	-0,225
0,2994	0,93288	-0,296	71,890	90,502	72,299	90,642	-0,559	-0,273
0,3516	0,95486	-0,324	71,917	90,415	72,390	90,601	-0,461	-0,320
0,3994	0,97532	-0,343	71,991	90,340	72,453	90,550	-0,395	-0,360
0,4515	0,99799	-0,358	72,065	90,260	72,516	90,507	-0,337	-0,402
0,5008	1,01978	-0,368	72,133	90,193	72,557	90,465	-0,291	-0,445
0,5522	1,04317	-0,373	72,180	90,078	72,609	90,413	-0,245	-0,496
0,6499	1,08878	-0,370	72,280	89,844	72,693	90,286	-0,161	-0,623
0,7501	1,13727	-0,340	72,398	89,533	72,775	90,109	-0,083	-0,807
0,8501	1,18736	-0,268	72,536	89,086	72,832	89,883	-0,026	-1,033
0,9204	1,22303	-0,174	72,676	88,812	72,852	89,727	-0,006	-1,189
0,9594	1,24299	-0,099	72,765	88,707	72,857	89,654	-0,001	-1,262
0,9801	1,25382	-0,052	72,803	88,188	72,858	89,624	0,000	-1,292
0,9902	1,25874	-0,026	72,845	89,561	72,858	89,611	0,000	-1,305

Fonte: Autor

Tabela A22 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 293,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,81524	-0,013	71,550	91,319	70,134	91,333	-2,906	-0,001
0,0200	0,81899	-0,026	71,763	91,308	70,312	91,330	-2,728	-0,004
0,0411	0,82681	-0,054	71,841	91,288	70,651	91,325	-2,391	-0,014
0,0707	0,83804	-0,092	71,818	91,246	71,056	91,301	-1,986	-0,038
0,1016	0,84990	-0,130	71,805	91,201	71,411	91,271	-1,639	-0,070
0,1486	0,86826	-0,184	71,800	91,128	71,809	91,217	-1,233	-0,128
0,1981	0,88794	-0,234	71,842	91,048	72,111	91,154	-0,931	-0,191
0,2509	0,90941	-0,280	71,873	90,953	72,329	91,092	-0,713	-0,253
0,2994	0,92917	-0,315	72,031	90,906	72,472	91,037	-0,577	-0,304
0,3516	0,95124	-0,345	72,048	90,806	72,564	90,993	-0,478	-0,352
0,3994	0,97174	-0,365	72,123	90,724	72,628	90,942	-0,412	-0,391
0,4515	0,99440	-0,382	72,209	90,645	72,689	90,899	-0,356	-0,433
0,5008	1,01630	-0,392	72,268	90,559	72,732	90,857	-0,308	-0,476
0,5522	1,03970	-0,399	72,323	90,443	72,784	90,803	-0,260	-0,530
0,6499	1,08540	-0,396	72,429	90,190	72,876	90,663	-0,169	-0,669
0,7501	1,13393	-0,368	72,558	89,867	72,968	90,469	-0,082	-0,872
0,8501	1,18425	-0,294	72,693	89,320	73,027	90,232	-0,023	-1,109
0,9204	1,21987	-0,192	72,848	89,012	73,046	90,090	-0,004	-1,251
0,9594	1,23983	-0,111	72,942	88,801	73,049	90,042	0,000	-1,300
0,9801	1,25060	-0,058	72,987	88,232	73,050	90,030	0,000	-1,312
0,9902	1,25543	-0,029	73,035	89,878	73,050	90,028	0,000	-1,313

Fonte: Autor

Tabela A23 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 298,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,81139	-0,013	71,578	91,754	70,307	91,769	-2,914	-0,001
0,0200	0,81513	-0,027	71,908	91,743	70,477	91,767	-2,744	-0,003
0,0411	0,82295	-0,055	71,988	91,723	70,801	91,762	-2,421	-0,014
0,0707	0,83419	-0,094	71,952	91,679	71,191	91,739	-2,031	-0,036
0,1016	0,84605	-0,134	71,956	91,633	71,535	91,709	-1,694	-0,068
0,1486	0,86443	-0,190	71,935	91,557	71,924	91,657	-1,297	-0,124
0,1981	0,88413	-0,243	71,977	91,474	72,225	91,595	-0,996	-0,187
0,2509	0,90563	-0,291	72,008	91,375	72,449	91,530	-0,772	-0,251
0,2994	0,92544	-0,328	72,164	91,322	72,600	91,472	-0,629	-0,305
0,3516	0,94753	-0,360	72,184	91,219	72,701	91,424	-0,520	-0,358
0,3994	0,96808	-0,383	72,259	91,130	72,776	91,368	-0,445	-0,403
0,4515	0,99079	-0,401	72,348	91,047	72,845	91,316	-0,378	-0,452
0,5008	1,01273	-0,413	72,409	90,955	72,898	91,268	-0,323	-0,502
0,5522	1,03620	-0,419	72,465	90,832	72,955	91,205	-0,269	-0,563
0,6499	1,08202	-0,414	72,575	90,564	73,054	91,055	-0,169	-0,713
0,7501	1,13054	-0,381	72,722	90,255	73,149	90,855	-0,080	-0,922
0,8501	1,18086	-0,300	72,871	89,748	73,208	90,621	-0,021	-1,156
0,9204	1,21669	-0,195	73,022	89,377	73,226	90,485	-0,003	-1,292
0,9594	1,23670	-0,111	73,118	89,153	73,229	90,441	0,000	-1,336
0,9801	1,24749	-0,058	73,164	88,581	73,229	90,431	0,000	-1,346
0,9902	1,25233	-0,029	73,214	90,236	73,229	90,430	0,000	-1,347

Fonte: Autor

Tabela A24 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 303,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,80750	-0,014	71,947	92,197	70,387	92,211	-3,015	-0,001
0,0200	0,81125	-0,028	72,109	92,186	70,558	92,209	-2,844	-0,003
0,0411	0,81907	-0,058	72,109	92,165	70,884	92,206	-2,518	-0,014
0,0707	0,83031	-0,098	72,087	92,120	71,279	92,183	-2,124	-0,037
0,1016	0,84218	-0,139	72,088	92,072	71,630	92,152	-1,781	-0,069
0,1486	0,86058	-0,197	72,071	91,992	72,031	92,098	-1,372	-0,127
0,1981	0,88030	-0,252	72,113	91,906	72,345	92,033	-1,059	-0,192
0,2509	0,90183	-0,303	72,143	91,802	72,582	91,964	-0,822	-0,260
0,2994	0,92169	-0,342	72,291	91,743	72,743	91,903	-0,668	-0,318
0,3516	0,94380	-0,376	72,321	91,638	72,856	91,849	-0,548	-0,376
0,3994	0,96438	-0,400	72,401	91,546	72,938	91,786	-0,464	-0,426
0,4515	0,98714	-0,420	72,488	91,457	73,014	91,732	-0,391	-0,480
0,5008	1,00914	-0,433	72,551	91,359	73,071	91,677	-0,331	-0,535
0,5522	1,03266	-0,440	72,608	91,230	73,132	91,613	-0,273	-0,599
0,6499	1,07860	-0,436	72,722	90,945	73,234	91,458	-0,171	-0,754
0,7501	1,12723	-0,401	72,877	90,621	73,329	91,258	-0,082	-0,963
0,8501	1,17769	-0,314	73,033	90,078	73,388	91,023	-0,022	-1,198
0,9204	1,21347	-0,202	73,198	89,762	73,407	90,882	-0,004	-1,339
0,9594	1,23353	-0,115	73,297	89,539	73,410	90,832	-0,001	-1,389
0,9801	1,24431	-0,060	73,347	89,084	73,411	90,818	0,000	-1,403
0,9902	1,24925	-0,030	73,392	90,356	73,411	90,815	0,000	-1,406

Fonte: Autor

Tabela A25 - Dados de densidade, volume molar excesso, volume molar aparente, volume parcial molar e volume parcial molar excesso para o {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol a T = 308,15 K e à pressão atmosférica.

x_1	ρ	V_m^E	$V_{\phi 1}$	$V_{\phi 2}$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_1^E$	$\overline{V}_2^E$
	g·cm^{-3}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}	cm^3·mol^{-1}
0,0099	0,80359	-0,014	71,975	92,648	70,497	92,663	-3,089	-0,001
0,0200	0,80733	-0,029	72,255	92,637	70,666	92,660	-2,920	-0,003
0,0411	0,81515	-0,059	72,284	92,615	70,990	92,657	-2,596	-0,014
0,0707	0,82640	-0,101	72,237	92,568	71,384	92,634	-2,203	-0,037
0,1016	0,83827	-0,143	72,242	92,519	71,735	92,603	-1,859	-0,069
0,1486	0,85669	-0,203	72,214	92,436	72,141	92,548	-1,446	-0,127
0,1981	0,87644	-0,261	72,250	92,345	72,462	92,481	-1,125	-0,194
0,2509	0,89798	-0,314	72,286	92,240	72,709	92,410	-0,878	-0,265
0,2994	0,91792	-0,356	72,420	92,170	72,881	92,345	-0,714	-0,327
0,3516	0,94004	-0,392	72,459	92,064	73,004	92,285	-0,583	-0,390
0,3994	0,96066	-0,419	72,539	91,967	73,095	92,218	-0,491	-0,445
0,4515	0,98347	-0,441	72,629	91,872	73,180	92,157	-0,409	-0,506
0,5008	1,00552	-0,455	72,693	91,768	73,244	92,097	-0,342	-0,566
0,5522	1,02909	-0,463	72,754	91,633	73,310	92,026	-0,279	-0,637
0,6499	1,07513	-0,458	72,874	91,336	73,418	91,862	-0,171	-0,800
0,7501	1,12390	-0,418	73,034	90,989	73,515	91,658	-0,080	-1,014
0,8501	1,17441	-0,325	73,203	90,448	73,574	91,426	-0,021	-1,246
0,9204	1,21020	-0,209	73,378	90,168	73,591	91,292	-0,003	-1,380
0,9594	1,23032	-0,118	73,480	89,946	73,594	91,246	0,000	-1,426
0,9801	1,24116	-0,061	73,529	89,414	73,595	91,234	0,000	-1,438
0,9902	1,24613	-0,031	73,574	90,541	73,595	91,232	0,000	-1,440

APENDICE B – Gráficos

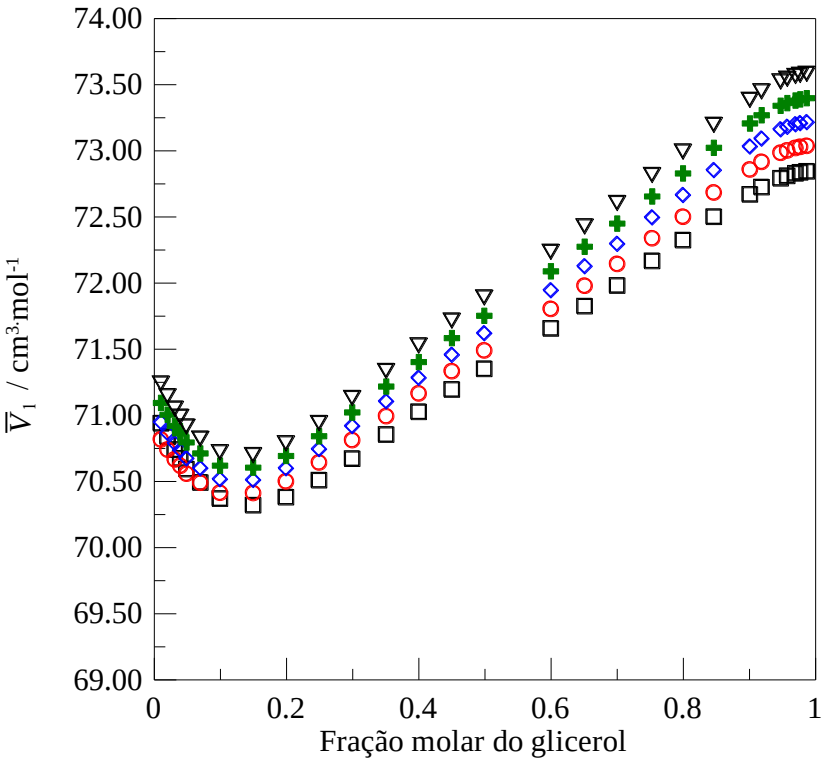


Figura B1 - Volume Parcial molar do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

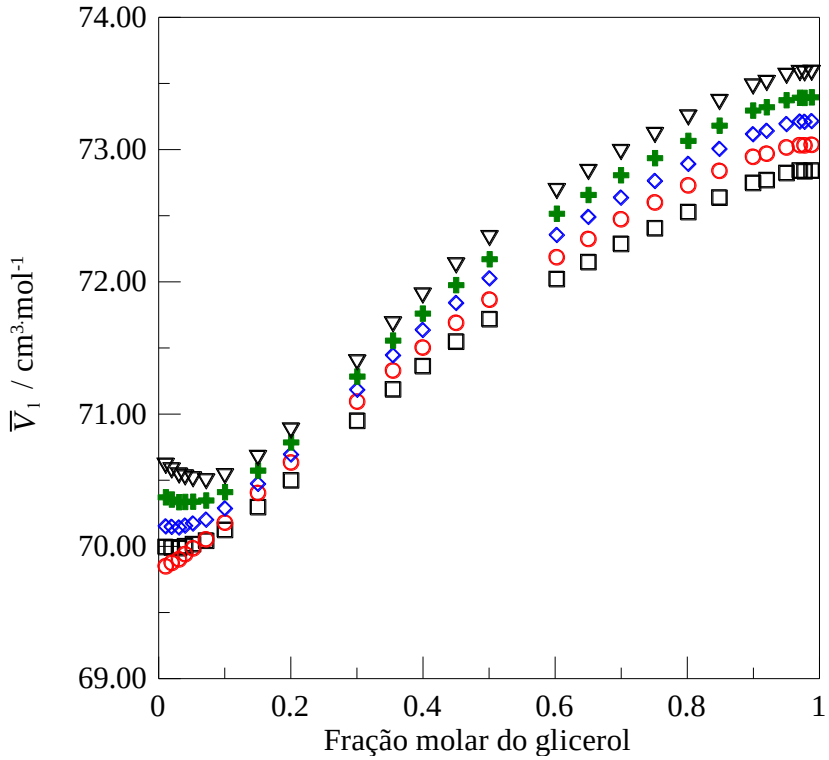


Figura B2 - Volume Parcial molar do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

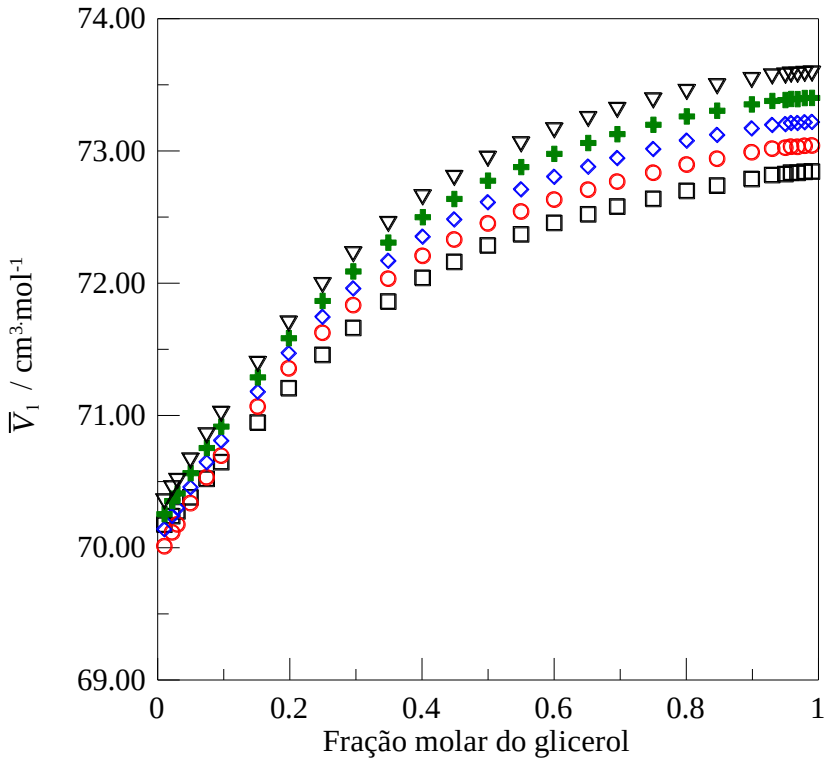


Figura B3 - Volume Parcial molar do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

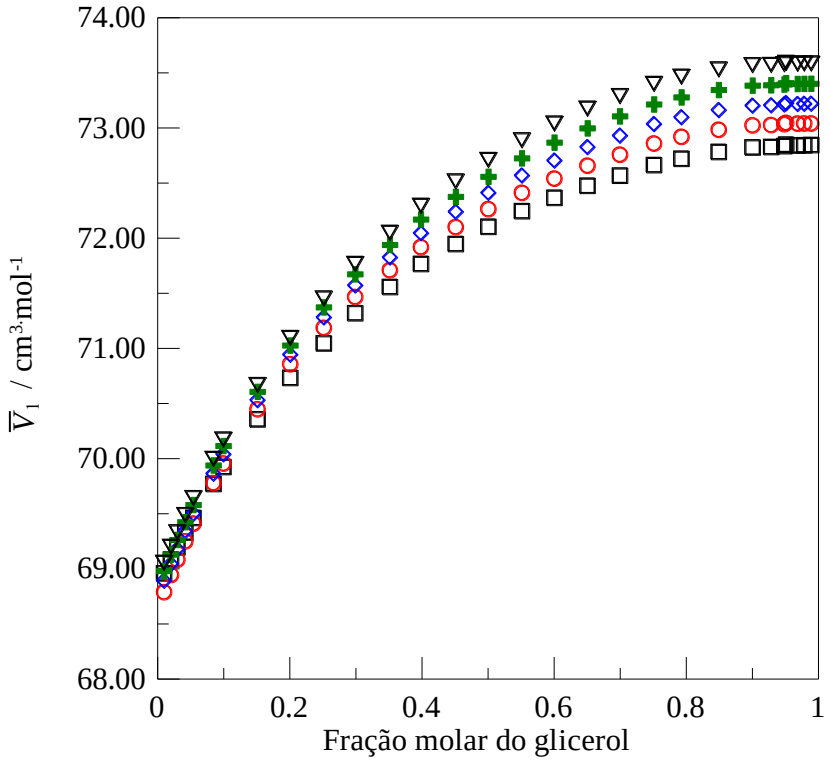


Figura B4 - Volume Parcial molar do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

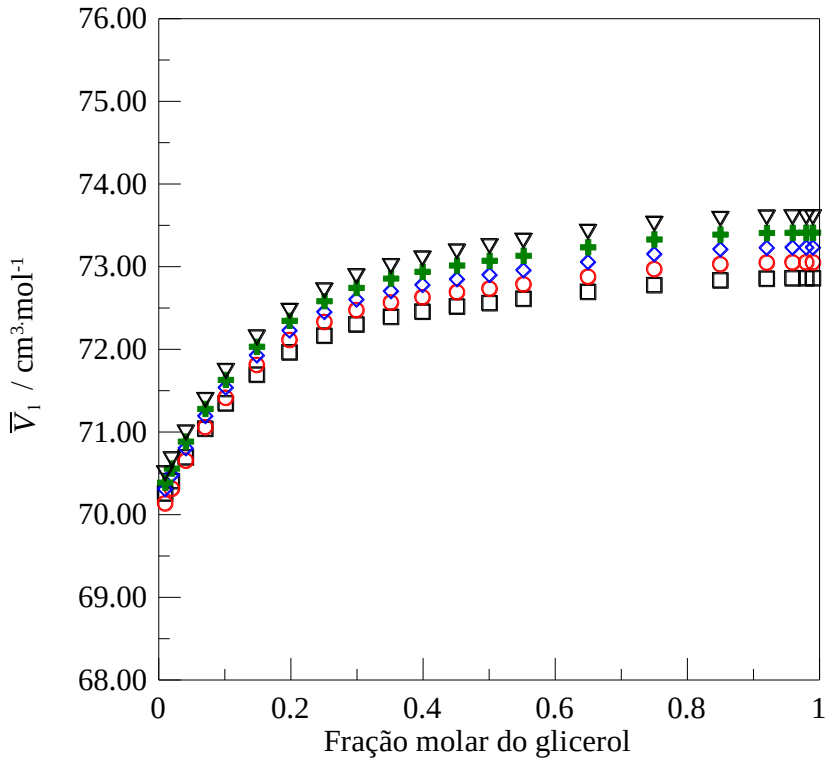


Figura B5 - Volume Parcial molar do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

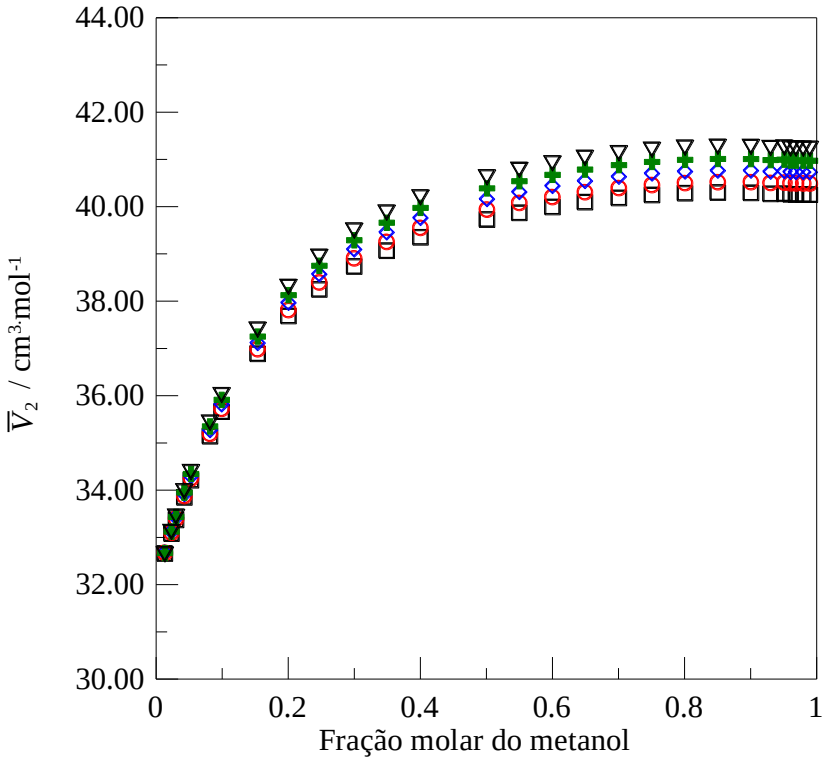


Figura B6 - Volume Parcial molar do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

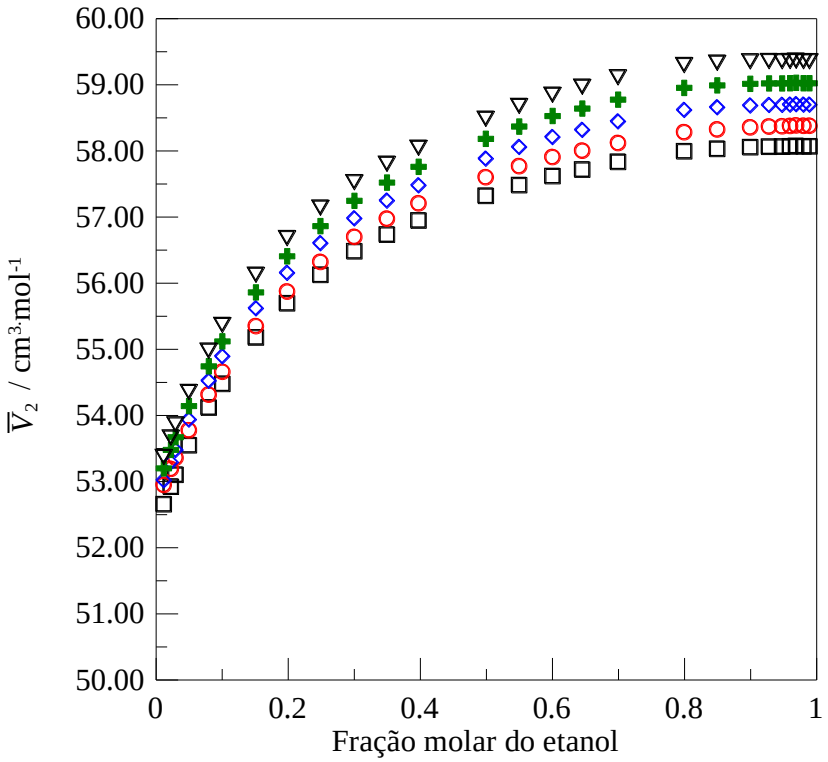


Figura B7 - Volume Parcial molar do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

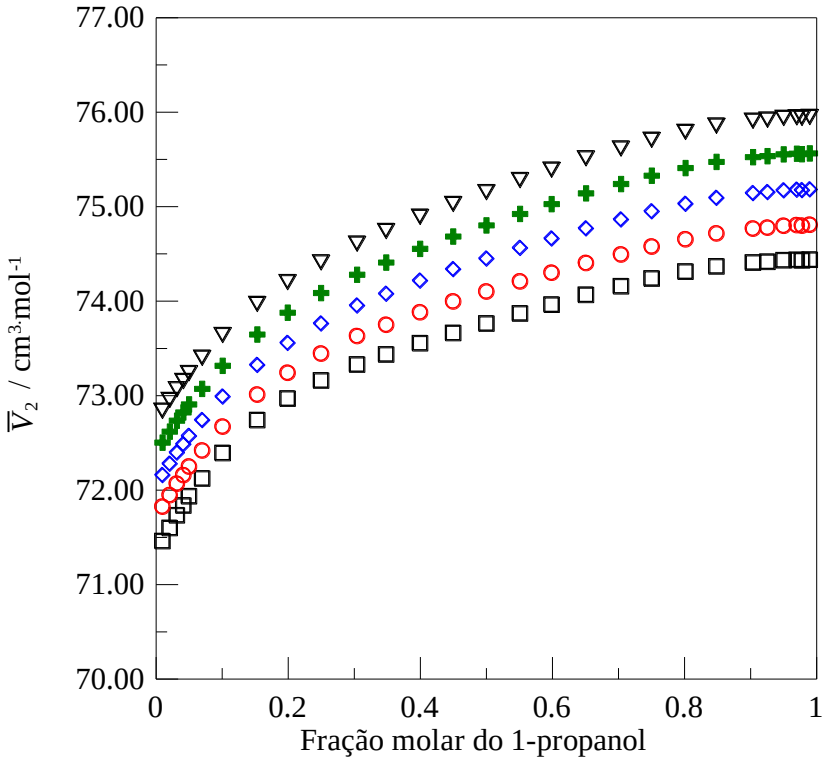


Figura B8 - Volume Parcial molar do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

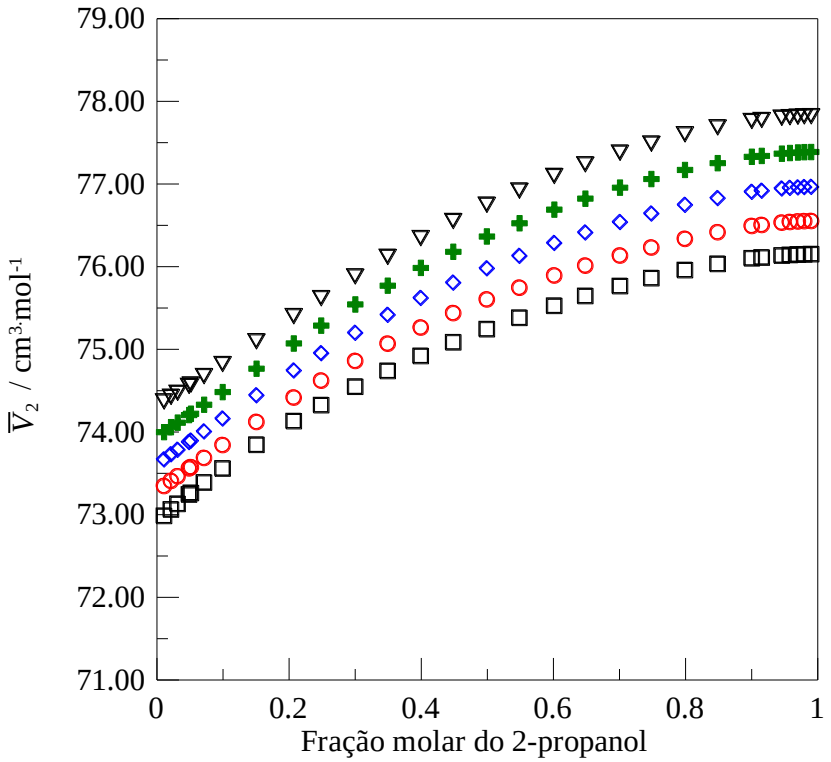


Figura B9 - Volume Parcial molar do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

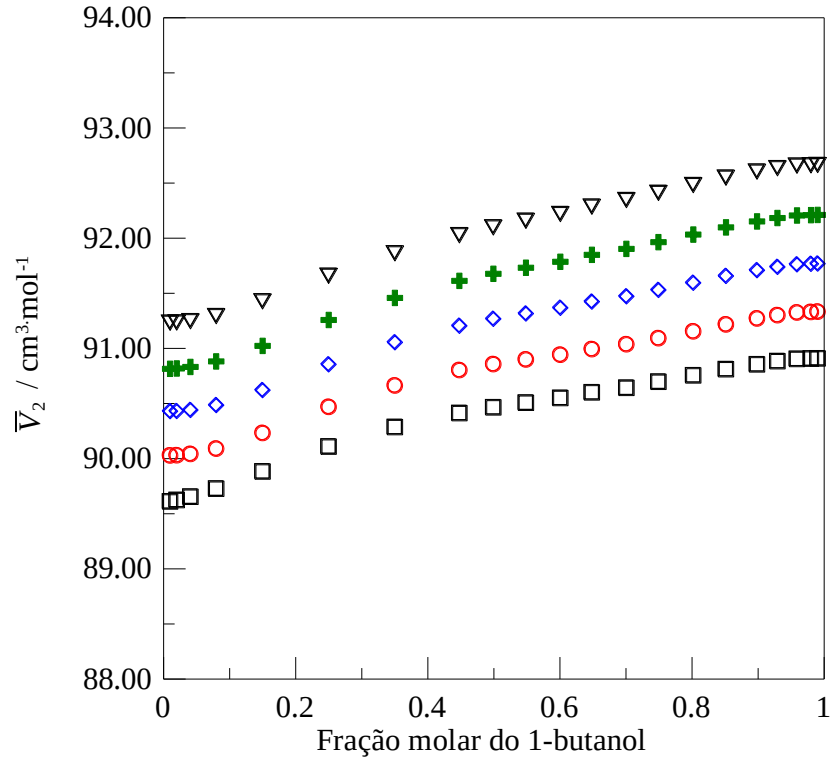


Figura B10 - Volume Parcial molar do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

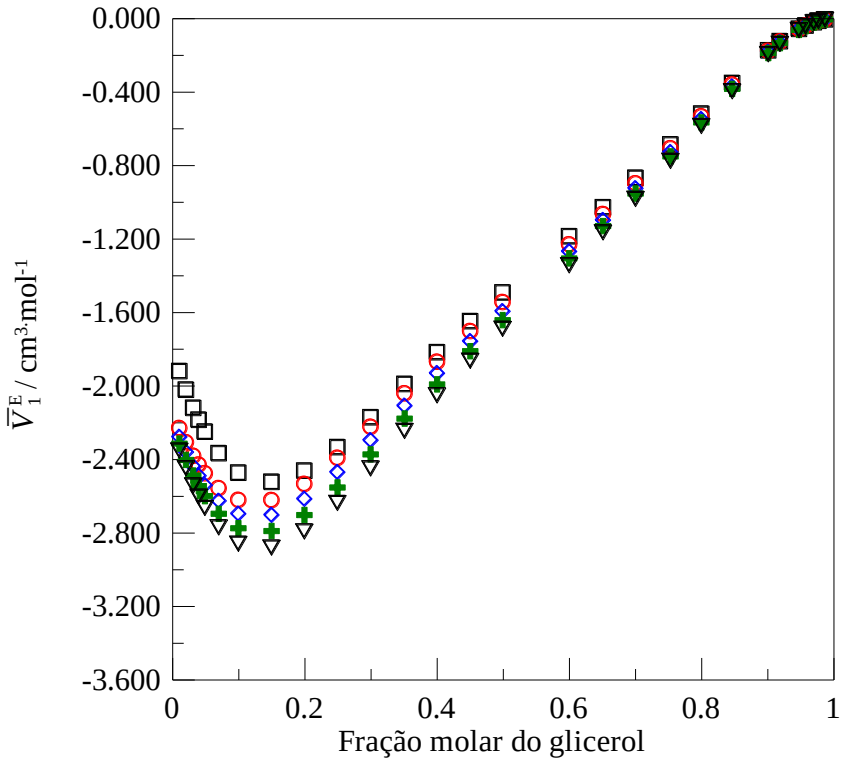


Figura B11 - Volume parcial molar excesso do componente1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

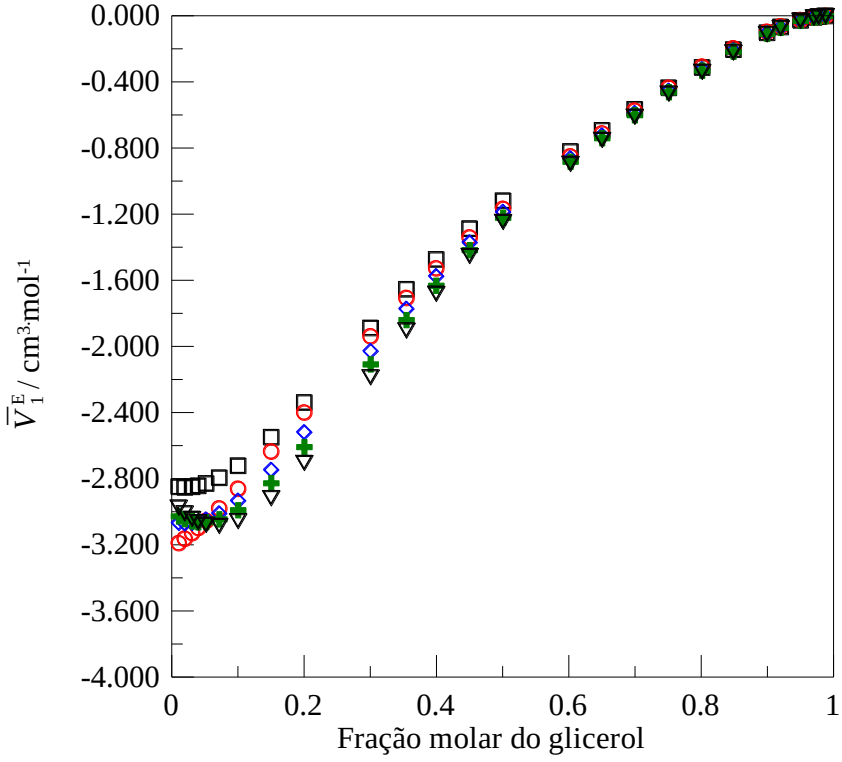


Figura B12 - Volume parcial molar excesso do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

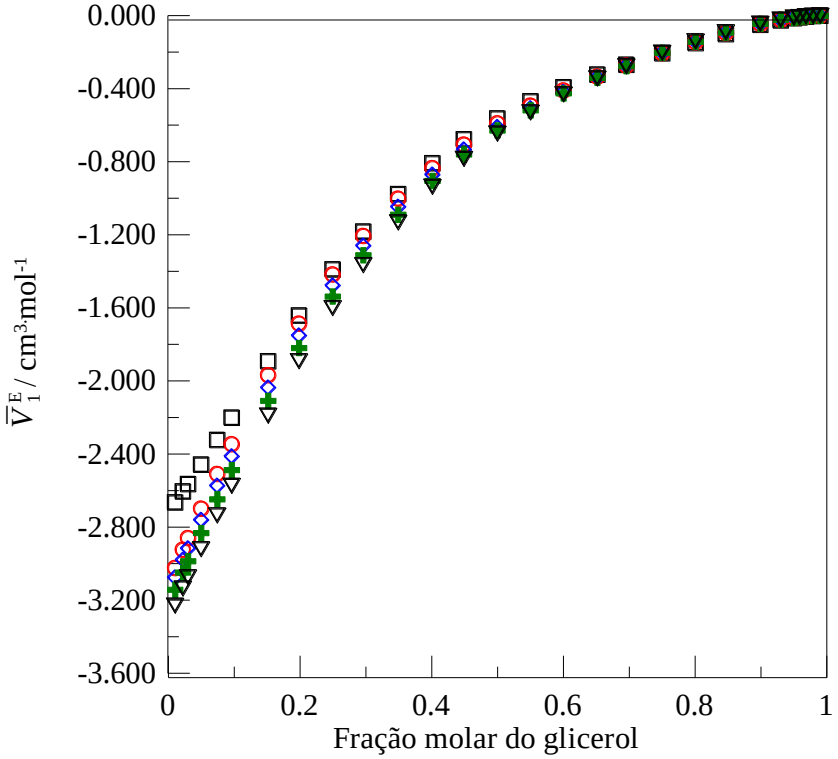


Figura B13 - Volume parcial molar excesso do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: . □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

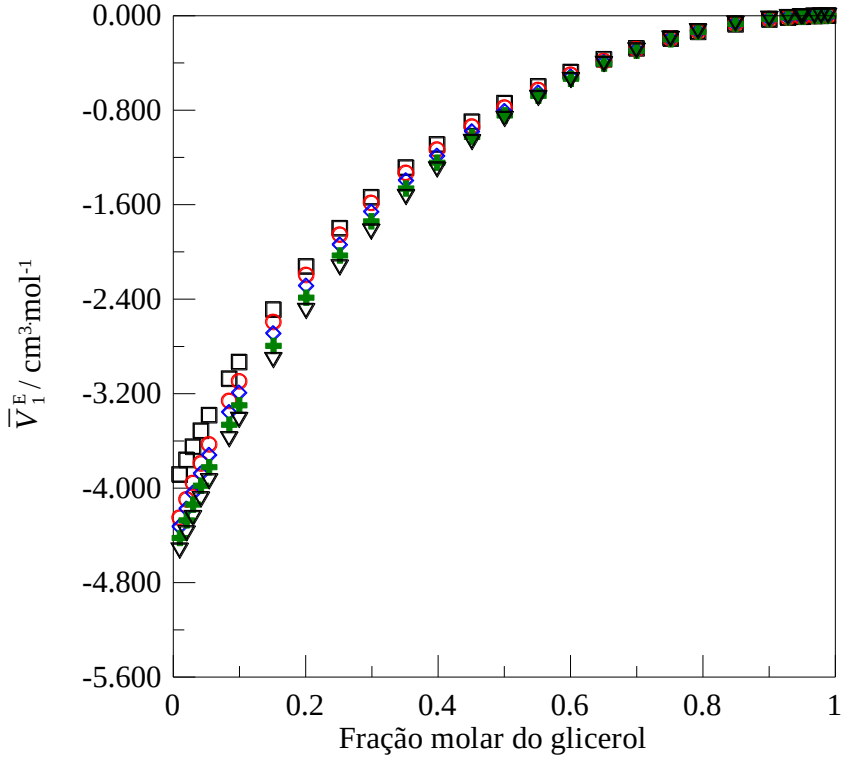


Figura B14 - Volume parcial molar excesso do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica
Fonte: Autor
Legenda: . □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

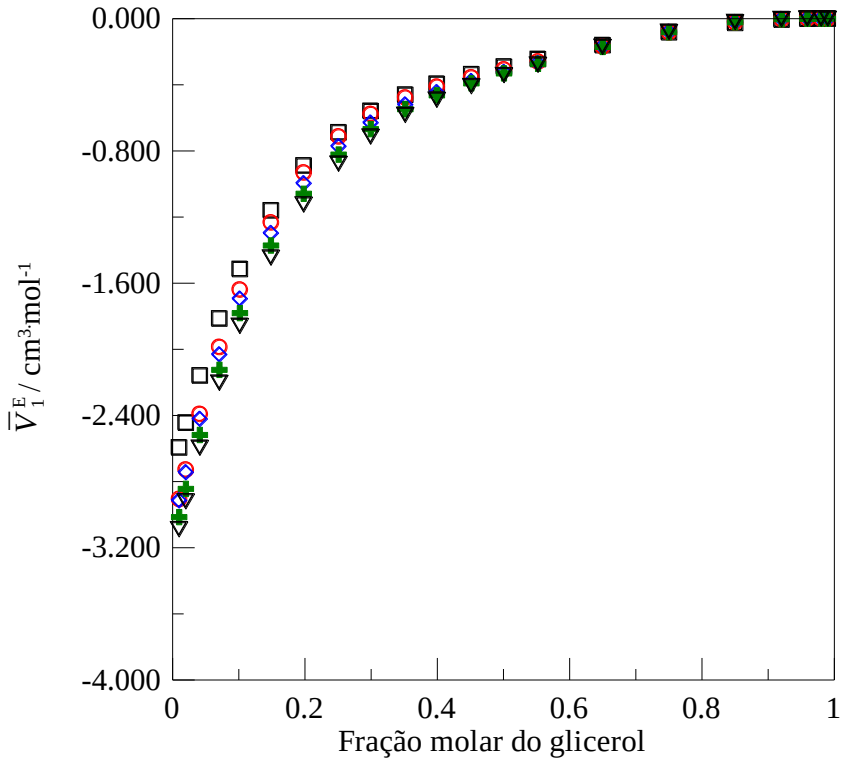


Figura B15 - Volume parcial molar excesso do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

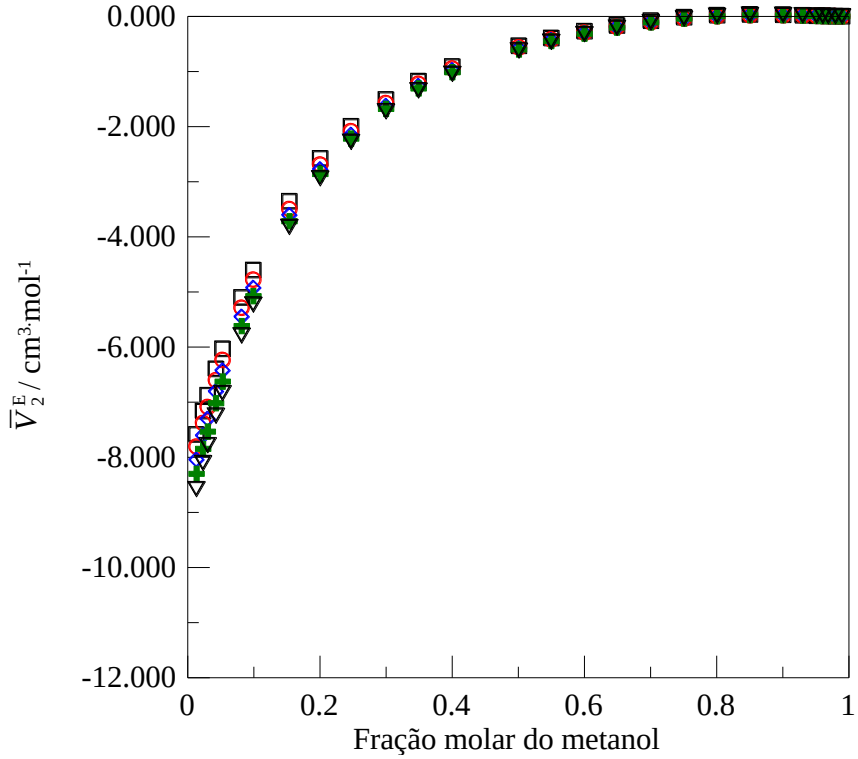


Figura B16 - Volume parcial molar excesso do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

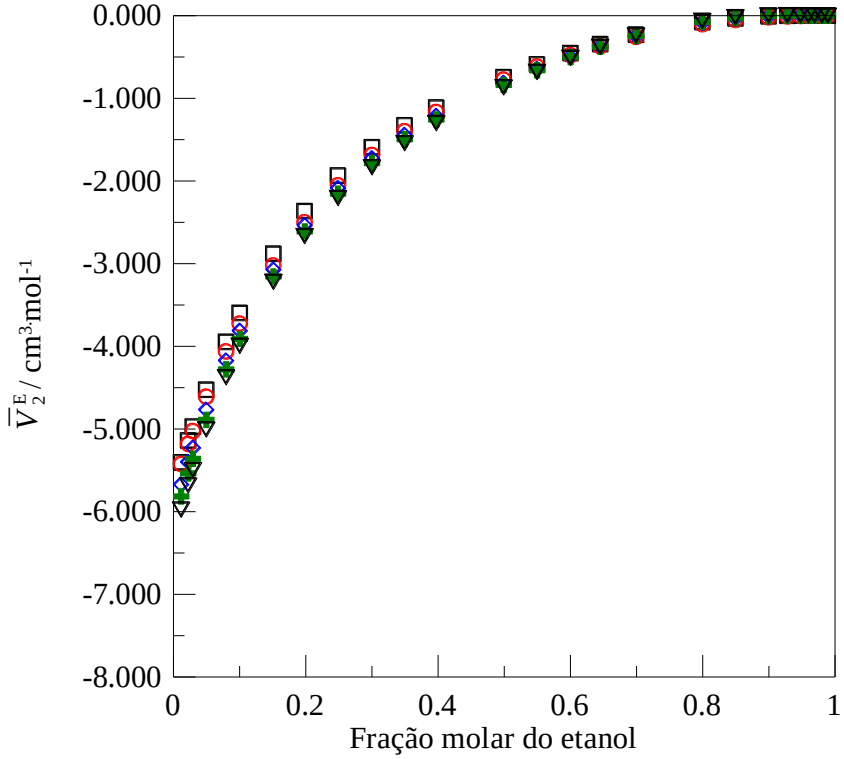


Figura B17 - Volume parcial molar excesso do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

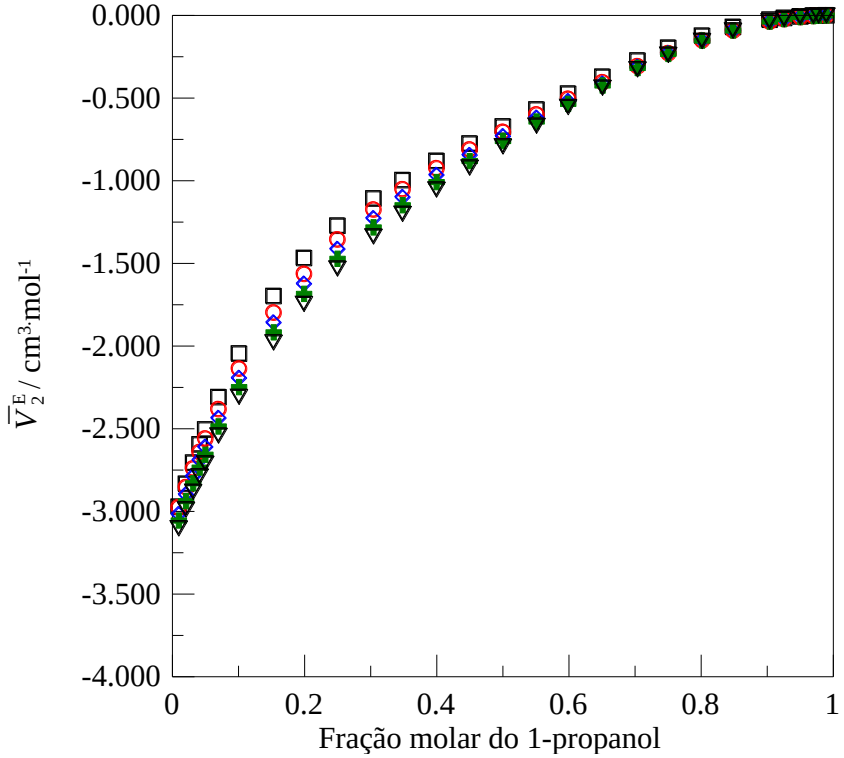


Figura B18 - Volume parcial molar excesso do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

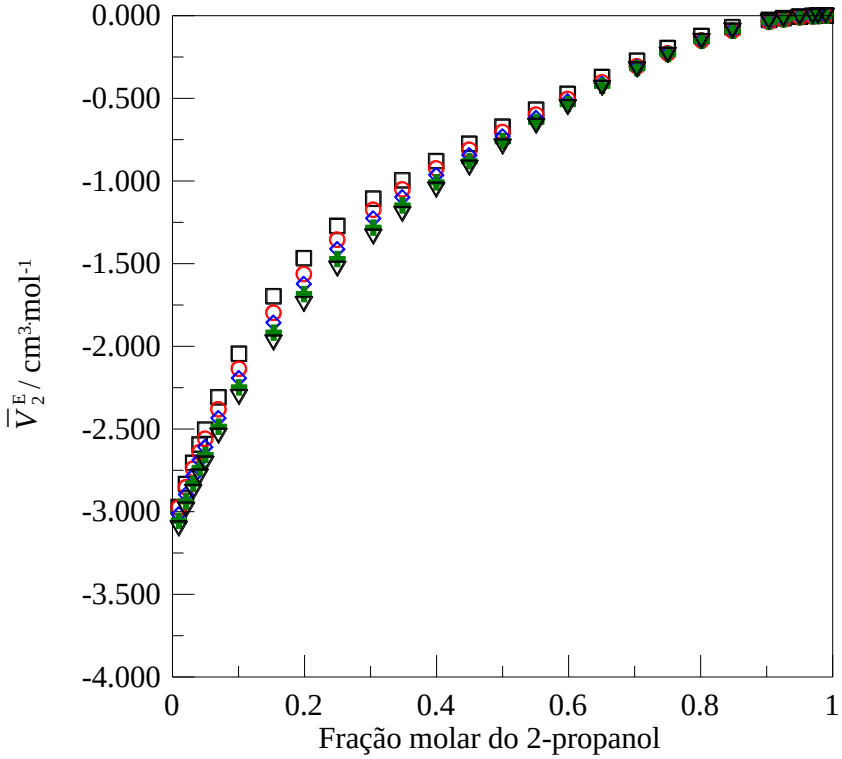


Figura B19 - Volume parcial molar excesso do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

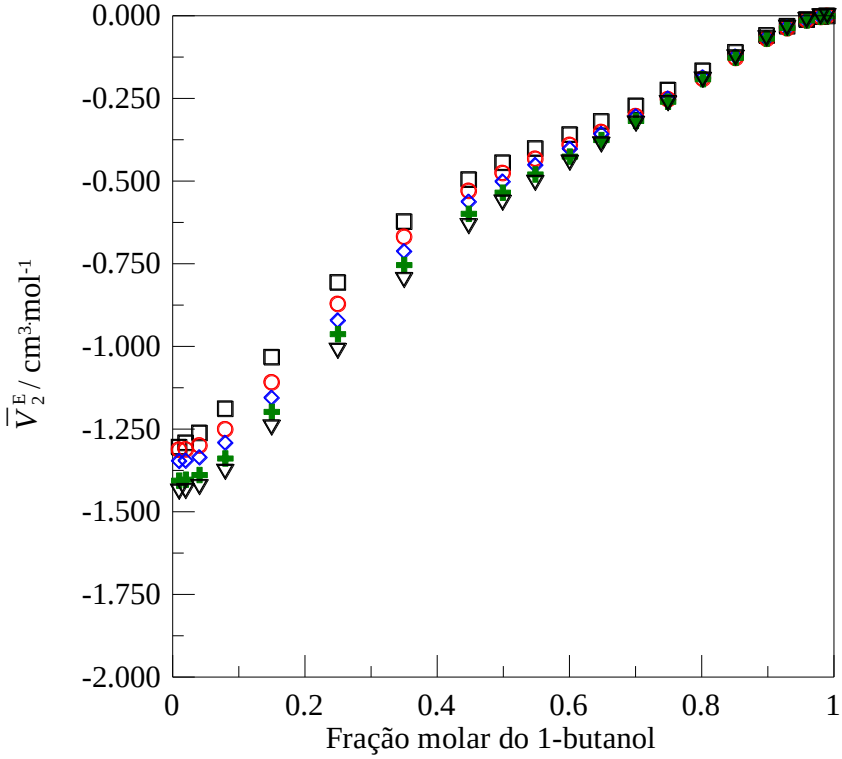


Figura B20 - Volume parcial molar excesso do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

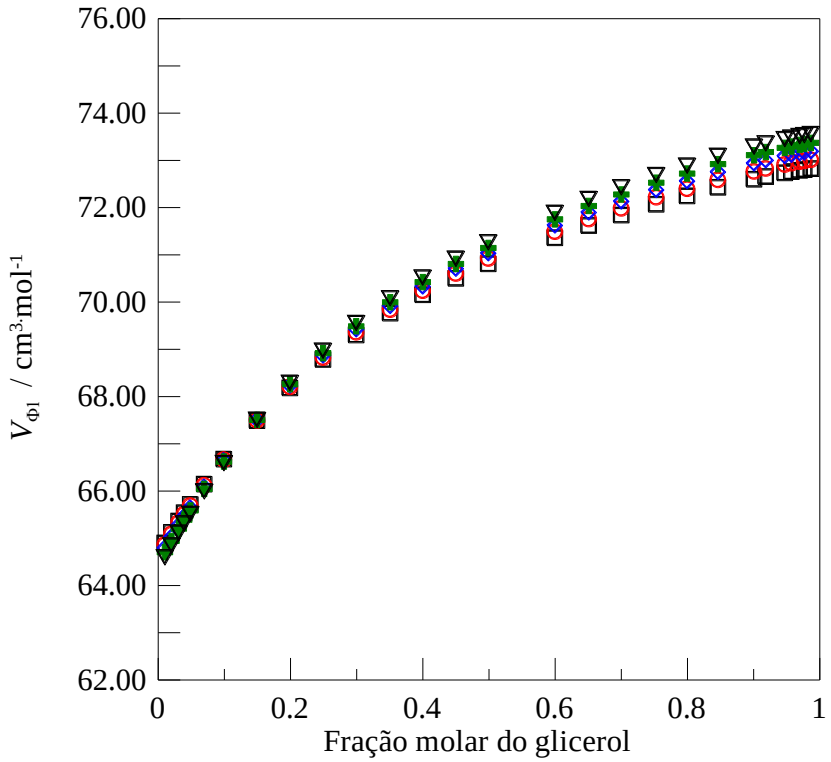


Figura 21 - Volume molar aparente do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

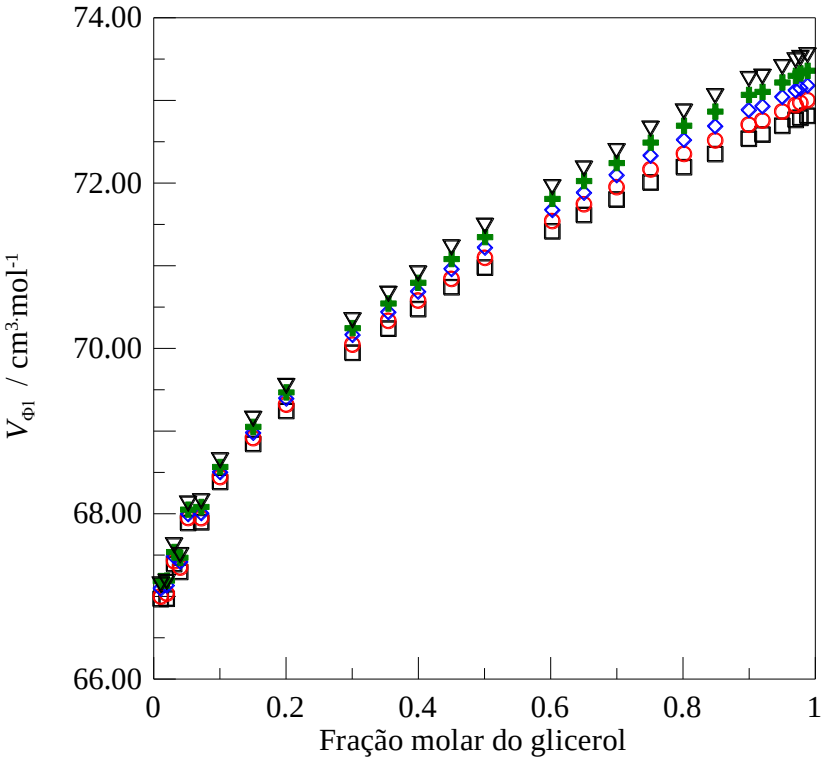


Figura B22 - Volume molar aparente do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

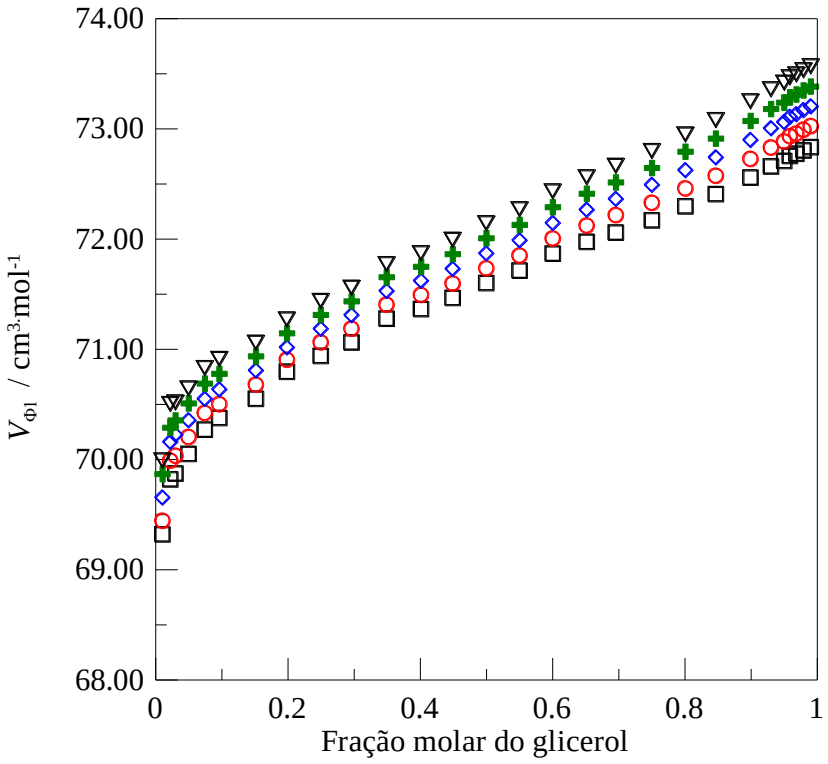


Figura B23 - Volume molar aparente do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

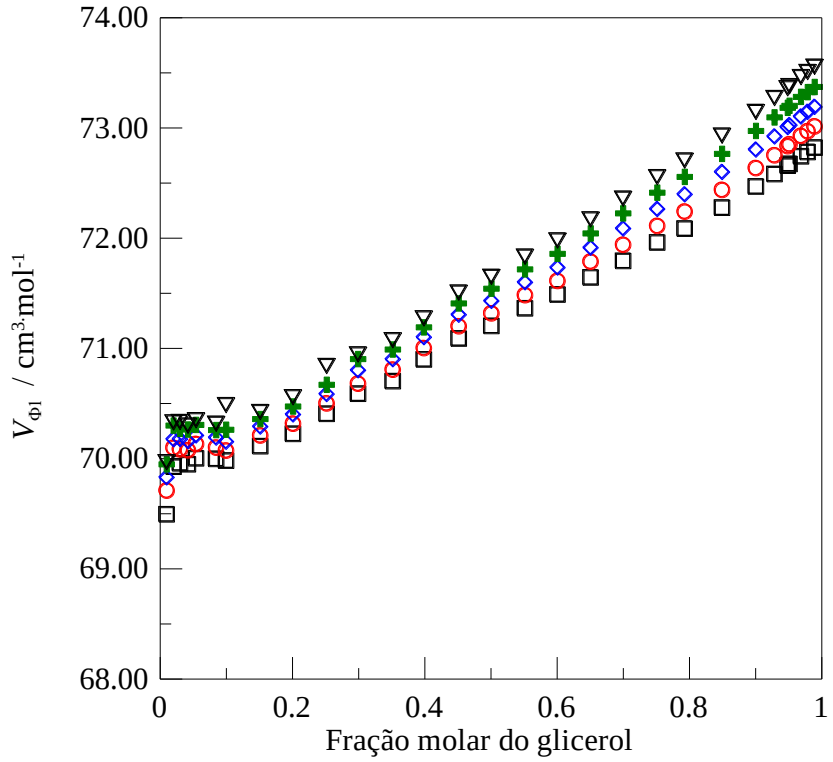


Figura B24 - Volume molar aparente do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: □, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

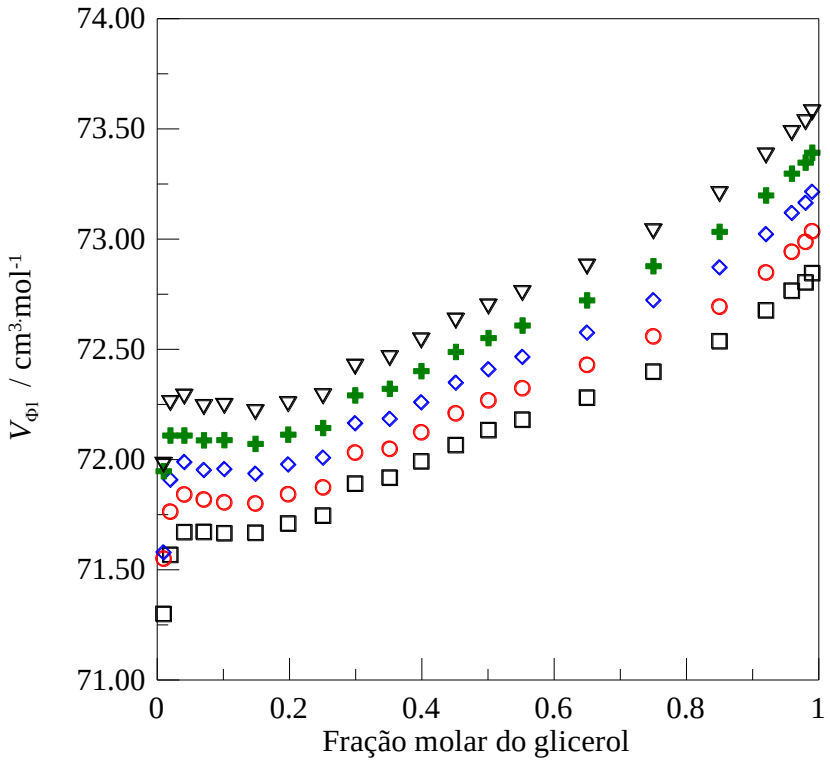


Figura B25 - Volume molar aparente do componente 1, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

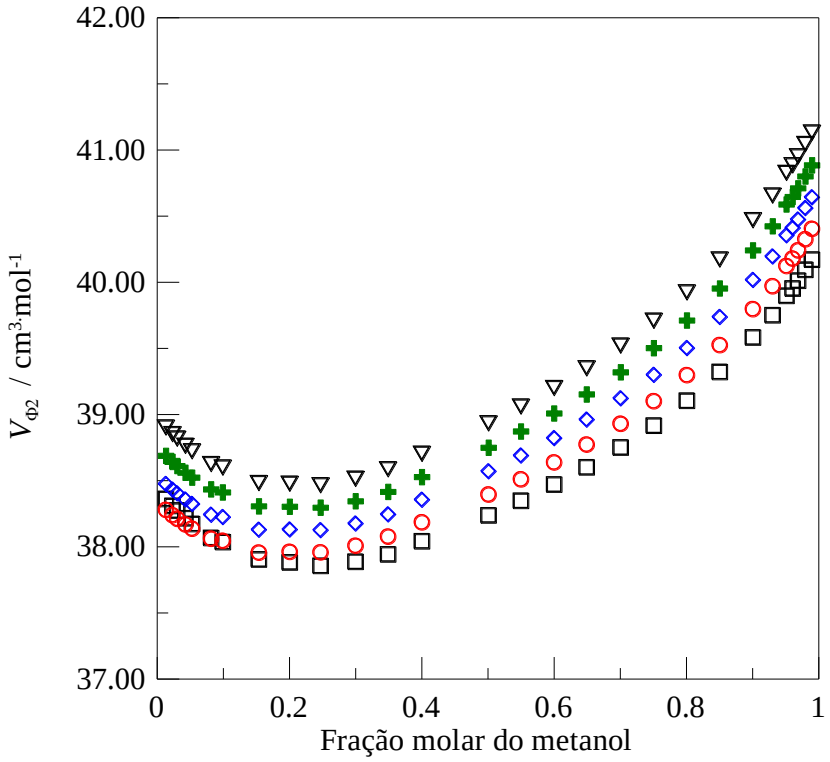


Figura B26 - Volume molar aparente do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) metanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

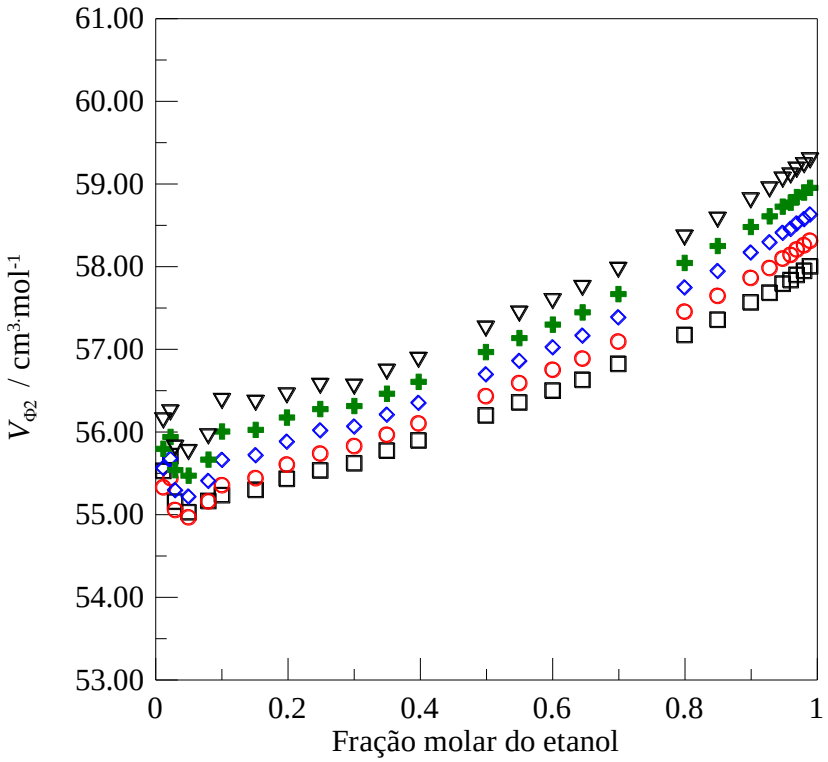


Figura B27 - Volume molar aparente do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) etanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

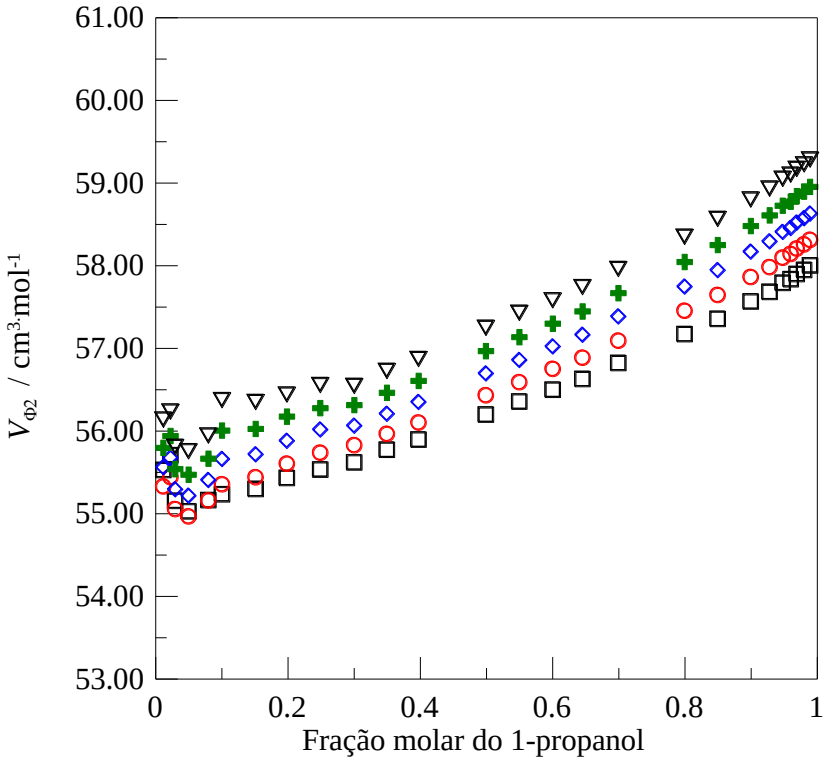


Figura B28 - Volume molar aparente do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-Propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

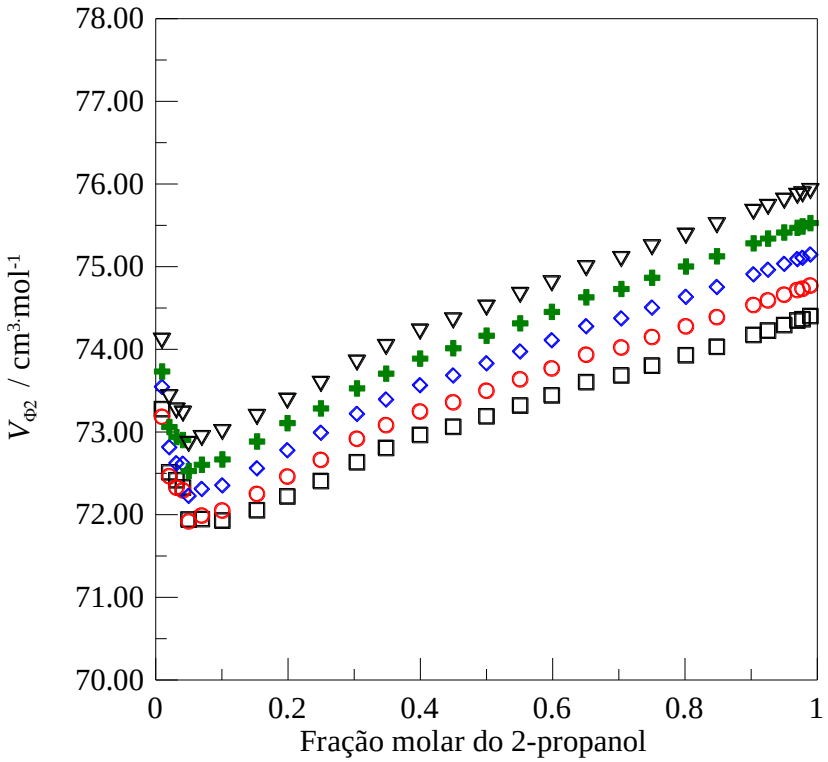


Figura B29 - Volume molar aparente do componente 2, em função da composição, para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 2-propanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

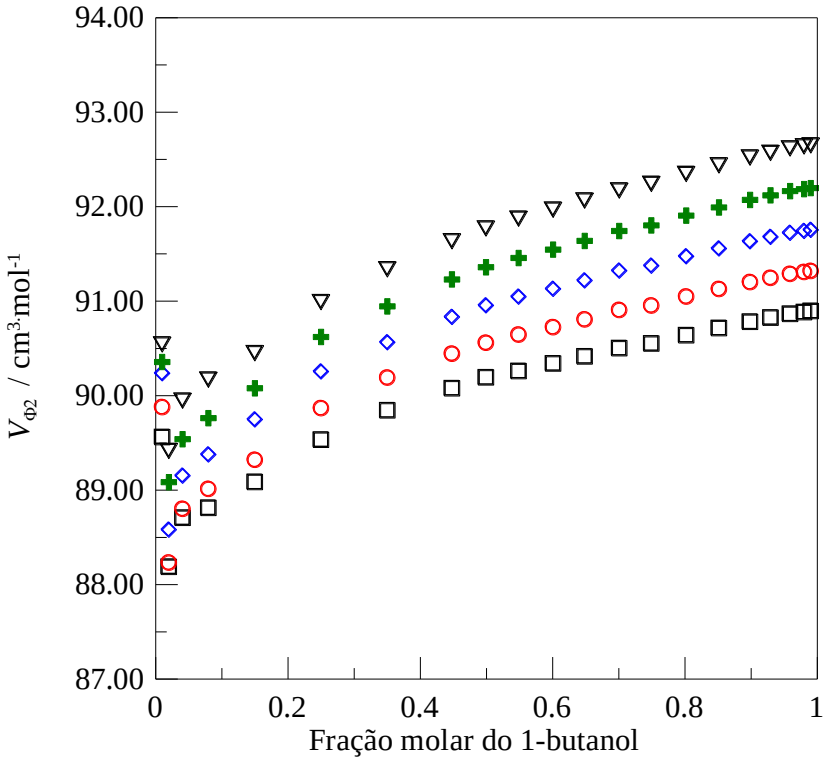


Figura B30 - Volume molar aparente do componente 2 em função da composição para o sistema {x_1 glicerol + (1 – x_1) 1-butanol} a diferentes temperaturas e à pressão atmosférica.
Fonte: Autor
Legenda: ☐, 288,15 K; ○, 293,15 K; ◇, 298,15 K; ✚, 303,15 K;▼, 308,15 K.

APENDICE C - Cálculos das Incertezas

Para que as medidas das grandezas físicas obtidas experimentalmente sejam consideradas apropriados, torna-se necessário informar suas incertezas nos seus valores devido às características dos equipamentos.

Como o resultado de $V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}$ é função da composição, densidade e temperatura podemos então expressar como sendo:

$$V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} = V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}(x_1, x_2, \rho, \rho_1, \rho_2, T),$$

onde $x_1, x_2, \rho, \rho_1, \rho_2$ e T são as medidas individuais e as suas incertezas são dadas respectivamente por Δx_1,Δx_2, $\Delta\rho$, $\Delta\rho_1$, $\Delta\rho_2$ e ΔT.

Variações infinitesimais nas medidas produzem a variação ΔV^{E} no resultado final (SHOEMAKER, 1996):

$$dV_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} = \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_2} dx_2 + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_1} d\rho_1 + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_2} d\rho_2 + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial T} dT\,.$$

Caso os erros sejam suficientemente pequenos para que os valores das derivadas parciais não sejam afetados pelas variações, tem-se:

$$dV_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} = \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho} \Delta\rho + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_1} \Delta\rho_1 + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_2} \Delta\rho_2 + \frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial T} \Delta T\,.$$

Elevando a equação ao quadrado e desprezando os termos com derivadas parciais, é possível expressar:

$$\left(dV_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}\right)^2 = \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_1}\right)^2 (\Delta x_1)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_2}\right)^2 (\Delta x_2)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho}\right)^2 (\Delta\rho)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_1}\right)^2 (\Delta\rho_1)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_2}\right)^2 (\Delta\rho_2)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial T}\right)^2 (\Delta T)^2$$

Extraindo a raiz quadrada, chega-se a equação abaixo:

$$dV_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_1}\right)^2 (\Delta x_1)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_2}\right)^2 (\Delta x_2)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho}\right)^2 (\Delta\rho)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_1}\right)^2 (\Delta\rho_1)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_2}\right)^2 (\Delta\rho_2)^2 + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial T}\right)^2 (\Delta T)^2}$$

Foi considerada no cálculo das incertezas, a incerteza dos equipamentos como sendo a metade do valor da menor escala. Portanto, as incertezas nas densidades, considerando a resolução do densímetro como $1 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{g \cdot cm^{-3}}$, foram:

$$\Delta\rho = \Delta\rho_1 = \Delta\rho_2 = \pm 0{,}000005 \ \ \mathrm{g \cdot cm^{-3}}.$$

As incertezas nas frações molares são:

$$\Delta x_i = \left(\frac{\partial x_i}{\partial m_1}\right)_{m_2} \Delta m_1 + \left(\frac{\partial x_i}{\partial m_2}\right)_{m_1} \Delta m_2,$$

onde Δm_i sendo as incertezas nas massas que (resolução da balança $\pm 1 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{g}$) pode ser expresso como:

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 = \pm 0{,}00005\mathrm{g}$$

Já as incertezas nas frações molares foram calculadas usando as seguintes equações:

$$\Delta x_1 = \left(\frac{\partial x_1}{\partial m_1}\right)_{m_2} \Delta m_1 + \left(\frac{\partial x_1}{\partial m_2}\right)_{m_1} \Delta m_2$$

e

$$\Delta x_2 = \left(\frac{\partial x_2}{\partial m_1}\right)_{m_2} \Delta m_1 + \left(\frac{\partial x_2}{\partial m_2}\right)_{m_1} \Delta m_2$$

As frações molares x_1 e x_2 foram expressas pelas seguintes equações:

$$x_1 = \frac{m_1/M_1}{m_1/M_1 + m_2/M_2}$$

$$x_2 = \frac{m_2/M_2}{m_1/M_1 + m_2/M_2}$$

As equações abaixo foram usadas para calcular as derivadas parciais das frações molares:

$$\frac{\partial x_1}{\partial m_1} = \frac{m_2/M_1M_2}{\left(m_1/M_1 + m_2/M_2\right)^2}$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial m_2} = \frac{m_1/M_1M_2}{\left(m_1/M_1 + m_2/M_2\right)^2}$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial m_1} = \frac{m_2/M_1M_2}{\left(m_1/M_1 + m_2/M_2\right)^2}$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial m_2} = \frac{m_1/M_1M_2}{\left(m_1/M_1 + m_2/M_2\right)^2}$$

Para as incertezas na temperatura, considerando a resolução do dispositivo Peltier (0 - 90 ºC), sendo de $1 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{K}$, considerou-se uma incerteza de $\pm$ 0,005 K.

O volume molar excesso foi expresso pela seguinte equação:

$$V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} = x_1 M_1 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_1}\right) + x_2 M_2 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_2}\right).$$

As equações a seguir foram usadas para calcular as derivadas parciais do volume molar excesso:

$$\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_1} = M_1 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_1}\right)$$

$$\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial x_2} = M_2 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_2}\right)$$

$$\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho} = -\left(\frac{x_1 M_1 + x_2 M_2}{\rho^2}\right)$$

$$\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_1} = -\left(\frac{x_1 M_1}{\rho_1^2}\right)$$

$$\frac{\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}}}{\partial \rho_2} = -\left(\frac{x_2 M_2}{\rho_2^2}\right)$$

As derivadas do volume molar excesso em função da temperatura, $\partial V_{\mathrm{m}}^{\mathrm{E}} / \partial T$, foram calculadas ajustando os valores dos volumes molares excesso em função da temperatura. No presente estudo, uma dependência linear ou quadrática foi suficiente para a determinação das derivadas.

As frações molares utilizadas nos os cálculos das incertezas foram as mais próximas de 10%, 50% e 90% da fração molar do componente 1 presente na solução.

Tabela C1 – Massa molar e densidade dos componentes puros para as diferentes temperaturas.

Componente	M / g·mol^{-1}	ρ / g·cm^{-3}				
		288,15 K	293,15K	298,15 K	303,15 K	308,15 K
Glicerol	92,09	1,26414	1,26084	1,25775	1,25464	1,25150
Metanol	32,04	0,79596	0,79132	0,78662	0,78189	0,77714
Etanol	46,08	0,79364	0,78941	0,78511	0,78079	0,77644
1-Propanol	60,10	0,80741	0,80342	0,79942	0,79538	0,79136
2-Propanol	60,10	0,78920	0,78506	0,78085	0,77657	0,77227
1-Butanol	74,12	0,81527	0,81148	0,80763	0,80374	0,79983

Fonte: Autor

Tabela C2 – Valores da densidade das soluções para os diferentes sistemas a diferentes composições e temperaturas

	ρ / g·cm^{-3}				
Sistema	288,15 K	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,18 K
		$x_1 = 0{,}9$			
Glicerol + Metanol	1,24142	1,23832	1,23515	1,23194	1,22866
Glicerol + Etanol	1,23064	1,22746	1,22416	1,22077	1,21732
Glicerol + 1-Propanol	1,22156	1,21839	1,21519	1,21195	1,20871
Glicerol + 2-Propanol	1,22067	1,21750	1,21430	1,21106	1,20783
Glicerol + 1-Butanol	1,22303	1,21987	1,21669	1,21347	1,21020
		$x_1 = 0{,}5$			
Glicerol + Metanol	1,11719	1,11375	1,11019	1,10660	1,10298
Glicerol + Etanol	1,07124	1,06769	1,06405	1,06036	1,05659
Glicerol + 1-Propanol	1,04210	1,03852	1,03491	1,03127	1,02766
Glicerol + 2-Propanol	1,03315	1,02955	1,02591	1,02222	1,01855
Glicerol + 1-Butanol	1,01978	1,01630	1,01273	1,00914	1,00552
		$x_1 = 0{,}1$			
Glicerol + Metanol	0,88622	0,88190	0,87750	0,87308	0,86864
Glicerol + Etanol	0,85799	0,85386	0,84966	0,84543	0,84115
Glicerol + 1-Propanol	0,85327	0,84930	0,84530	0,84127	0,83726
Glicerol + 2-Propanol	0,83786	0,83376	0,82962	0,82537	0,82098
Glicerol + 1-Butanol	0,85369	0,84990	0,84605	0,84218	0,83827

Fonte: Autor

Tabela C3 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação a composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) metanol} para as diferentes composições e temperaturas.

T (K)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
			$x_1 = 0,9$		
288,15	1,33324	-14,44413	-55,88587	51,90417	5,02180
293,15	1,32827	-14,61554	-56,16603	52,17623	5,08086
298,15	1,33970	-14,79106	-56,45470	54,43291	5,14176
303,15	1,35248	-14,96987	-56,74928	52,69318	5,20416
308,15	1,36787	-15,15090	-57,05268	52,95792	5,26797
			$x_1 = 0,5$		
288,15	9,58208	-11,57418	-49,67894	28,75562	25,33657
293,15	9,64601	-11,72163	-49,98629	28,90634	25,63456
298,15	9,73172	-11,87130	-50,30738	29,04854	25,94181
303,15	9,81933	-12,02408	-50,63433	29,19273	26,25663
308,15	9,90829	-12,17952	-50,96724	29,33941	26,57858
			$x_1 = 0,1$		
288,15	31,06531	-4,09973	-48,39528	5,72807	45,54513
293,15	31,38366	-4,15866	-48,87057	5,75810	46,08082
298,15	31,72782	-4,21841	-49,36190	5,78642	46,63312
303,15	31,07762	-4,27996	-49,86296	5,81515	47,19904
308,15	32,43260	-4,34285	-50,37400	5,84436	47,77778

Fonte: Autor

Tabela C4 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação a composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) etanol} para as diferentes composições e temperaturas.

T (K)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
			$x_1 = 0,9$		
288,15	1,99168	-20,61945	-57,75969	51,83425	7,33844
293,15	1,99087	-20,83358	-58,05936	52,11169	7,41730
298,15	2,01370	-21,05210	-58,37280	52,36804	7,49877
303,15	2,04113	-21,27233	-58,69745	52,62796	7,58198
308,15	2,07020	-21,49601	-59,03063	52,89321	7,66717
			$x_1 = 0,5$		
288,15	13,12650	-15,04732	-60,23972	28,85826	36,51663
293,15	13,21765	-15,21543	-60,64098	29,01272	36,90902
298,15	13,33329	-15,38751	-61,05658	29,15544	37,31442
303,15	13,45300	-15,56156	-61,48227	29,30015	37,72848
308,15	13,57816	-15,73716	-61,92180	29,44782	38,15241
			$x_1 = 0,1$		
288,15	34,49295	-4,35505	-68,88246	5,79009	65,81187
293,15	34,81743	-4,40640	-69,55042	5,82108	66,51906
298,15	35,17114	-4,45934	-70,23971	5,84971	67,24969
303,15	35,53196	-4,51273	-70,94434	5,87875	67,99592
308,15	35,90148	-4,56605	-71,66815	5,90838	68,75995

Fonte: Autor

Tabela C5 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação a composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-propanol} para as diferentes composições e temperaturas.

T (K)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
			$x_1 = 0,9$		
288,15	2,54445	-25,23616	-59,55293	51,81036	9,29280
293,15	2,54416	-26,47782	-59,86322	52,09016	9,38533
298,15	2,56434	-25,72222	-60,17892	52,34559	9,47949
303,15	2,58427	-25,97186	-60,50111	52,60710	9,57603
308,15	2,60614	-26,22278	-60,82590	52,86804	9,67357
			$x_1 = 0,5$		
288,15	15,52688	-16,76353	-70,06790	28,80338	46,10447
293,15	15,63508	-16,93439	-70,55181	28,95893	46,56355
298,15	15,76554	-17,10682	-71,04487	29,10094	47,03069
303,15	15,89695	-17,28371	-71,54727	29,24632	47,50967
308,15	16,02883	-17,46283	-72,05083	29,39138	47,99358
			$x_1 = 0,1$		
288,15	35,08322	-4,00063	-86,77828	5,54864	83,31257
293,15	35,39128	-4,04105	-87,59146	5,57861	84,14213
298,15	35,72552	-4,08049	-88,42239	5,60596	84,98626
303,15	36,06474	-4,12176	-89,27157	5,63397	85,85180
308,15	36,40720	-4,16344	-90,12874	5,66191	86,72625

Fonte: Autor

Tabela C6 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação a composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 2-propanol} para as diferentes composições e temperaturas.

T (K)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
			$x_1 = 0,9$		
288,15	2,59481	-26,91781	-59,66771	51,89183	9,60115
293,15	2,59478	-27,19121	-59,97883	52,17209	9,70268
298,15	2,61523	-27,47387	-60,29537	52,42794	9,80759
303,15	2,63602	-27,76566	-60,61842	52,68903	9,91600
308,15	2,65695	-28,06387	-60,94307	52,95124	10,02673
			$x_1 = 0,5$		
288,15	16,28780	-17,98146	-71,31110	28,85312	48,17946
293,15	16,40302	-18,17964	-71,81068	29,00896	48,68894
298,15	16,54150	-18,38527	-72,32116	29,15122	49,21538
303,15	16,68232	-18,59800	-72,84423	29,29639	49,75936
308,15	16,82561	-18,81707	-73,37011	29,44218	50,31503
			$x_1 = 0,1$		
288,15	37,06360	-4,42271	-90,15464	5,74527	86,87355
293,15	37,40763	-4,47156	-91,04349	5,77630	87,79222
298,15	37,77992	-4,52460	-91,95441	5,80463	88,74144
303,15	38,16940	-4,57578	-92,90383	5,83353	89,72232
308,15	38,16940	-4,61733	-93,90005	5,86256	90,72425

Fonte: Autor

Tabela C7 – Valores das derivadas parciais do volume molar excesso em relação a composição, densidade e temperatura para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-butanol} para as diferentes composições e temperaturas.

T (K)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial x_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_1}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)	$\frac{\partial V_m^E}{\partial \rho_2}$ ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
			$x_1 = 0,9$		
288,15	2,44289	-30,31108	-60,60934	53,04781	8,87658
293,15	2,44667	-30,57871	-60,92375	53,32672	8,95969
298,15	2,46451	-30,85532	-61,24263	53,58909	9,04531
303,15	2,48383	-31,13784	-61,56809	53,85512	9,13308
308,15	2,50469	-31,42362	-61,90125	54,12572	9,22259
			$x_1 = 0,5$		
288,15	17,45008	-18,23232	-79,92622	28,86391	55,66819
293,15	17,56803	-18,40806	-80,47453	29,01567	56,18939
298,15	17,70798	-18,58639	-81,04289	29,15843	56,72638
303,15	17,84994	-18,77020	-81,62053	29,30318	57,27681
308,15	17,99429	-18,95659	-82,20928	29,45042	57,83818
			$x_1 = 0,1$		
288,15	35,01917	-4,09158	-104,20849	5,85578	100,18489
293,15	35,30894	-4,12902	-105,13997	5,88657	101,12290
298,15	35,62254	-4,16758	-106,09903	5,91553	102,08931
303,15	35,94119	-4,20919	-107,07637	5,94489	103,07990
308,15	36,26704	-4,24949	-108,07759	5,97476	104,09018

Fonte: Autor

Tabela C8 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação a massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) metanol} para as diferentes composições e temperaturas.

m_1 (g)	m_2 (g)	$\frac{\partial x_1}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_1}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^4 \Delta x_1$	$\frac{\partial x_2}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_2}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^4 \Delta x_2$
			$x_1 = 0,9$				
5,1619	0,198	0,017327	-0,45172	-0,2172	-0,017327	0,45172	0,2172
			$x_1 = 0,5$				
5,7320	2,0024	0,043615	-0,12485	-0,00406	-0,043615	0,12485	0,00406
			$x_1 = 0,1$				
1,2638	3,9857	0,070808	-0,022452	0,0242	-0,070808	0,022452	-0,0242

Fonte: Autor

Tabela C9 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação a massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) etanol} para as diferentes composições e temperaturas.

m_1 (g)	m_2 (g)	$\frac{\partial x_1}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_1}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^4 \Delta x_1$	$\frac{\partial x_2}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_2}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^4 \Delta x_2$
			$x_1 = 0,9$				
8,4565	0,4718	0,010672	-0,19128	-0,0903	-0,010672	0,19128	0,0903
			$x_1 = 0,5$				
6,6110	3,2966	0,037816	-0,075835	-0,0190	-0,037816	0,075835	0,0190
			$x_1 = 0,1$				
2,0088	8,9959	0,010050	-0,045007	0,0175	-0,010050	0,045007	-0,0175

Fonte: Autor

Tabela C10 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação a massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-propanol} para as diferentes composições e temperaturas.

m_1 (g)	m_2 (g)	$\frac{\partial x_1}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_1}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^5 \Delta x_1$	$\frac{\partial x_2}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_2}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^5 \Delta x_2$
			$x_1 = 0,9$				
6,2477	0,4572	0,014511	-0,19829	-0,9189	-0,014511	0,19829	0,9189
			$x_1 = 0,5$				
3,8338	2,503	0,065209	-0,099880	-0,1733	-0,065209	0,099880	0,1733
			$x_1 = 0,1$				
0,6627	4,0594	0,13130	-0,021435	0,5493	-0,12130	0,021435	-0,5493

Fonte: Autor

Tabela C11 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação a massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 2-propanol} para as diferentes composições e temperaturas.

m_1 (g)	m_2 (g)	$\frac{\partial x_1}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_1}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^5 \Delta x_1$	$\frac{\partial x_2}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_2}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^5 \Delta x_2$
			$x_1 = 0,9$				
6,5955	0,4755	0,013583	-0,18840	-0.8741	-0,013583	0,18840	0,8741
			$x_1 = 0,5$				
3,8428	2,5007	0,065057	-0,099972	-0,1746	-0,065057	0,099972	0,1746
			$x_1 = 0,1$				
0,6788	3,9987	0,13228	-0,022455	0,5491	-0,13228	0,022455	-0,5491

Fonte: Autor

Tabela C12 – Valores das massas dos componentes puros, das derivadas parciais da fração molar em relação a massa de cada componente e das incertezas na fração molar para o sistema {x_1 glicerol + (1- x_1) 1-butanol} para as diferentes composições e temperaturas.

m_1 (g)	m_2 (g)	$\frac{\partial x_1}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_1}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^5 \Delta x_1$	$\frac{\partial x_2}{\partial m_1}$ (g^{-1})	$\frac{\partial x_2}{\partial m_2}$ (g^{-1})	$10^5 \Delta x_2$
			$x_1 = 0,9$				
6,425	0,447	0,011398	-0,16383	-0,7622	-0,011398	0,16383	0,7622
			$x_1 = 0,5$				
3,117	2,5009	0,080205	-0,099964	-0,9879	-0,080205	0,099964	0,9879
			$x_1 = 0,1$				
0,5621	4,0025	0,16231	-0,022796	0,6976	-0,16231	0,022796	-0,6976

Fonte: Autor

Tabela C13 – Valores calculados da incerteza do volume molar excesso para as diferentes composições e temperaturas.

	T / K				
Sistemas	288,15	293,15	298,15	303,15	308,15
			$x_1 = 0{,}9$		
Glicerol + metanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + etanol	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004
Glicerol + 1-propanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 2-propanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 1-butanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
			$x_1 = 0{,}5$		
Glicerol + metanol	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0003
Glicerol + etanol	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0004
Glicerol + 1-propanol	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 2-propanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 1-butanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
			$x_1 = 0{,}1$		
Glicerol + metanol	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0003	± 0,0004	± 0,0004
Glicerol + etanol	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005
Glicerol + 1-propanol	± 0,0006	± 0,0006	± 0,0006	± 0,0007	± 0,0007
Glicerol + 2-propanol	± 0,0007	± 0,0007	± 0,0007	± 0,0007	± 0,0007
Glicerol + 1-butanol	± 0,0008	± 0,0008	± 0,0008	± 0,0008	± 0,0008

Fonte: Autor