CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
MARIANA ROSA MILLE

PROPRIEDADES VOLUMÉTRICAS DE SOLUÇÕES SALINAS CONTENDO SACARÍDEOS A DIFERENTES TEMPERATURAS

São Bernardo do Campo
2016

MARIANA ROSA MILLE

PROPRIEDADES VOLUMÉTRICAS DE SOLUÇÕES SALINAS CONTENDO SACARÍDEOS A DIFERENTES TEMPERATURAS

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

São Bernardo do Campo
2016

Rosa Mille, Mariana.
Propriedades volumétricas de soluções salinas contendo sacarídeos a diferentes temperaturas / Mariana Rosa Mille. São Bernardo do Campo, 2016.
174 p. : il.

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

1. Densidade. 2. Propriedades volumétricas. 3. Sacarídeos. 4. Cloreto de Sódio. I. Belchior Torres , Ricardo, orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

centro universitário FEI

Mestrado

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
ATA DA BANCA EXAMINADORA

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Química

PGQ-10

Aluno: Mariana Rosa Mille **Matrícula:** 414104-0

Título do Trabalho: Propriedades volumétricas de soluções salinas contendo sacarídeos a diferentes temperaturas

Área de Concentração: Engenharia Química

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Belchior Torres

Data da realização da defesa: 29/02/2016

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

_____

_____

_____

_____

_____

São Bernardo do Campo, / / .

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Belchior Torres Ass.: _____

Prof. Dr. Ronaldo Gonçalves dos Santos Ass.: _____

Prof.ª Dr.ª Suzana Maria Ratusznei Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

_____

Prof. Dr. Ricardo Belchior Torres

Aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, irmãos e namorado, por todo suporte nos últimos 2 anos, estando sempre ao meu lado.

Aos meus familiares e amigos pela força e pelas amizades incondicionais. Obrigada pela paciência e compreensão por todo esse tempo.

Ao Prof. Dr. Ricardo Belchior Torres pelo aceite de ser orientador deste trabalho e pela tamanha determinação e vontade de passar conhecimento a todos a volta.

À Prof.ª Dr.ª Maristhela Passoni de Araújo Marin e Prof.ª Dr.ª Andreia Morandim-Giannetti por todo apoio durante as aulas e experimentos. Foi uma grande honra aprender com vocês.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Gonçalves dos Santos e à Prof. Dr.ª Suzana Maria Ratusznei pelas colocações pertinentes que me ajudaram a tornar o trabalho melhor.

Aos professores do Centro Universitário da FEI que fizeram cada um em seu momento, parte de minha formação como Mestre em Engenharia Química.

Aos técnicos e integrantes do Centro de Laboratórios Químicos (CLQ) do Centro Universitário da FEI, pelo suporte e boa vontade.

Aos colegas de sala, que sempre estiveram ao meu lado, alegrando meus dias.

Aos meus supervisores da Sima Engenharia pelo apoio e compreensão, possibilitando a conquista deste novo título.

"Você pode ter que lutar uma batalha mais que uma vez para vencer."

Margaret Thatcher

RESUMO

No presente estudo, dados experimentais de densidade de soluções de cloreto de sódio contendo sacarídeos foram determinadas a diferentes temperaturas e composições. As densidades das soluções foram medidas usando um densímetro de oscilação mecânica fabricado pela Anton Paar (Modelo DMA 4500). Os sacarídeos estudados foram D(+)-xilose, D(+)-glicose, D-frutose e sacarose (faixa de concentração entre 0,015 e 1,7 mol·kg^{-1}) em água e em soluções aquosas de cloreto de sódio (nas concentrações de 0,025; 0,050; 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}) nas temperaturas de T = (283.15, 288.15, 293.15, 298.15 e 303.15) K. Os resultados experimentais de densidade foram usados para calcular o volume molar aparente, o volume molar aparente à diluição infinita e o volume de transferência dos sacarídeos da água para a solução salina. O comportamento das grandezas volumétricas levam a acreditar que possivelmente as interações hidrofílicas-iônicas, que ocorrem entre os grupos hidrofílicos (-OH, -C=O, -O-) do sacarídeo e os íons (Na^+ e Cl^-) do eletrólito, foram predominantes nos sistema contendo D(+)-glicose, D-frutose e sacarose, enquanto que as interações hidrofóbicas-iônicas, entre as partes hidrofóbicas das moléculas dos sacarídeos (R=CH) e os íons (Na^+ e Cl^-) do eletrólito, devem prevalecer no sistema de D(+)-xilose.

Palavras-chave: Densidade. Propriedades volumétricas. Sacarídeos. Cloreto de Sódio.

ABSTRACT

In the present study, density experimental data of aqueous solutions of sodium chloride containing saccharides have been determined at different temperatures and compositions. Density of the solutions have been determined by using a vibrating-tube densimeter manufactured by Anton Paar (Model 4500). The saccharides studied were D(+)-xylose, D(+)-glucose, D-fructose e sucrose (molalities saccharides range from 0.015 to 1.7 mol·kg^{-1}) in water and in (0.025; 0.050; 0.075 e 0.1 mol·kg^{-1}) aqueous sodium chloride at temperatures of T = (283.15, 288.15, 293.15, 298.15 e 303.15) K. The experimental results have been used to calculate the apparent molar volumes, infinite dilution apparent molar volumes and partial molar volumes of transfer of the saccharides from water to aqueous sodium chloride solutions. The behavior of the volumetric properties lead to believe that possible hydrophilic-ionic interactions among the hydrophilic groups (-OH, -C=O, -O-) of the saccharide and the ions (Na^+ e Cl^-) of the electrolyte can be predominant in the systems containing D(+)-glucose, D-fructose and sucrose while hydrophobic-ionic interactions among the hydrophobic groups (R=CH) of the solute and the ions (Na^+ e Cl^-) of the co-solute can be predominant in the system containing D(+)-xylose.

Key-words: Density. Volumetric Properties. Saccharides. Sodium Chloride.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura molecular da D(+)-xilose 29
Figura 2 - Estrutura molecular da D(+)-glicose 31
Figura 3 - Mutarrotação e isomerização alcalina da glicose 32
Figura 4 - Diagrama de fases do sistema de glicose e água. a) □-glicose monohidratada; b) gelo e solução; c) solubilidade da glicose em água; d) □-glicose anidra e solução (equilíbrio □- e □-) e) □-monohidratada e solução (equilíbrio □- e □-); f) □-glicose (monohidratada e anidra); g) □-glicose e solução; h) solução insaturada 34
Figura 5 - Estrutura molecular da D-frutose 35
Figura 6 - Estrutura molecular da Sacarose 38
Figura 7 - Densímetro DMA 4500 53
Figura 8 - Ilustração indicando entrada e saída de amostra no densímetro DMA 4500 53
Figura 9 - Indicação da saída de ar da bomba de limpeza do densímetro DMA 4500 54
Figura 10 - Densidade das soluções de xilose em água pura, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 57
Figura 11 - Densidade das soluções de xilose com concentração salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 57
Figura 12 - Densidade das soluções de xilose com concentração salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 58
Figura 13 - Densidade das soluções de xilose com concentração salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 58
Figura 14 - Densidade das soluções de xilose com concentração salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○,

283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente.....59

Figura 15 - Densidade das soluções de glicose em água pura, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 60

Figura 16 - Densidade das soluções de glicose com concentração salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente.....60

Figura 17 - Densidade das soluções de glicose com concentração salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente.....61

Figura 18 - Densidade das soluções de glicose com concentração salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente....61

Figura 19 - Densidade das soluções de glicose com concentração salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente.....62

Figura 20 - Densidade das soluções aquosas de frutose em água pura, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 63

Figura 21 - Densidade das soluções de frutose com concentração salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente.....63

Figura 22 - Densidade das soluções de frutose com solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○,

283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 64
Figura 23 - Densidade das soluções de frutose com concentração salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 64
Figura 24 - Densidade das soluções de frutose com concentração salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 65
Figura 25 - Densidade das soluções aquosas de sacarose em água pura, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente..... 66
Figura 26 - Densidade das soluções de sacarose com concentração salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente ... 66
Figura 27 - Densidade das soluções de sacarose com concentração salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 67
Figura 28 - Densidade das soluções de sacarose com concentração salina de 0,075 mol·kg^{-1} em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente ... 67
Figura 29 - Densidade das soluções de sacarose com concentração salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente 68
Figura 30 - Volume molar aparente da xilose em água pura, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K;

○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 69

Figura 31 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 70

Figura 32 - Volume molar aparente de xilose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 70

Figura 33 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 71

Figura 34 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 71

Figura 35 - Volume molar aparente da glicose em água pura, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 72

Figura 36 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 73

Figura 37 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 73

Figura 38 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○,

283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 74

Figura 39 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 74

Figura 40 - Volume molar aparente da frutose em água pura, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 75

Figura 41 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 76

Figura 42 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 76

Figura 43 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 77

Figura 44 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 77

Figura 45 - Volume molar aparente da sacarose em água pura, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 78

Figura 46 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica:

○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 79

Figura 47 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 79

Figura 48 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 80

Figura 49 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos 80

Figura 50 - Volume molar aparente da xilose em água pura, em função da raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 83

Figura 51 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 84

Figura 52 - Volume molar aparente de xilose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1} em função da raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 86

Figura 53 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 88

Figura 54 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão

atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 90

Figura 55 - Volume molar aparente da glicose em água pura, em função da raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)..... 92

Figura 56 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 93

Figura 57 - Volume molar aparente de glicose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 95

Figura 58 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 97

Figura 59 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 99

Figura 60 - Volume molar aparente da frutose em água pura, em função da raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)..... 101

Figura 61 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 102

Figura 62 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão

atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 104

Figura 63 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 106

Figura 64 - Volume molar aparente de frutose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 108

Figura 65 - Volume molar aparente da sacarose em água pura, em função da raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 110

Figura 66 - Volume molar aparente de sacarose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 111

Figura 67 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 113

Figura 68 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 115

Figura 69 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20) 117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas da xilose 30
Tabela 2 - Propriedades físico-químicas da glicose 34
Tabela 3 - Propriedades físico-químicas da frutose 37
Tabela 4 - Propriedades físico-químicas da sacarose 39
Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do cloreto de sódio 40
Tabela 6 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em água pura, a diferentes temperaturas 83
Tabela 7 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose em água pura, a diferentes temperaturas 84
Tabela 8 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 85
Tabela 9 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose, em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 85
Tabela 10 - Volumes de transferência da xilose da água para solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 85
Tabela 11 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 86
Tabela 12 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 87
Tabela 13 - Volumes de transferência da xilose da água para solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 87
Tabela 14 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em solução salina 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 88
Tabela 15 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 89
Tabela 16 - Volumes de transferência da xilose da água para solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 89
Tabela 17 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em solução salina 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 90

Tabela 18 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 91
Tabela 19 - Volumes de transferência da xilose da água para solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 91
Tabela 20 - Equações de ajuste usando a equação (20) para soluções de glicose em água, a diferentes temperaturas 92
Tabela 21 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose em água a diferentes temperaturas 93
Tabela 22 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de glicose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 94
Tabela 23 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose, em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 94
Tabela 24 - Volumes de transferência da glicose da água para solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 94
Tabela 25 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de glicose em solução salina 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 95
Tabela 26 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose, em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 96
Tabela 27 - Volumes de transferência da glicose da água para solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 96
Tabela 28 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de glicose em solução salina 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 97
Tabela 29 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 98
Tabela 30 - Volumes de transferência da glicose da água para solução salina de 0,075 mol·kg^{-1} a diferentes temperaturas 98
Tabela 31 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de glicose em solução salina 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 99
Tabela 32 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 100
Tabela 33 - Volumes de transferência da glicose da água para solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 100

Tabela 34 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em água pura, a diferentes temperaturas 101
Tabela 35 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em água pura, a diferentes temperaturas 102
Tabela 36 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 103
Tabela 37 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 103
Tabela 38 - Volumes de transferência da frutose da água para solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 103
Tabela 39 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 104
Tabela 40 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 105
Tabela 41 - Volumes de transferência da frutose da água para solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 105
Tabela 42 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 106
Tabela 43 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 107
Tabela 44 - Volumes de transferência da frutose da água para solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 107
Tabela 45 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 108
Tabela 46 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 109
Tabela 47 - Volumes de transferência da frutose da água para solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 109
Tabela 48 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em água pura, a diferentes temperaturas 110
Tabela 49 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em água pura, a diferentes temperaturas 111

Tabela 50 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em solução salina 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 112
Tabela 51 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 112
Tabela 52 - Volumes de transferência da sacarose da água para solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 112
Tabela 53 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em solução salina 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 113
Tabela 54 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 114
Tabela 55 - Volumes de transferência da sacarose da água para solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 114
Tabela 56 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 115
Tabela 57 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 116
Tabela 58 - Volumes de transferência da sacarose da água para solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 116
Tabela 59 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 117
Tabela 60 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 118
Tabela 61- Volumes de transferência da sacarose da água para solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas 118
Tabela 62 - Valores de volume molar aparente à diluição infinita, comparados com a literatura, a 298,15 K. 119
Tabela 63 - Valores do volume de transferência da D(+)-xilose da água para solução salina 119
Tabela 64 - Valores do volume de transferência da D(+)-glicose da água para solução salina 119
Tabela 65 - Valores do volume de transferência da D-Frutose da água para solução salina . 120
Tabela 66 - Valores do volume de transferência da sacarose da água para solução salina 120

LISTA DE SIMBOLOS

$V_{\phi s}$	Volume molar aparente ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
M_S	Massa molar do sacarídeo ($g \cdot mol^{-1}$)
M_{NaCl}	Massa molar do cloreto de sódio ($g \cdot mol^{-1}$)
m_{sa}	Molalidade do sacarídeo em água ($mol \cdot kg^{-1}$)
m_{NaCl}	Molalidade do cloreto de sódio em água ($mol \cdot kg^{-1}$)
ρ	Densidade da solução salina com sacarídeo ($g \cdot cm^{-1}$)
ρ_o	Densidade da solução salina pura ($g \cdot cm^{-1}$)
m_s	Molalidade do sacarídeo em solução salina ($mol \cdot kg^{-1}$)
V_m	Volume molar da solução ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
V_o^o	Volume molar da solução salina ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
x_s	Fração molar do sacarídeo
x_0	Fração molar da solução salina
M_0	Massa molar da solução salina ($g \cdot mol^{-1}$)
n_0	Número de moles da solução salina (mol)
n_s	Número de moles do sacarídeo (mol)
m_0	Massa da solução salina (g)
$V_{\Phi s}^o$	Volume molar aparente à diluição infinita ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
S_V	Constante
n	Número potencial de interações de hidrogênio
ΔV_{ts}^o	Volume de transferência de sacarídeo da água para solução salina ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
V_{int}	Volume molar intrínseco ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
V_S	Volume de interação com a água ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
$V_{V,W}$	Volume de Van der Waals ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
V_{vazio}	Volume da cavidade ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)
σ_S	Diminuição do volume causado por ligações de hidrogênio com moléculas de água
$V_{encolhimento}$	Volume de encolhimento ($cm^3 \cdot mol^{-1}$)

SUMÁRIO

1 OBJETIVO 25
2 RELEVÂNCIA DO TEMA 26
3 INTRODUÇÃO 28
3.1 SACARÍDEOS 28
3.1.1 XILOSE 29
3.1.2 GLICOSE 31
3.1.3 FRUTOSE 35
3.1.4 SACAROSE 37
3.2 CLORETO DE SÓDIO (NACL) 40
3.3 FORMALISMO TERMODINÂMICO 41
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 45
5 MATERIAIS E MÉTODOS 52
5.1 MATERIAIS 52
5.2 METODOLOGIA 52
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 56
6.1 DENSIDADE 56
6.1.1 SISTEMA XILOSE 56
6.1.2 SISTEMA GLICOSE 59
6.1.3 SISTEMA FRUTOSE 62
6.1.4 SISTEMA SACAROSE 65
6.2 VOLUME MOLAR APARENTE 69
6.2.1 SISTEMA XILOSE 69
6.2.2 SISTEMA GLICOSE 72
6.2.3 SISTEMA FRUTOSE 75
6.2.4 SISTEMA SACAROSE 78
6.3 VOLUME MOLAR APARENTE À DILUIÇÃO INFINITA 82
6.3.1 SISTEMA XILOSE 82
6.3.2 SISTEMA GLICOSE 91
6.3.3 SISTEMA FRUTOSE 100
6.3.4 SISTEMA SACAROSE 109
7 CONCLUSÃO 123

REFERÊNCIAS **124**
APÊNDICE A – CÁLCULO DAS INCERTEZAS **129**
APÊNDICE B – TABELA – DENSIDADES ÁGUA E SOLUÇÕES SALINAS PURAS **132**
APÊNDICE C – TABELA – SISTEMA XILOSE **135**
APÊNDICE D – TABELA – SISTEMA GLICOSE **145**
APÊNDICE E – TABELA – SISTEMA FRUTOSE **155**
APÊNDICE F – TABELA – SISTEMA SACAROSE **165**

1 OBJETIVO

O objetivo do presente estudo consistiu na determinação experimental de dados de densidade de soluções de sacarídeos em água e de sacarídeos (soluto) em soluções aquosas salinas de cloreto de sódio (co-soluto) em diferentes concentrações e temperaturas foram medidos. Os sacarídeos estudados foram D(+)-xilose, D(+)-glicose, D-frutose e sacarose. As concentrações das soluções salinas estudadas foram 0,025; 0,050; 0,075 e 0,1 $mol \cdot kg^{-1}$, nas temperaturas de 283,15, 288,15, 293,15, 298,15 e 303,15 K, e na faixa de concentração dos sacarídeos entre 0,015 e 1,7 $mol \cdot kg^{-1}$. Fazendo uso do formalismo termodinâmico, os resultados experimentais de densidade foram usados para calcular o volume molar aparente, o volume molar aparente à diluição infinita e o volume de transferência dos sacarídeos da água para a solução salina.

2 RELEVÂNCIA DO TEMA

Carboidratos e seus derivados representam a classe mais abundante de biomoléculas e esses compostos apresentam uma grande variedade de funções biológicas. Sacarídeos são compostos não eletrolíticos que apresentam grupamentos hidroxila hidrofílicos. Muitos íons metálicos, como o Na^+, desempenham muitas atividades biológicas. As interações de sacarídeos com íons metálicos são de grande interesse de estudos devido ao fato dessas interações terem grande importância na química e na biologia. Em virtude das estruturas complexas dos sacarídeos, muitas vezes torna-se difícil a compreensão dessas interações.

Como exemplo de aplicação na área da biologia, muitos estudos têm sido usados para tentar entender a estabilidade de polissacarídeos em sistemas biológicos. A maior parte desses sistemas contém solutos iônicos e a presença de íons influencia a dinâmica da água em soluções concentradas modificando várias propriedades como a densidade, viscosidade, taxa de cristalização, temperatura de transição vítrea das soluções aquosas de sacarídeos, dentre outras (BANIPAL, P.; SINGH; BANIPAL, T., 2009). Já na área química, há grandes interesses na compreensão de processos de tratamento de água residual contendo sacarídeos (ZHUO et al., 2009).

Pelo fato da ação química dos sacarídeos nos organismos ocorrerem nos fluidos corporais e, o meio de reação, na maioria dos casos, ser formado por soluções aquosas multicomponentes, pode-se verificar que a decomposição, síntese, metabolismo e transporte de sacarídeos transmembranar tem relação com as concentrações de H^+, Na^+ e outros íons metálicos presentes nestes fluidos corporais (JIANG et al., 2003).

O estudo de propriedades termodinâmicas de soluções aquosas de eletrólitos e sacarídeos têm ganhado destaque devido à sua importância nas áreas de medicina, bioquímica, biofísica, biologia, alimentícia, catálise e meio ambiente (BANIPAL et al. 2002, BANIPAL, P.; SINGH; BANIPAL, T., 2009). Em particular, o estudo de propriedades volumétricas de soluções aquosas contendo sacarídeos é de vital importância na compreensão de muitos fenômenos físico-químicos e nos efeitos estruturais presentes em sistemas aquosos contendo essas biomoléculas.

O conhecimento do comportamento de propriedades termodinâmicas de soluções aquosas de sacarídeos desempenha um papel importante na indústria. Essas propriedades são necessárias para seleção de condições de reação para processos industriais como, por exemplo, conversão enzimática de biomassa, e para o entendimento de interações específicas no reconhecimento biomolecular (ORIGLIA; CALL; WOOLLEY, 2000). Em especial, as

propriedades volumétricas são importantes para compreender processos fisico-químicos e efeitos estruturais em soluções aquosas (ZHUO et al., 2009).

Muitos fenômenos envolvendo soluções contendo sacarídeos e íons metálicos ainda não são bem conhecidos. Destacam-se as ligações preferenciais, estruturais e estabilidade estereoquímicas. Devido a esse fato, faz-se necessário o estudo das propriedades físico-químicas de sacarídeos em soluções aquosas de íons metálicos para uma melhor compreensão das possíveis interações entre os íons metálicos e os sacarídeos (BANIPAL, P.; SINGH; BANIPAL, T., 2009). Assim, pesquisas têm concentrado esforços no estudo das interações entre sacarídeos e íons de metais dos grupos I e II (BANIPAL, P; CHAHAL NEE HUNDAL; BANIPAL, T., 2010).

A partir de medidas de densidade de soluções, e fazendo uso do formalismo termodinâmico, é possível realizar diversos cálculos de propriedades volumétricas e, com isso, tentar compreender alguns fenômenos responsáveis pelo comportamento dos componentes presentes na solução.

3 INTRODUÇÃO

A seguir é apresentada uma breve introdução dos reagentes utilizados, além do formalismo termodinâmico envolvido no presente estudo.

3.1 SACARÍDEOS

Sacarídeos são macromoléculas que apresentam um papel importante nos sistemas biológicos e estão entre os compostos orgânicos mais abundantes na natureza (SCHIWECK; CLARKE; POLLACH, 2011). Eles desempenham a função de proteger e estabilizar enzimas e proteínas e, por este motivo, as características de hidratação dos mesmos em soluções aquosas são amplamente estudadas. Além destas características, esses compostos são importantes para o entendimento do mecanismo de reconhecimento biológico de estímulos químicos (BANIPAL, P.; CHAHAL NEE HUNDAL; BANIPAL, T., 2010). Os sacarídeos das membranas celulares são responsáveis pelo recebimento de compostos biologicamente ativos, como enzimas, drogas, entre outros (BANIPAL et al. 2002).

As propriedades de hidratação dos sacarídeos em soluções aquosas são de extrema importância para o entendimento do papel das glicoproteínas e glicolipídeos no reconhecimento molecular, além de serem fundamentais na determinação das propriedades estruturais e funcionais (BANIPAL, P.; CHAHAL; BANIPAL, T., 2009; BANIPAL, P.; KAUR; BANIPAL, T., 2004).

Dissacarídeos podem estabilizar biomoléculas instáveis em soluções aquosas devido à combinação de cinética e efeitos específicos (BANIPAL, P.; SINGH; BANIPAL, T., 2010).

Plantas e organismos, que suportam condições extremas de desidratação, sintetizam dissacarídeos de glicose. Embora os dissacarídeos possuam estruturas semelhantes, suas propriedades protetoras são diferentes. Alguns pesquisadores apontam que os embriões de milho que são resistentes à seca, possuem sacarose (BANIPAL, P.; CHAHAL NEE HUNDAL; BANIPAL, T., 2010).

Soluções aquosas contendo sacarídeos com adição de sais, etanol, glicerol, entre outros, têm sido bastante utilizadas, como meio de imersão, no processo de congelamento de frutas (BANIPAL, P.; SINGH; BANIPAL, T.,2009).

Quimicamente, os sacarídeos são não eletrólitos que possuem muitos grupos hidroxilas hidrofílicos, isto é, que possuem atração pela água (BANIPAL et al. 2002;

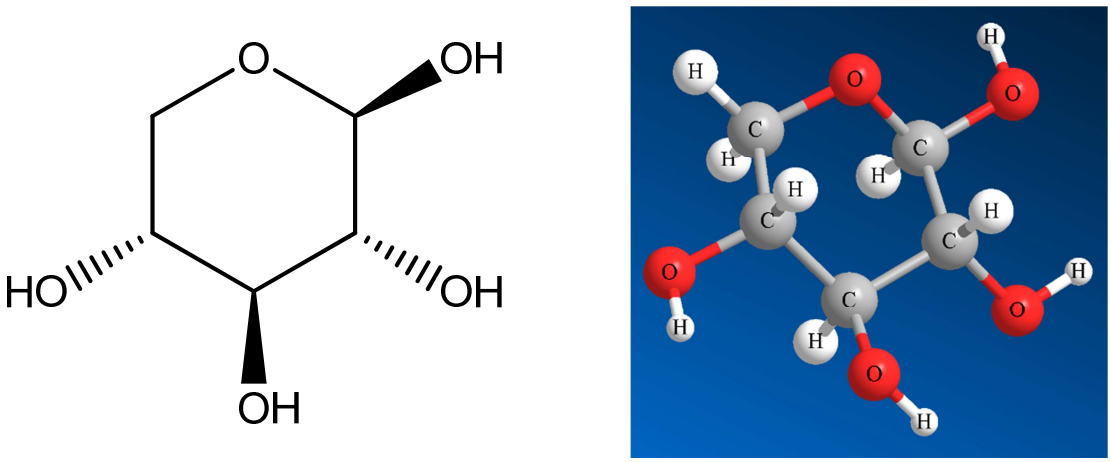
BANIPAL, P.; SINGH; BANIPAL, T., 2009; ZHUO et al., 2009). Normalmente possuem interações intermoleculares fracas, o que os torna um agente importante para os sistemas biológicos por apresentarem baixa especificidade (ZHUO et al., 2009). A hidratação dos sacarídeos depende da porcentagem de grupos hidroxilas axiais e equatoriais, sendo mais favorável quando o grupo está na posição equatorial. A formação de ligações de hidrogênio entre o carboidrato e a água depende do espaço e orientação do grupo polar da molécula de carboidrato relativo à geometria do grupo –OH na água (DEY et al, 2003).

Moléculas de sacarídeos podem interagir com íons metálicos formando grande variedade de complexos de metal-sacarídeo. Embora as interações envolvidas sejam fracas, elas são seletivas. Sacarídeos que contém uma sequência axial-equatorial-axial de três grupos hidroxilas em um anel de 6 membros ou uma sequência *cis-cis* em um anel de 5 membros possuem interações específicas com alguns metais em solução (BANIPAL, P.; KAUR; BANIPAL, T., 2004).

3.1.1 Xilose

A xilose é um monossacarídeo e aldopentose. A figura 1 apresenta sua estrutura.

Figura 1 - Estrutura molecular da D(+)-xilose



Fonte: Autor

A D-xilose é o segundo açúcar mais abundante na natureza após a D-glicose (DELLWEG; RIZZI; KLEIN, 1989; WIEBE et al., 2015). Ela representa cerca de 30% do material lignocelulósico de resíduos agrícolas e espécies de madeira (DELLWEG; RIZZI; KLEIN, 1989).

A D-xilose é o componente principal da hemicelulose (WIEBE et al., 2015). Sendo obtida, mais facilmente e com maior rendimento, através de hidrólise ácida, quando comparado ao processo da obtenção da D-glicose a partir da celulose (DELLWEG; RIZZI; KLEIN, 1989). Ela pode ser encontrada em espigas de milhos, coco, casca de sementes e palha.

A D-xilose é absorvida incompletamente, cerca de 60 a 70%, pelo duodeno e jejuno, por difusão passiva. Sendo que, o restante, é transportado ao íleo e cólon onde sofre fermentação bacteriana e é excretado. Devido a esta absorção incompleta, a D-xilose está sendo utilizada como alternativa para adoçantes, para redução de glicemia pós-prandial e controle da sensibilidade de insulina em adultos saudáveis. Ela atua como um potente inibidor da absorção de sacarose e interfere em seu metabolismo à glicose e frutose, semelhante à L-arabinose. Alguns estudos vêm sendo elaborados para apontar os benefícios da D-xilose na saúde humana na adipogênese e metabolismo de lipídeos (LIM et al, 2015).

Pesquisadores vêm estudando a possibilidade da aplicação da D-xilose para conversão biotecnológica em etanol, butanol, ácido lático, ácido succínico, ácido xilônico, xilitol (usado como adoçante com propriedades anticariogênicas), hidrogênio, açúcares modificados e compostos derivados do metabolismo de ácidos graxos, utilizando microorganismos como: *Escherichia coli*, *Corynebacterium glutamicum*, *Zymomonas mobilis*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Scheffersomyces stipitis* (WIEBE et al., 2015).

No caso da conversão em bioetanol, a D-xilose é fermentada juntamente com a D-glicose, para tornar o processo de produção economicamente atrativo (SALES et al., 2015; DELLWEG; RIZZI; KLEIN, 1989).

A tabela 1 apresenta algumas propriedades da xilose, encontradas na literatura.

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas da xilose

Propriedade	**Unidade**	**Valor**
Massa molar (anidrido)	$g \cdot mol^{-1}$	150,13[a,b]
Ponto de fusão (β-anidrido)	ºC	153[a];154 – 158[b]
Rotação específica $[\alpha]_D^{20}$ (4%;água)	º	18,8[b]
Peso específico		1,535

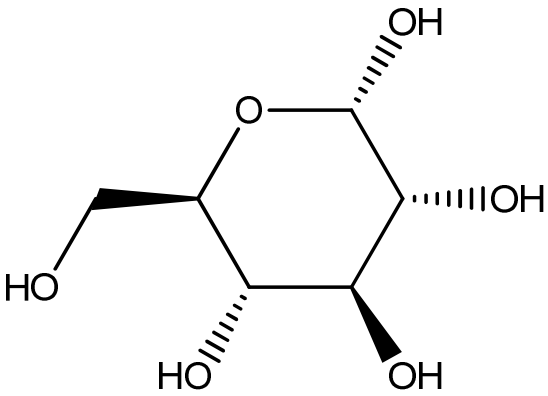
Fonte: a) CONSIDINE, p. 196; b) Sigma-Aldrich

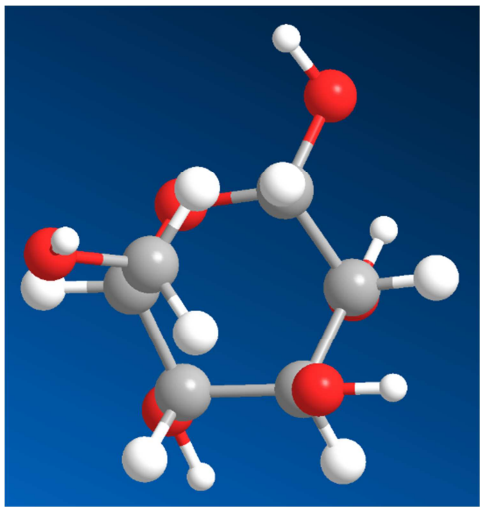
3.1.2 Glicose

A glicose é o monossacarídeo mais abundante na natureza, podendo ser encontrado no suco da maioria das frutas. Indiretamente, pode-se obtê-lo através da digestão de amido e celulose. O amido é formado por polímeros de glicose □-ligados, que são quebradas pelo sistema digestivo (MORAN et al., 2013; SCHENCK, 2011).

A figura 2 apresenta a estrutura molecular da D(+)-glicose.

Figura 2 - Estrutura molecular da D(+)-glicose





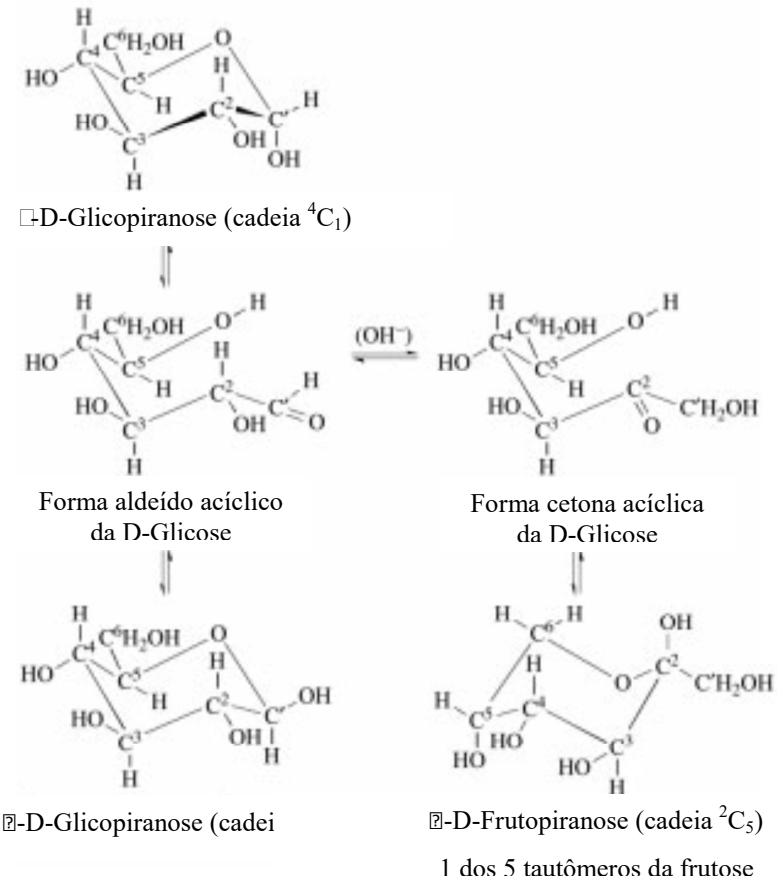
Fonte: Autor

A primeira glicose descoberta pelo homem foi a D-glicose e é a forma mais abundante na natureza. Por essa razão, é a mais comercializada. A D-glicose pode existir em 3 formas cristalinas: □e □-D-glicose anidra, ortorrômbica, e □-D-glicose mono hidratada, monocíclica.

A glicose apresenta maior viscosidade e melhor solubilidade quando comparada à sacarose. Porém, a última apresenta um sabor mais doce, e por este motivo, é mais utilizada na indústria alimentícia.

A glicose pode sofrer mutarrotação e isomerização alcalina, em solução aquosa, possuindo diversas configurações, como pode ser observado na figura 3.

Figura 3 - Mutarrotação e isomerização alcalina da glicose



Fonte: Adaptado de SCHENCK, 2011, p. 48

Por ser um açúcar redutor, a glicose inibe a degradação do alimento por oxidação. Ela é capaz de preservar as frutas e as carnes vermelhas minimizando a necessidade de antioxidantes artificiais.

A glicose é rapidamente fermentada por leveduras e outros organismos e, por este motivo, é bastante utilizada em indústrias de fermentação e panificadoras. Suas aplicações na indústria alimentícia e fora dela deve-se a facilidade de sua produção, através de conversão enzimática e tecnologias de refinamento e concentração. Em países onde seu uso é permitido por lei, a glicose é utilizada pela indústria cervejeira.

A glicose também é utilizada como matéria-prima para produção de ácidos de grau alimentício, vitamina C e uma vasta gama de antibióticos (SCHENCK, 2011). A grande aplicação do xarope de glicose no ramo não alimentício é como fonte de carboidrato para produção de etanol combustível (FANG et al., 2011).

Ela pode também ser utilizada para aumentar a estabilidade de adesivos, umidificante no gesso, produção de tabaco, produção de telhas e tijolos (prevenindo o craqueamento durante a produção) (SCHENCK, 2011).

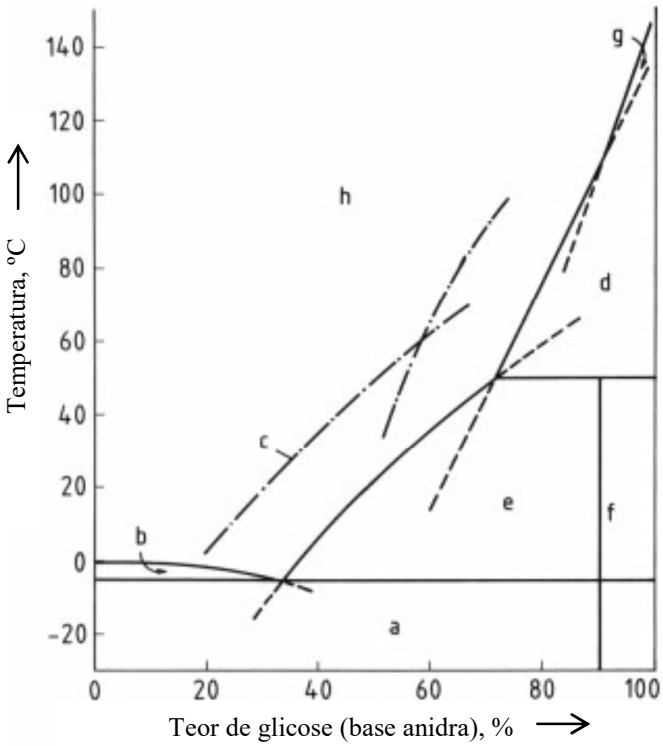
Também são encontrados estudos utilizando a glicose para outros produtos químicos de importância tecnológica, como compostos coloridos e nanopartículas, através de reações não catalíticas com a água (FANG et al., 2011).

A glicose é absorvida pela corrente sanguínea e utilizada para produção de energia, através do ciclo glicolítico, ou é quebrada em intermediários utilizados para crescimento ou manutenção dos tecidos do corpo. Também é possível que o corpo humano armazene a glicose ingerida para uso posterior, através do processo de polimerização, transformando a glicose em glicogênio (MORAN et al., 2013; SCHENCK, 2011).

A glicose, além de outros açúcares, pode ser utilizada, dependendo das condições, como agente quelante, ligando ferro e outros di- e tri- metais trivalentes. Ao ingerir simultaneamente glicose e suplemento de cálcio, estudos relatam o aumento de 25% da captação deste mineral. Estudos mostram ainda que pequenas doses de xarope de glicose aumentam o desempenho intelectual (SCHENCK, 2011).

Solubilidade é uma importante propriedade física da glicose, uma vez que a mesma é comercializada em sua forma cristalina, partindo de uma solução aquosa. Sendo que a maioria de suas aplicações é em sistemas envolvendo água. A figura 4 apresenta a solubilidade de glicose em água. Pode-se observar que abaixo da temperatura de 100ªC, sua forma estável e cristalina é a □, que cristaliza como uma molécula monohidratada abaixo de 50ºC. Acima de 100ºC a forma mais estável é a □-anidra.

Figura 4 - Diagrama de fases do sistema de glicose e água. a) □-glicose monohidratada; b) gelo e solução; c) solubilidade da glicose em água; d) □-glicose anidra e solução (equilíbrio □- e □-) e) □-monohidratada e solução (equilíbrio □- e □-); f) □-glicose (monohidratada e anidra); g) □-glicose e solução; h) solução insaturada



Fonte: Adaptado de SCHENCK, 2011, p. 49

A tabela 2 apresenta algumas propriedades da glicose.

Tabela 2 - Propriedades físico-químicas da glicose

Propriedade	Unidade	Valor
Massa molar	g·mol^{-1}	180,16[a,b]
Densidade	g·cm^{-3}	630[b]
Ponto de fusão	ºC	146[a,b]
Peso específico		1,544[a]
Temperatura de ignição	ºC	500[b]
Rotação específica $[\alpha]_D^{20}$	º	52,5 – 53,2[b]
pH (10%;água)		5,7 – 7,0[b]
Solubilidade em água	g·□$^{-1}$	0,47 (20ºC)[b]

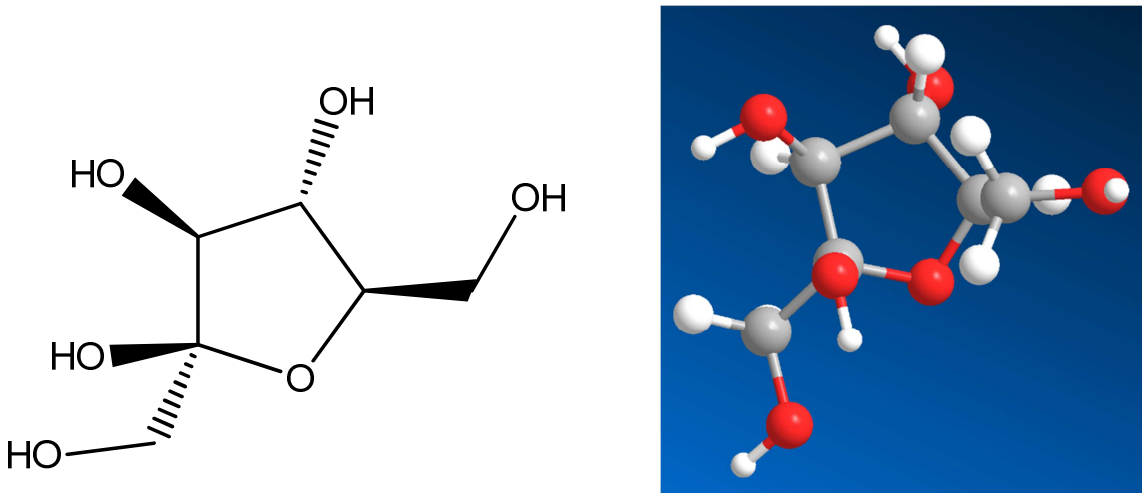
Fonte: a) CONSIDINE, p. 196; b) Merck

3.1.3 Frutose

Frutose é um monossacarídeo presente em mel e em algumas frutas como figos, maçãs, uvas e na maioria das frutas vermelhas (AKRAM; HAMID, 2013; KELISHADI; MANSOURIAN; HEIDARI-BENI, 2014; MALLAKPOUR; BEHRANVAND, 2015). É uma 2-cetohexose e faz parte da estrutura da sacarose, juntamente com a D-glicose. Devido ao seu grupo "ceto", a frutose é um açúcar redutor (WACH, 2011).

A figura 5 apresenta a estrutura da D-frutose.

Figura 5 - Estrutura molecular da D-frutose



Fonte: Autor

Antes do desenvolvimento da indústria alimentícia, a frutose era encontrada apenas em poucos alimentos, destacando-se uvas e uva passa. Porém, sempre acompanhada de glicose ou fibra, o que traz implicações significantes para absorção e metabolismo (FRANZCO, F.; FRANZCO, X.; FRANZCO, S., 2014).

Ela pode ser produzida a partir de amido, sacarose e insulina. A fonte de amido mais utilizada para produção da frutose é o milho (FRANZCO, F.; FRANZCO, X.; FRANZCO, S., 2014; WACH, 2011). Sua produção é realizada através do processo enzimático e tecnologias de separação por cromatografia.

A frutose possui vantagens nutricionais devido às suas propriedades metabólicas. Os primeiros produtos vendidos, utilizando a frutose, foram como substitutos de alimentação e comidas dietéticas, seguindo para comidas de baixa caloria. O efeito sinergético com outros

adoçantes, como a sacarose, reduz a quantidade de calorias sem reduzir o sabor adocicado (WACH, 2011).

A frutose é bastante utilizada na indústria alimentícia (FRANZCO, F.; FRANZCO, X.; FRANZCO, S., 2014), sendo amplamente utilizada em refrigerantes, sucos de frutas, comidas enlatadas, sobremesas geladas, alimentos cozidos, frutas em conserva, confeitaria (chocolates, geleias, e gomas), bebidas esportivas e de baixa caloria (FRANZCO, F.; FRANZCO, X.; FRANZCO, S., 2014; KELISHADI; MANSOURIAN; HEIDARI-BENI, 2014; WACH, 2011). Em alimentos cozidos, a vantagem do uso da frutose é no controle de umidade, o que resulta em melhor durabilidade de qualidade, cor e sabor. Devido a sua alta solubilidade em baixas temperaturas, além de baixo ponto de fusão, a frutose é amplamente utilizada na produção de sorvetes e outras sobremesas geladas. Ela é mais solúvel em álcoois quando comparada à sacarose, permitindo a produção de licores (WACH, 2011).

O consumo de frutose vem aumentando, sendo que, nos Estados Unidos, a ingestão de frutose por adolescentes chega a 73 gramas por dia, o que representa 12% das calorias totais do dia. Segundo estimativas, o consumo de frutose quintuplicou nos últimos 100 anos (FRANZCO, F.; FRANZCO, X.; FRANZCO, S., 2014).

O uso farmacêutico da frutose inclui comprimidos e soluções para injeção e infusões. Ela é absorvida no intestino delgado, devido a fácil difusão mediada por “Glut5”, da família de transporte da glicose. A absorção da frutose é mais lenta, quando comparada com a glicose. Após sua absorção, a frutose entra na corrente sanguínea através da veia aorta, que realiza o transporte até o fígado, onde a frutose é preferencialmente absorvida.

No caso de alta ingestão de frutose, cerca de 30 – 40% é metabolizada rapidamente na mucosa do intestino, gerando lactato, passando pelo fígado e transformada em glicose. Pequenas quantidades são oxidadas em dióxido de carbono ou convertidas a triacilglicerol. Como a maior parte da frutose é absorvida pelo fígado e requer conversão à intermediários antes de entrar na corrente sanguínea e sofrer metabolismo, o efeito da frutose no nível sanguíneo é muito pequeno (AKRAM; HAMID, 2013; WACH, 2011).

A frutose apresenta um pequeno efeito sobre a secreção de insulina e a captação da frutose nas células não requer presença de insulina. Este fato, somado as propriedades glicêmicas fracas, explica o porquê da frutose ser recomendada para diabéticos. A intolerância à frutose faz com que a glicólise e glucogeneogenesis não ocorram, o que leva a hipoglicemia e eventual choque hipoglicêmico (WACH, 2011).

Estudos têm mostrado que o consumo de frutose reduz significativamente a sensibilidade à insulina, quando comparado com a mesma quantidade de glicose (KELISHADI; MANSOURIAN; HEIDARI-BENI, 2014).

A tabela 3 apresenta algumas propriedades físico-químicas da frutose.

Tabela 3 - Propriedades físico-químicas da frutose

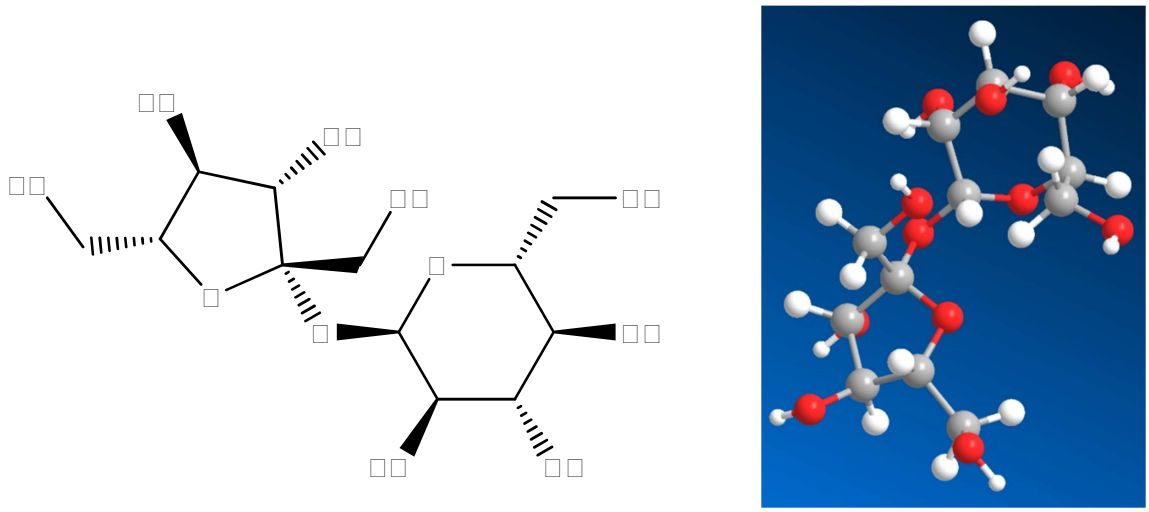
Propriedade	Unidade	Valor
Massa molar (anidrido)	$g \cdot mol^{-1}$	180,159[a,b]
Densidade (β-anidrido)	$g \cdot cm^{-3}$	1,60 (20ºC)[a]
Ponto de fusão (β-anidrido)	ºC	103–105[a];95-105[b]
Entalpia da solução	$kJ \cdot mol^{-1}$	-6,79[a]
Rotação específica $[\alpha]_D^{20}$	º	-133 a -92[a]
Coeficiente de dissociação pK_1		11,90 (20ºC)[a]
Pressão osmótica π (100 $g \cdot L^{-1}$ H_2O)	kPa	1275[a]
Densidade da solução de frutose pura (W_{DS} = 70%)	$g \cdot cm^{-3}$	1,3446[a]
Índice de refração n_D^{20} (W_{DS} = 70%)		1,461654[a]
Viscosidade dinâmica η (W_{DS} = 70%)	cP	178[a]
Poder calorífico fisiológico	$kK \cdot kg^{-1}$	15600[a]
Depressão do ponto de congelamento (t_f (W_{DS} = 70%))	ºC	-270,51[a]
Valor a_W (solução saturada)		-272,52[a]
Peso específico		1,669[b]
Solubilidade em água	$g \cdot g^{-1}$	4 (25ºC)[a]

Fonte: a) WACH, 2011, p. 105; b) CONSIDINE, p. 196

3.1.4 Sacarose

A sacarose é um dissacarídeo formado pela ligação entre glicose e frutose (FRANZCO, F.; FRANZCO, X.; FRANZCO, S., 2014; SCHIWECK; CLARKE; POLLACH, 2011). A figura 6 apresenta a projeção de Fischer e a conformação da molécula.

Figura 6 - Estrutura molecular da Sacarose



Fonte: Autor

Ela pode ser produzida a partir de beterraba e cana de açúcar, sem alterar suas propriedades físico-químicas. Em menor quantidade, a sacarose pode ser obtida através de tâmaras (Iraque, Irã e Oriente Médio), milho doce (América Central), sorgo sacarino (Europa, África do Sul e Norte), árvore de bordo (América do Norte e Canadá) e palma (Índia).

A sacarose é o primeiro composto não fosforilado das plantas e em alguns sucos de partes das plantas é estocada como uma reserva, representando até 75% dos sólidos.

O maior uso da sacarose é na indústria de alimentos e bebidas. A porcentagem de sacarose em balas está entre 70 e 80% da quantidade total de componentes, em chocolates e geleias varia de 40 a 50%, em bolos e tortas de aproximadamente 20%, 10% em refrigerantes e bebidas gaseificadas, e 1% em torradas.

A sacarose também é utilizada como substrato para produção de etanol, ácido cítrico, fermento, aminoácidos, enzimas e antibióticos. Para os processos biotecnológicos, a sacarose é utilizada em forma de melaço (SCHIWECK; CLARKE; POLLACH, 2011).

Estudos na área de pediatria mostram a eficácia da sacarose no alívio de dor em recém-nascidos e prematuros, durante os procedimentos médicos (GASPARDO; LINHARES; MARTINEZ, 2005; FRANZCO, F.; FRANZCO, X.; FRANZCO, S., 2014; TSAO et al., 2008).

A glicose se apresenta na forma $^4C_1$ e a frutose na forma de torção $^4T_3$. Fortes ligações de hidrogênio intramoleculares existem entre o grupo 6'-OH da frutofuranose e o anel de oxigênio da glicopiranose (189 pm) e entre o grupo 1'-OH da frutose e o agrupamento 2-O da glicose (185 pm). Como os grupos hidroxilas glicosídicos estão ligados no éter, □-1 □ □-2, a

sacarose não é um dissacarídeo redutor (SCHIWECK; CLARKE; POLLACH, 2011). A tabela 4 apresenta algumas propriedades da sacarose.

Tabela 4 - Propriedades físico-químicas da sacarose

Propriedade	Unidade	Valor
Massa molar	$g \cdot mol^{-1}$	342,29[a,d]
Ponto de fusão	ºC	175–190[c];170-186[d]
Entalpia de cristalização	$J \cdot mol^{-1}$	360[c]
Rotação específica ($[\alpha]_D^{20}$; 26%; água)	º	66,3 – 67,0[a]
Condutividade elétrica	$\mu S \cdot cm^{-1}$	< 35[a]
Coeficiente de dissociação pK_1		12,7 (25ºC)[c]
Coeficiente de dissociação pK_2		13,1 (25ºC)[c]
Densidade da sacarose pura	$g \cdot cm^{-3}$	1,5897 (15 ºC)[c]
		1,5871 (20ºC)[c]
Densidade da solução de sacarose (70%; água)	$g \cdot cm^{-3}$	1,3570 (0ºC)[e]
		1,3546 (5ºC)[e]
		1,3522 (10ºC)[e]
		1,3497 (15ºC)[e]
		1,3470 (20ºC)[e]
		1,3444 (25ºC)[e]
		1,3416 (30ºC)[e]
Viscosidade dinâmica η (70%;água)	cP	3621 (0ºC)[e]
		2034 (5ºC)[e]
		1205 (10ºC)[e]
		746,7 (15ºC)[e]
		481,8 (20ºC)[e]
		322 (25ºC)[e]
		222 (30ºC)[e]
Peso específico		1,588[d]
Valor a_W (solução saturada)		0,844[b]
Solubilidade em água	$g \cdot g^{-1}$	2,07 (25ºC)[b]

Fonte: a) Merck.; b) WACH, 2011, p. 105.; c) SCHIWECK, CLARKE, POLLACH, 2011, p.562; d) CONSIDINE, p. 196; e) SOBER, p.J-288 – 291

3.2 CLORETO DE SÓDIO (NaCl)

O cloreto de sódio é um sal com grande aplicação industrial. A sua obtenção pode ocorrer através dos processos de mineração, evaporação, extração do sal da água do mar, entre outros. Ele é solúvel em diversos solventes como água, glicerina, solução de amônia, metanol, etanol, solução de sacarose e solução de glicose (WESTPHAL et al., 2011).

A tabela 5 apresenta valores de algumas propriedades do cloreto de sódio.

Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do cloreto de sódio

Propriedade	Unidade	Valor
Massa molar	$g \cdot mol^{-1}$	58,44[a]
Densidade	$g \cdot m^{-3}$	2,165[a,c]
Ponto de fusão	ºC	801[a,c]
Ponto de ebulição	ºC	1413[a];1465[c]
Constante dielétrica		5,9[c]
Entalpia de formação	$kJ \cdot mol^{-1}$	-410,9[c]
Índice de refração n_D^{20}		1,544[a,c]
Viscosidade dinâmica em solução saturada	mPa.s	1,93[c]
Tensão superficial a 805ºC	$mN.m^{-1}$	110[c]
		1,15663 (0ºC)[c]
		1,14779 (20ºC)[c]
Densidade em solução (20%;água)	$g \cdot m^{-3}$	1,13774 (40ºC)[c]
		1,1268 (60ºC)[c]
		1,1146 (80ºC)[c]
		35,7 (0ºC)[b]
		35,8 (10ºC)[b]
		35,9 (20ºC)[b]
		36,1 (30ºC)[b]
Solubilidade em água	$g \cdot g^{-1}$	36,4 (40ºC)[b]
		37,1 (60ºC)[b]
		38,0 (80ºC)[b]
		38,5 (90ºC)[b]
		39,2 (100ºC)[b]

Fonte: a) FELDMAN, p. 871; b) DEAN, p. 5.20; c) WESTPHAL et al., 2011, p. 321

3.3 FORMALISMO TERMODINÂMICO

Em baixas concentrações de co-soluto, a aproximação de McMillan-Mayer (MCMILLAN; MAYER, 1945) permite expressar o volume molar aparente através da equação (1):

$$V_{\Phi S}=\left(\frac{M_s}{\rho}\right)-\frac{(1000+m_{NaCl}\times M_{NaCl})\times(\rho-\rho_{NaCl})}{m_{sa}\times\rho\times\rho_o} \quad , \tag{1}$$

na qual, $V_{\Phi S}$ é o volume molar aparente ($cm^3 \cdot mol^{-1}$), M_s e M_{NaCl} são a massa molar do sacarídeo e do NaCl ($g \cdot mol^{-1}$), m_{sa} e m_{NaCl} são as molalidades do sacarídeo e do NaCl em água ($mol \cdot kg^{-1}$), ρ e ρ_o são as densidades da solução com e sem sacarídeo ($g \cdot cm^{-3}$).

Para altas concentrações de co-soluto, esta escala se torna insignificante, sendo mais conveniente a utilização da concentração do soluto com relação à massa da solução (co-soluto e água). Sendo assim, a equação pode ser substituída pela equação (2).

$$V_{\Phi S}=\left(\frac{M_S}{\rho}\right)-\frac{1000\times(\rho-\rho_o)}{m_S\times\rho\times\rho_o} \quad , \tag{2}$$

na qual, m_s é a molalidade do sacarídeo em solução salina ($mol \cdot kg^{-1}$) (DE VISSER; PERRON; DESNOYERS, 1977).

A equação (2) pode ser obtida partindo-se da equação (3):

$$M=\sum_{i=1}^{i=m} n_i\times\overline{M}_i \quad , \tag{3}$$

onde, M é uma grandeza extensiva, ou seja, depende da massa, e $\overline{M}_i$ é a grandeza parcial molar correspondente.

A relação entre M e M_{Φ_j}, grandeza molar aparente do componente j, é descrita pela equação (4) (ACREE, 1984):

$$M=n_j\times M_{\Phi_j}+\sum_{i=1,\ i\neq j}^{i=m} n_i\times M_i^o \quad , \tag{4}$$

onde, M_i^o é a grandeza molar do componente puro i.

A equação (5) mostra que à diluição infinita o volume molar aparente é igual ao volume molar.

$$M_{\Phi_j}=\frac{M-\sum_{i=1,\ i\neq j}^{i=m} n_i\times M_i^o}{n_j} \tag{5}$$

A partir desta relação, é possível escrever a equação (6) para o volume molar aparente do sacarídeo, considerando um mol de uma solução binária entre o sacarídeo e a solução salina:

$$V_{\Phi_S} = \frac{V_m - x_o \times V_o^o}{x_S} \quad , \tag{6}$$

na qual, V_m é o volume molar da solução V_o^o, é o volume molar da solução salina, e x_S e x_o são as frações molares do sacarídeo e das soluções salinas, respectivamente.

O volume molar pode ser escrito em função da densidade, através da equação (7).

$$V_{mi} = \frac{M_i}{\rho_i} \quad , \tag{7}$$

na qual, M_i é a massa molar da espécie i e ρ_i é a sua densidade.

Fazendo uso da equação (3), somado à relação entre volume e densidade mostrada na equação (7), pode-se obter a equação (8):

$$V_m = \frac{x_S \times M_S + x_o \times M_o}{\rho} \quad , \tag{8}$$

na qual, V_m e ρ representam o volume molar e a densidade da solução contendo sacarídeo, respectivamente. M_s, M_o, x_S e x_o representam a massa molar do sacarídeo, a massa molar da solução salina, a fração molar do sacarídeo e a fração molar da solução salina.

Combinando as equações (6) e (8), obtém-se a equação (9):

$$V_{\Phi_S} = \frac{x_S \times M_S}{x_S \times \rho} + \frac{x_o \times M_o}{x_S \times \rho} - \frac{x_o \times M_o}{x_S \times \rho_o} \quad . \tag{9}$$

Eliminando os termos semelhantes, obtém-se a equação (10):

$$V_{\Phi_S} = \frac{M_S}{\rho} + \frac{x_o \times M_o}{x_S \times \rho} - \frac{x_o \times M_o}{x_S \times \rho_o} \quad . \tag{10}$$

Definindo, x_o e x_S nas equações (11) e (12):

$$x_o = \frac{n_o}{n_S + n_o} \quad , \tag{11}$$

e

$$x_S = \frac{n_S}{n_S + n_o} \quad , \tag{12}$$

obtém-se a equação (13):

$$\frac{x_o}{x_S} = \frac{n_o}{n_S} \quad , \tag{13}$$

na qual, n_o e n_S representam o número de moles da solução salina e o número de moles de sacarídeo, respectivamente.

Mas, a massa de solução salina pode ser definida pela equação (14):

$$m_o = n_o \times M_o \quad . \tag{14}$$

Define-se a molalidade do sacarídeo em solução salina (m_s) pela equação (15), como:

$$m_S = \frac{n_S}{m_o} = \frac{n_S}{n_o \times M_o} \quad , \tag{15}$$

Combinando as equações (13) a (15) é possível obter a equação (16):

$$V_{\square S} = \frac{M_S}{\square} + \frac{\square}{m \times \square} - \frac{1}{m \times \square_{\square}} \tag{16}$$

Rearranjando os termos da equação (16), é possível escrever as equações (17), (18) e (19):

$$V_{\square S} = \frac{M_S}{\square} + \frac{1}{m} \times \left(\frac{1}{\square} - \frac{1}{\square_{\square}}\right) \quad , \tag{17}$$

$$V_{\square S} = \frac{M_S}{\square} + \frac{\square}{m} \times \frac{\square_{\square} - \square}{\square \times \square_o} \quad , \tag{18}$$

e

$$V_{\square S} = \frac{M_S}{\square} - \frac{\square + \square_{\square}}{m \times \square \times \square_{\square}} \tag{19}$$

Por fim, para ajuste de unidades, já que molalidade é escrita em mol·kg^{-1} e as massas estão em gramas, obtém-se a equação (2):

$$V_{\square S} = \left(\frac{M_S}{\square}\right) - \frac{1000 \times (\square + \square_o)}{m_S \times \square \times \square_{\square}} \tag{2}$$

O volume molar aparente do sacarídeo à diluição infinita (cm³·mol^{-1}) pode ser calculado através da equação (20).

$$V_{\square S} = V^{\square}_{\square S} + S_V \times m^{1/2} \quad , \tag{20}$$

na qual, $V^{\square}_{\square S}$ é o volume molar do sacarídeo à diluição infinita (cm³·mol^{-1}), $\square_{\square}$ é uma constante, e m é a molalidade.

Assim, os volumes molares à diluição infinita ($V^{\square}_{\square S}$) podem ser calculados a partir da extrapolação do volume molar aparente quando a molalidade (m) for nula. Portanto, ao construir um gráfico do volume molar aparente em função da raiz quadrada da molalidade, e ajustar-se a equação de uma reta, é possível encontrar os valores das constantes $V^{o}_{\square S}$ e S_V.

Com os resultados dos volumes molares à diluição infinita ($V^{o}_{\square S}$), é possível estudar o volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina, através da equação (21).

$$\square V^{o}_{tS} = V^{o}_{\square S\,(solução\ salina)} - V^{o}_{\square S\,(água)} \tag{21}$$

na qual $\square V^{o}_{tS}$ é o volume de transferência do sacarídeo da água para a solução salina (cm³·mol^{-1}), e $V^{o}_{\square S\,(solução\ salina)}$ e $V^{o}_{\square S\,(água)}$ são os volumes molares do sacarídeo à diluição infinita na solução salina e na água (cm³·mol^{-1}), respectivamente (BANIPAL et al., 2002; BANIPAL, P.; CHAHAL; BANIPAL, T., 2008; BANIPAL, P.; CHAHAL NEE HUNDAL; BANIPAL, T., 2010; BANIPAL, P.; CHAHAL NEE HUNDAL; BANIPAL, T., 2010;

BANIPAL, P.; KAUR; BANIPAL, T., 2004; BANIPAL, P.; SINGH; BANIPAL, T., 2010, SHEKAARI; KAZEMPOUR, 2012; ZHUO et al., 2009).

O volume molar à diluição infinita de um não eletrólito é a combinação de dois fatores que podem ser expressos pela (22):

$$V^{o}_{S} = V_{int} + V_{S} \quad , \tag{22}$$

na qual, V_{int} é a contribuição devido ao volume molar intrínseco do soluto não hidratado e V_S é o volume devido a interação do soluto com a água. O volume molar intrínseco, por sua vez, é o somatório do volume de van der Waals ($V_{V,W}$) e o volume vazio/cavidade (V_{vazio}).

Modificando a equação (22) para encontrar a contribuição de uma molécula no volume parcial molar do soluto hidrofílico, obtém-se a equação (23):

$$V^{o}_{S} = V_{V,W} + V_{vazio} - \square_{S} \quad , \tag{23}$$

na qual, n é o número potencial de interações de hidrogênio na molécula e $\square$ é a diminuição no volume causado por ligações de hidrogênio com moléculas de água.

A equação (23) pode ser reescrita alterando a nomenclatura do último termo obtendo assim a equação (24).

$$V^{o}_{S} = V_{V,W} + V_{vazio} - V_{encolhimento} \quad . \tag{24}$$

Considerando que $V_{V,W}$ e V_{vazio} têm a mesma magnitude em soluções aquosas salinas, como tem em soluções aquosas, o volume molar aparente positivo varia acompanhando a transferência do sacarídeo, que pode resultar do decréscimo do volume de encolhimento nas soluções aquosas salinas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar estudos encontrados na literatura de propriedades volumétricas contendo sacarídeos em soluções salinas a diferentes concentrações, temperaturas e pressões.

Zhuo et al. (2000) estudaram propriedades volumétricas de sistemas contendo soluções aquosas de cloreto de sódio (NaCl) com os seguintes monossacarídeos: D-xilose, D-arabinose, D-glicose e D-galactose. As densidades dos sistemas foram medidas a 298,15 K. As molalidades das soluções salinas variaram de 0 (água pura) a 1 mol·kg^{-1}. As concentrações das soluções contendo os sacarídeos foram de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 e 1,2 mol·kg^{-1}. Através das medidas de densidade, o volume molar aparente e o volume molar aparente à diluição infinita tanto do sacarídeo quanto do cloreto de sódio foram determinados. Foi possível observar que com o aumento da molalidade de NaCl ocorreu um aumento do volume molar aparente do sacarídeo e do NaCl. Com o aumento da molalidade do sacarídeo, os volumes molares aparentes também aumentaram. Pôde-se observar que o valor do volume de transferência do NaCl da água para solução aquosa de sacarídeo foi negativo e aumentou com o aumento da molalidade do sacarídeo. Segundo os autores, isso ocorreu devido ao fato das moléculas dos sacarídeos possuírem menor polaridade e maior volume, quando comparadas às moléculas de água e, com isto, os efeitos de eletrostrição causados pelos íons são mais fracos do que os efeitos causados pelas moléculas da água. O volume de transferência de sacarídeo da água para solução salina foi positivo e aumentou com o aumento da molalidade do NaCl. A hidratação da camada externa dos sacarídeos diminuiu com o aumento da molalidade de NaCl, uma vez que os íons, Na^+ e Cl^-, são fortemente hidratados (grande número de moléculas de água na camada de hidratação). Devido a atração eletrostática com o Na^+, os efeitos da hidratação dos grupos -OH, -C=O e -O- nas moléculas dos sacarídeos foram predominantes nas soluções aquosas de NaCl.

Origlia, Call e Woolley (2000) realizaram medidas de densidade de soluções aquosas dos sacarídeos D-glicose e D-galactose, em função da composição, a diferentes temperaturas e à pressão de 0,35 MPa. A faixa de concentração estudada variou entre 0,05 e 0,5 mol·kg^{-1} e a temperatura variou entre 278,15 e 393,15 K. Os resultados experimentais foram usados para calcular os volumes molares aparentes e os volumes molares aparentes à diluição infinita. Os valores dos volumes molares à diluição infinita foram positivos e aumentaram com o aumento da temperatura.

Banipal et al. (2002) estudaram o volume de transferência à diluição infinita da água para solução aquosa de cloreto de sódio (NaCl), através de medidas de densidade a 298,15 K, de 7 monossacarídeos, 5 dissacarídeos e 1 trissacarídeo. Os sacarídeos estudados foram: D(-)-ribose, D(-)-arabinose, D(+)-xilose, D(+)-glicose, D(+)-manose, D(+)-galactose, D(-)-frutose, sacarose, D(+)-celobiose, D(+)-maltose monohidratada, D(+)-lactose monohidratada, D(+)-trealose dihidratada e D(+)-rafinose pentahidratada. As concentrações das soluções estudadas foram de 1, 2 e 3 $mol \cdot kg^{-1}$ de NaCl, e 5 concentrações diferentes de sacarídeos. Os valores dos volumes de transferência foram positivos para todos os sacarídeos e aumentaram quase que linearmente com o aumento da concentração de NaCl. Os valores positivos do volume de transferência indicam que o efeito do soluto e co-soluto, na estrutura da água, diminui com o aumento das interações entre soluto e co-soluto. Estes valores também podem ser explicados através de interações hidrofílicas e hidrofóbicas, onde, as interações hidrofílicas-iônicas contribuem para valores positivos e as interações hidrofóbicas-iônicas para valores negativos do volume de transferência.

Jiang et al. (2003) realizaram medidas de densidade de D-glicose e D-frutose em soluções aquosas de CsCl à temperatura de 298,15 K. As concentrações das soluções salinas variaram entre 0,015 e 0,1 $mol \cdot kg^{-1}$ e as molalidades dos sacarídeos entre 0,2 e 0,6 $mol \cdot kg^{-1}$. Os resultados experimentais foram usados para calcular o volume molar aparente e o volume molar aparente à diluição infinita tanto para o sacarídeo quanto para o sal. Os autores calcularam também o volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina e o volume de transferência do eletrólito da água para a solução de sacarídeo. Ambos apresentaram valores positivos e, aumentaram com o aumento das concentrações do eletrólito e do sacarídeo. Os valores do volume de transferência do sacarídeo e do eletrólito foram maiores para a D-frutose quando comparados com a D-glicose. Os efeitos de hidratação do Cs^+ e do Cl^- são maiores, o que resulta na diminuição da camada de hidratação das moléculas de sacarídeo. A interação do sacarídeo com o CsCl contribui para os valores positivos das propriedades volumétricas, o que explica o fato do volume molar aparente do sacarídeo aumentar com o aumento da concentração de CsCl.

Dey et al. (2003) estudaram o volume molar aparente de sacarídeos em água, em uma faixa de concentração entre 0,2 e 1 $mol \cdot kg^{-1}$, e nas temperaturas de 308,15; 313,15 e 323,15 K. Os autores estudaram os monossacarídeos L(+)-arabinose, D(+)-galactose, D(-)-frutose e D(+)-glicose, e os dissacarídeos sacarose, lactose e maltose. Os resultados experimentais sugerem que as interações entre soluto e solvente aumentam com o aumento da molalidade do sacarídeo. Os valores dos volumes molares aparentes também aumentaram com o aumento da

temperatura. Os autores explicaram esse comportamento através de 3 hipóteses: (I) com o aumento da energia térmica, o relaxamento da maior parte das moléculas de água das regiões de interação –OH e $–CH_2OH$ resulta em um volume positivo; (II) o aumento da temperatura causa um enfraquecimento das interações soluto-soluto, gerando um volume negativo; (III) as interações água-água diminuem com o aumento da temperatura levando também aos valores negativos do volume. A predominância das contribuições positivas da primeira hipótese supera os valores negativos das contribuições das hipóteses (II) e (III). Os valores dos volumes molares aparentes aumentaram na seguinte ordem para os monossacarídeos: L(+)-arabinose < D(+)-galactose < D(-)-frutose < D(+)-glicose. Esta ordem foi explicada baseada no fato da L(+)-arabinose possuir menor número de grupos –OH e átomos de carbono do que a D(+)-galactose, sugerindo a maior hidratação da última. Os maiores valores para D(+)-glicose propõe que ela é mais hidratada dentre os monossacarídeos estudados. Glicose e galactose estão presentes em forma de piranoses com a diferença de que, na galactose, o grupo –OH no carbono C-4 possui configuração diferente. A galactose possui maior porcentagem de grupos –OH axiais do que a glicose e esta é, provavelmente, a razão por ela ter apresentado os menores valores de volume molar aparente. A glicose possui o anel piranose de seis membros, se tornando mais propícia para interação com água do que a frutose, que possui um anel furanose de cinco membros. Para os dissacarídeos a ordem foi a seguinte: sucrose < lactose < maltose. Neste caso, a maltose se mostrou o mais hidratado dentre os monossacarídeos. Ela é formada pela união de duas glicoses, a sacarose é a união de glicose e frutose, e a lactose é a união de glicose e galactose. Como citado anteriormente, a galactose possui alta porcentagem de grupos –OH axiais, quando comparado com a glicose. Como a maltose é composta por duas moléculas de glicose (alta porcentagem de –OH equatorial) e a sacarose e a lactose contêm uma unidade de glicose, a maltose apresentou os maiores valores do volume molar aparente.

Banipal, Kaur e Banipal (2004) estudaram alguns sacarídeos em soluções aquosas de cloreto cúprico e cloreto de zinco nas concentrações de 0,5, 1, 2 e 4 $mol \cdot kg^{-1}$, à temperatura de 298,15 K. Os sacarídeos estudados foram: D(-)-arabinose, D(-)-ribose, D(+)-glicose e sacarose. Através de medidas de densidade, os autores calcularam o volume molar aparente do sacarídeo, o volume molar aparente à diluição infinita e o volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina. Os valores de volume de transferência foram positivos e aumentaram com o aumento da concentração de sal, sendo maiores para o $ZnCl_2$. Após a concentração de 4 $mol \cdot kg^{-1}$, pôde-se observar que os valores permaneceram praticamente constantes, sugerindo nível de saturação das interações soluto e co-soluto. Os valores do

volume molar aparente e e do volume molar aparente à diluição infinita aumentaram na seguinte ordem: D(-)-arabinose < D(-)-ribose < D(+)-glicose < sacarose. Estudos mostraram que para os sacarídeos estudados, os valores do volume de transferência para diferentes sais aumentam seguindo a ordem: NaCl < $CaCl_2$ < $CuCl_2$ < $ZnCl_2$.

Brown et al. (2005) estudaram o volume molar aparente de soluções aquosas de D(+)-celobiose, D(+)-maltose e de sacarose a diferentes concentrações e temperaturas. As concentrações estudadas variaram entre 0,01 a 0,55 mol·kg^{-1} e a faixa de temperatura variou entre 278,15 e 368,15 K. Os autores concluíram que os valores molares aparentes foram muito próximos para os três sistemas. Esse comportamento foi atribuído ao fato dos compostos possuírem a mesma estrutura geral e massas molares idênticas. Os valores do volume molar aparente das soluções de maltose foram um pouco menores quando comparado às outras soluções, o que pode ser explicado devido à diferença na estereoquímica. A sacarose e a celobiose possuem ligações β-glicosídicas entre seus monossacarídeos, enquanto na maltose, a ligação é α-glicosídica. Por este motivo, a molécula da maltose é mais plana, ocupando um menor espaço na solução.

Swenson e Woolley (2007) determinaram valores do volume molar aparente de soluções aquosas de KI, HIO_3, NaIO e KIO_3, em uma faixa de concentração entre 0,01 e 7,5 mol·kg^{-1}, nas temperaturas entre 278,15 e 393,15 K, e pressão de 0,35 MPa. Assim como a maioria das soluções aquosas eletrolíticas 1:1, os valores do volume molar aparente apresentaram pequena dependência com a molalidade, porém, aumentaram significativamente com o aumento da temperatura.

Banipal, Singh e Banipal (2009) estudaram o volume molar aparente, volume molar aparente à diluição infinita e o volume de transferência de diversos mono-, di- e tri-sacarídeos da água para solução salina de acetato de sódio (0,5, 1, 2 e 3 mol·kg^{-1}), na faixa de temperatura entre 288,15 e 318,15 K. As concentrações de sacarídeos variaram entre 0,03 e 0,12 mol·kg^{-1}. Os monossacarídeos estudados foram: D(+)-xilose, D(-)-arabinose, D(-)-ribose, L(-)-sorbose, D(-)-frutose, D(+)-galactose, D(+)-glicose e D(+)-manose. Os dissacarídeos utilizados foram: D(+)-celobiose, sacarose, D(+)-melibiose, D(+)-lactose monohidratada, D(+)-trealose dihidratada, D(+)-maltose monohidratada. Os trissacarídeos estudados foram dois: D(+)-melizitose e D(+)-rafinose pentahidratada. Para os monossacarídeos, os valores do volume de transferência diminuíram na seguinte ordem: D(-)-ribose > D(+)-manose > D(+)-glicose > D(+)-galactose > D(-)-frutose > D(-)-arabinose > D(+)-xilose > L(-)-sorbose. Os valores dos dissacarídeos diminuíram seguindo a ordem: D(+)-maltose monohidratada > D(+)-trealose dihidratada > D(+)-lactose monohidratada > D(+)-

melibiose > sacarose > D(+)-celobiose. Para os trissacarídeos, os valores foram maiores para a D(+)-rafinose pentahidratada, quando comparados aos da D(+)-melizitose.

No caso da D(+)-xilose e D(-)-frutose, o volume de transferência apresentou um valor máximo na concentração salina de aproximadamente 0,5 $mol \cdot kg^{-1}$. A D(+)-glicose apresentou valores positivos e crescentes, em toda a faixa de concentração da solução salina estudada. Os autores não apresentaram os valores do volume de transferência para sacarose, porém, puderam constatar que os valores dos volumes molares aparentes aumentaram de acordo com a sequência: mono- < di- < tri-. Os pesquisadores puderam observar o mesmo comportamento ao utilizar KCl e NaCl, em substituição ao acetato de sódio. Os valores positivos encontrados para o volume de transferência, na maioria dos sacarídeos estudados, sugerem que as interações hidrofílica-iônicas são predominantes sobre as hidrofóbica-iônicas. Além disso, os valores aumentaram com o aumento da concentração do sal, indicando fortes interações hidrofílica-iônicas.

Banipal, Chahal e Banipal (2009) estudaram o volume molar aparente, volume molar aparente à diluição infinita e o volume de transferência de sacarídeo da água para solução aquosa de cloreto de potássio (KCl) de 19 sacarídeos, sendo 7 monossacarídeos, 6 dissacarídeos e 6 trissacarídeos. A faixa de temperatura estudada foi entre 288,15 K e 318,15 K, com variação de 10 K. As concentrações de sal estudadas foram de 0,5; 1; 2 e 3 $mol \cdot kg^{-1}$. Pôde-se perceber que o valor do volume molar aparente à diluição infinita aumentou seguindo a ordem: mono- < di- < tri-. Este fenômeno também ocorreu para o volume de transferência. Os valores do volume molar aparente à diluição infinita e do volume de transferência também aumentaram com o aumento da concentração do sal, na maioria dos sistemas estudados. Os volumes de transferência foram maiores em aldo- e ceto-hexoses quando comparados com os de aldopentoses.

Os autores atribuíram o comportamento das propriedades volumétricas através dos seguintes tipos de interações possíveis entre o soluto (sacarídeo) e o co-soluto (KCl): (i) interações hidrofílicas-iônicas entre os grupos hidrofílicos (-OH, -C=O, -O-) e os íons (K^+ e Cl^-), que contribuem positivamente para os valores do volume de transferência; (ii) as interações hidrofóbicas-iônicas entre as partes hidrofóbicas das moléculas dos sacarídeos (R=CH) e os íons do co-soluto que contribuem para valores negativos do volume de transferência. Normalmente, o KCl atua rompendo as ligações de hidrogênio das moléculas da água. Estes efeitos sobre a estrutura da água diminuem com o aumento da concentração de sacarídeos devido às fortes interações entre os sacarídeos e os íons em solução, o que também contribui para valores positivos do volume de transferência.

Zhuo et al. (2009) estudaram propriedades volumétricas do sistema (D-galactose + ácido clorídrico + água) em um intervalo de temperatura entre 278,15 e 318,15 K. As molalidades da D-galactose variaram entre 0,2 e 1,2 mol·kg^{-1} e os valores da concentração das soluções ácidas variaram entre 0,2 e 2,1087 mol·kg^{-1}. As medidas das densidades das soluções binárias (soluções aquosas de D-galactose e HCl) e das soluções ternárias (D-galactose + HCl + H_2O) possibilitaram o cálculo do volume molar aparente do sacarídeo. Pôde-se constatar que o volume molar aparente do sacarídeo aumentou com o aumento da concentração de HCl ou de sacarídeo. Os valores do volume molar aparente à diluição infinita aumentaram linearmente com o aumento da molalidade do HCl. Por fim, os autores calcularam os volumes de transferência da D-galactose da água para a solução ácida. Em todas as temperaturas, os valores dos volumes de transferência foram positivos e aumentaram com o aumento da concentração de HCl. Segundo os autores, o comportamento das propriedades volumétricas pode ser explicado pelos tipos de interações presentes no sistema, isto é, as interações hidrofílica-hidrofóbicas (H^+ (Cl^-)-R), onde a camada de hidratação do grupo hidrofóbico é parcialmente dissolvida. A transformação da água proveniente do estado hidrofóbico hidratado em camada de hidratação do grupo –R para o "*bulk state*" contribui para um volume negativo. As interações hidrofílica-hidrofílicas (H^+ (Cl^-)-O), por sua vez podem ser interpretadas em dois tipos: H^+-O, que possuem cargas negativas e, consequentemente, sua atração eletrostática resulta na quebra da camada de hidratação; e o caso Cl^--O, no qual o efeito eletrostático repulsivo leva ao arranjo das moléculas de água na camada, o que contribui para os valores positivos do volume de transferência. Os autores concluíram que as interações entre o sacarídeo e o HCl levaram a valores positivos do volume de transferência, prevalecendo o segundo caso. Com o aumento da molalidade do HCl ocorreu o aumento das interações entre soluto e co-solvente, provocando um aumento no volume de transferência.

Banipal, Hundal e Banipal (2010) continuaram os seus estudos incluindo os monossacarídeo L(-)-sorbose e o trissacarídeos D(+)-melizitose. Os autores utilizaram o cloreto de magnésio, como eletrólito. Todos os valores do volume molar de transferência dos sacarídeos da água para a solução salina foram positivos e, aumentaram com o aumento das concentrações da solução salina. Em todos os casos, percebeu-se um valor máximo nos valores de volume de transferência próximo a molalidade de 0,5 mol·kg^{-1} de $MgCl_2$. A sequência da redução dos valores do volume de transferência em função dos sacarídeos foi: D(+)-rafinose pentahidratada > D(+)-trealose dihidratada > D(+)-lactose monohidratada > D(+)-maltose monohidratada > sacarose > D(+)-celobiose > D(+)-melibiose > D(+)-galactose

> D(+)-glicose > D(-)-frutose > D(+)-manose > D(-)-ribose > D(-)-arabinose > D(+)-xilose. Os menores valores do volume de transferência para a D(-)-frutose, dentre as hexoses, pode ser explicado devido a possíveis anéis de furanose formados com os grupos cetohexose C=O, que possuem maior tensão estérica. Efeitos similares podem explicar os baixos valores da sacarose quando comparados aos dos outros dissacarídeos. De acordo com o "*Cosphere overlap model*" (RAMANATHAN; FRIEDMAN, 1971), é possível que as interações predominantes sejam as hidrofílicas-iônicas. Como último estudo, os autores compararam este trabalho com resultados anteriores e observaram que os volumes de transferência dos sacarídeos aumentaram com a troca do co-soluto, na seguinte ordem: $MgCl_2$ > KCl > NaCl > $NaOOCCH_3$. Isto indica que as interações entre os sacarídeos e o $MgCl_2$ são maiores, possivelmente devido a maior densidade de carga e força iônica do Mg^{2+}.

Shekaari e Kazempour (2012) estudaram as propriedades volumétricas da D-glicose em soluções aquosas do líquido iônico 1-hexil-3-metilimidazólio brometo [HMIm]Br, na temperatura de 298,15 K. Os valores do volume molar aparente da D-glicose aumentaram com o aumento da concentração do líquido iônico. Os valores do volume molar aparente à diluição infinita, os quais refletem apenas as interações soluto-solvente, no caso entre a D-glicose e a solução de líquido iônico, foram positivos e aumentaram com o aumento da concentração de líquido iônico. Comparando os resultados desse estudo com aqueles contendo outros líquidos iônicos, foi possível concluir que o tamanho do cátion do líquido iônico influencia nos valores de volume molar aparente à diluição infinita. Os valores do volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina foram positivos e aumentaram com o aumento da molalidade do líquido iônico. Os valores positivos demonstram que as interações hidrofílicas, entre o -OH hidrofílico e o grupo -O das moléculas de D-glicose e os íons do líquido iônico, são predominantes. Além disso, o aumento dos valores com a concentração de [HMIm]Br demonstram fortes interações hidrofílicas-iônicas.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentados os materiais (equipamentos e reagentes) e a metodologia utilizada no presente estudo.

5.1 MATERIAIS

Os reagentes utilizados no presente foram:

- D(+)-glicose, fornecedor Merck;
- Sacarose, fornecedor Merck;
- Frutose (D), fornecedor Synth;
- D(+)-xilose, fornecedor Sigma-Aldrich;
- Cloreto de Sódio, fornecedor Dinâmica.

5.2 METODOLOGIA

Para realização das medidas experimentais foi utilizado um densímetro de oscilação mecânica (modelo DMA 4500, fabricado pela Anton Paar, figura 7), um equipamento de osmose reversa para desmineralização da água (Quimis), uma balança digital analítica (modelo AUY220, fabricado pela Shimadzu) com 4 casas decimais, seringas plásticas especiais de 5 cm^3, pipeta automática de 1 cm^3 e vidrarias de laboratório para preparo das soluções e amostras.

O densímetro consiste em um tubo oscilador em formato "U", provido de dois sensores Pt100, responsáveis pelo controle da temperatura, que pode variar entre 0 e 90ºC, com precisão de ± 0,03 ºC e repetibilidade de 0,01ºC. O equipamento é capaz de realizar medidas de densidades entre 0 e 3 $g{\cdot}cm^{-3}$, com precisão de ± 0,00005 $g{\cdot}cm^{-3}$ e repetibilidade de 0,00001 $g{\cdot}cm^{-3}$.

As incertezas na molalidade e no volume molar aparente foram, respectivamente, de 0,0001 $mol{\cdot}kg^{-1}$ e 0,01 $cm^3{\cdot}mol^{-1}$. O cálculo desses valores estão apresentados no apêndice A.

Figura 7 - Densímetro DMA 4500

Fonte: Autor

A figura 8 mostra o densímetro com a entrada de fluido, através de uma seringa, e o recipiente de descarga.

Figura 8 - Ilustração indicando entrada e saída de amostra no densímetro DMA 4500

Fonte: Autor

O equipamento possui uma bomba interior que possibilita a secagem do tubo oscilador e pode ser acionada manualmente com a opção de desligamento automático ou manual (figura 9).

Figura 9 - Indicação da saída de ar da bomba de limpeza do densímetro DMA 4500

Fonte: Autor

Inicialmente, mediu-se a densidade da água desmineralizada, obtida através de osmose reversa, pelo menos 3 vezes, em todas as temperaturas estudadas (283,15; 288,15; 293,15; 298,15 e 303,15 K). Ao introduzir as amostras no equipamento, tomou-se o cuidado para evitar a formação de bolhas que poderiam prejudicar a leitura das densidades, devido à instabilidade no tubo oscilador. As temperaturas foram ajustadas manualmente no equipamento. Após as leituras das densidades de cada amostra nas diferentes temperaturas, o tubo oscilador foi lavado com uma solução de água e detergente, seguido de grande

quantidade de água. Em seguida, o tubo oscilador foi seco com acetona e com a bomba de ar interna ao equipamento.

Antes de iniciar as medidas de densidade dos sistemas estudados no presente trabalho, tomou-se o cuidado de secar os sacarídeos em dessecador e o cloreto de sódio em estufa durante 3 dias.

As soluções de sacarídeos em água pura foram preparadas nas molalidades de 0,015; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 e 1,7 $mol \cdot kg^{-1}$ e as concentrações das soluções de sacarídeos em soluções de NaCl foram de 0,025; 0,05; 0,075 e 0,1 $mol \cdot kg^{-1}$. Todas as amostras foram pesadas no dia em que foram realizadas as medidas. Preparou-se uma quantidade de solução salina suficiente para dois dias de um conjunto de medidas experimentais e, a partir desta, prepararam-se uma a uma as amostras com os sacarídeos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar os resultados de densidade, volume molar aparente, volume molar aparente à diluição infinita e volume de transferência dos sacarídeos da água para soluções salinas de NaCl.

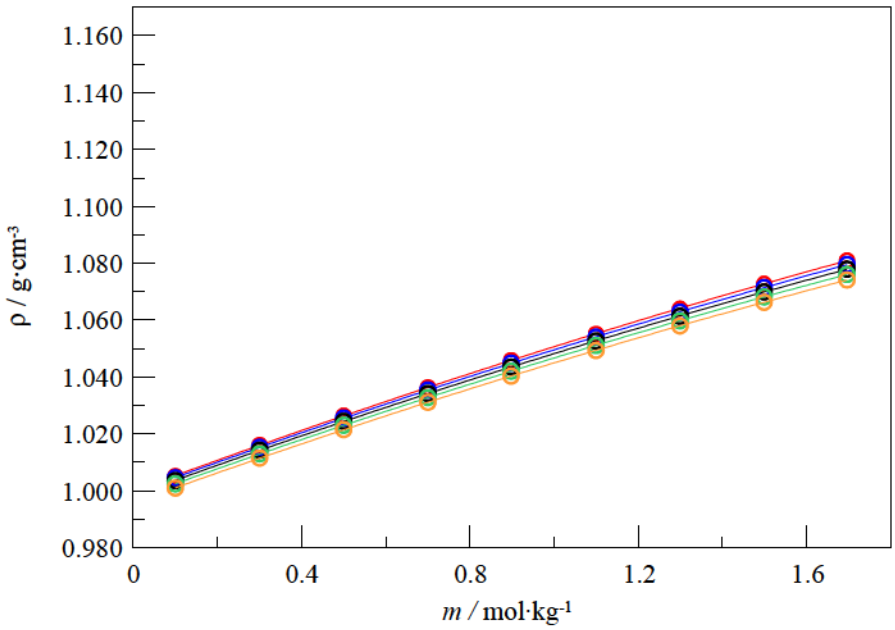
6.1 DENSIDADE

Primeiramente, foram feitas medidas das densidades da água pura e das soluções salinas puras, nas temperaturas de 283,15, 288,15, 293,15, 298,15 e 303,15 K. Estes valores encontram-se no APÊNDICE B. A seguir, foram determinadas as densidades das soluções de xilose em água pura e em diferentes concentrações de NaCl e temperaturas.

6.1.1 Sistema xilose

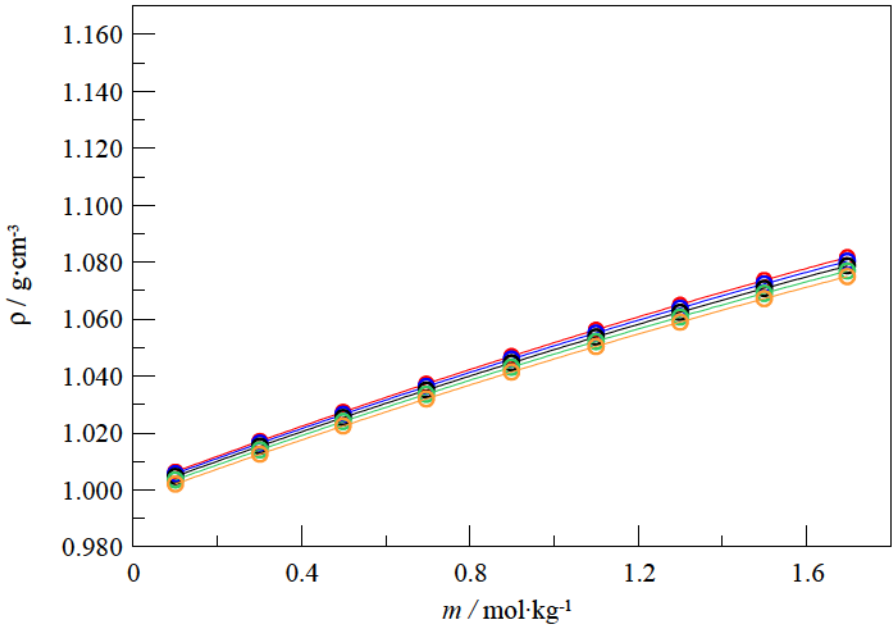
As figuras 10 - 14 apresentam o comportamento da densidade das soluções de xilose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 $mol \cdot kg^{-1}$, respectivamente, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas.

Figura 10 - Densidade das soluções de xilose em água pura, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



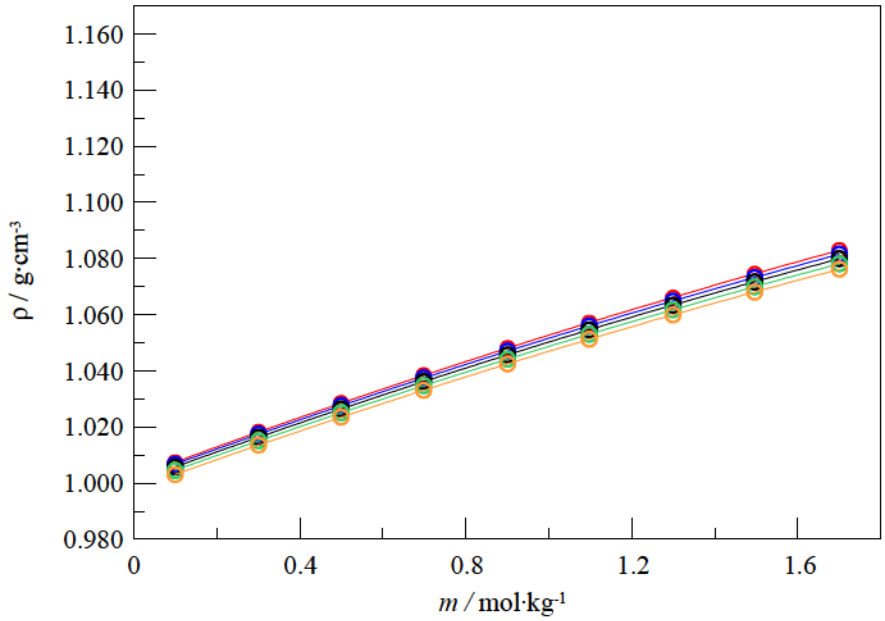
Fonte: Autor

Figura 11 - Densidade das soluções de xilose com concentração salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



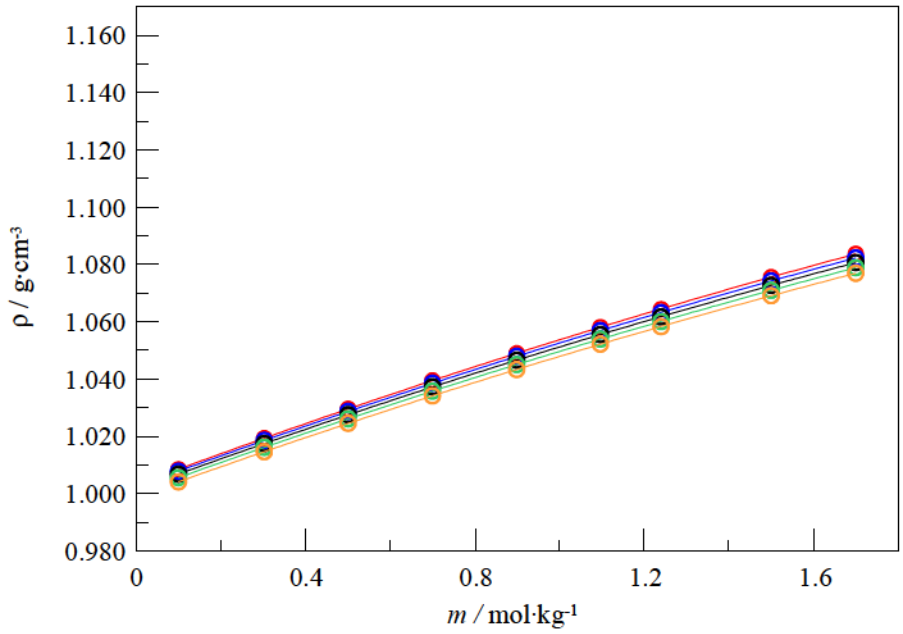
Fonte: Autor

Figura 12 - Densidade das soluções de xilose com concentração salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



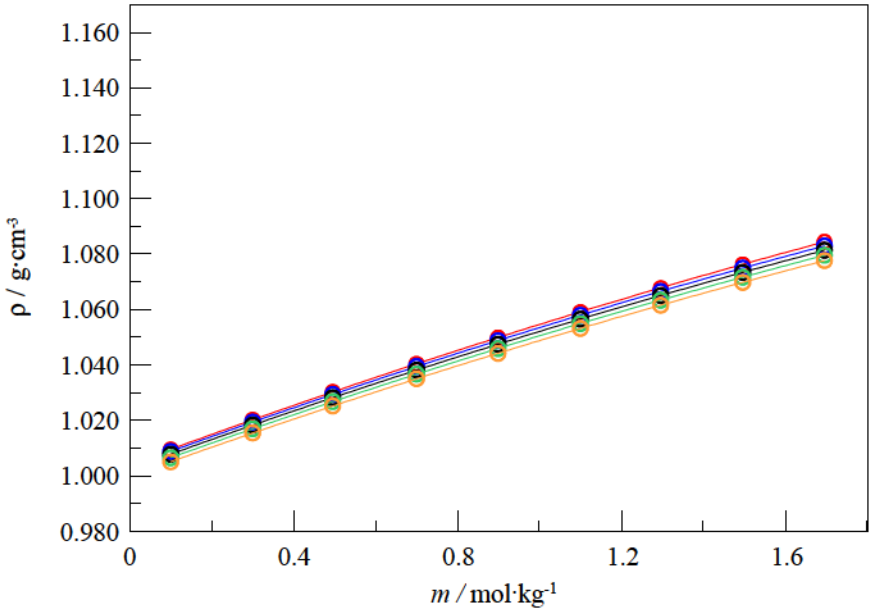
Fonte: Autor

Figura 13 - Densidade das soluções de xilose com concentração salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



Fonte: Autor

Figura 14 - Densidade das soluções de xilose com concentração salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente

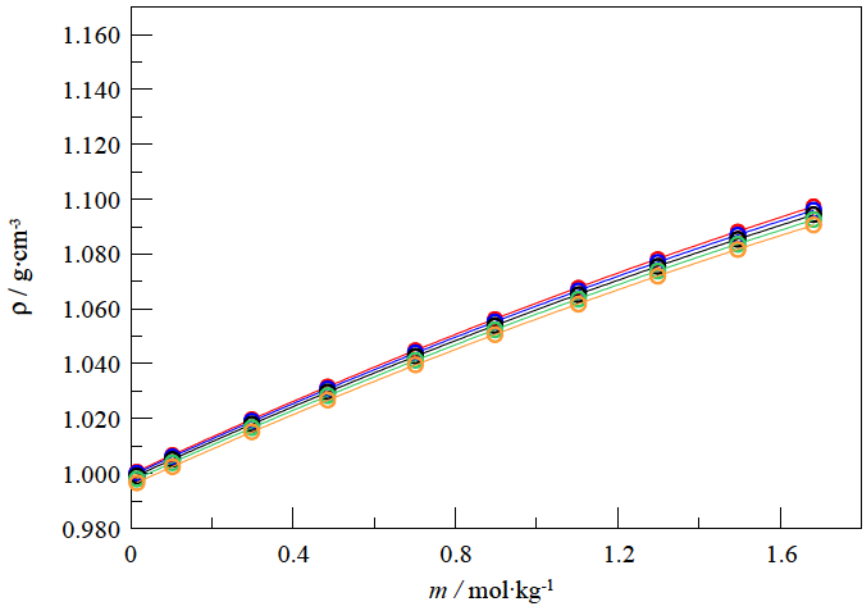


Fonte: Autor

6.1.2 Sistema glicose

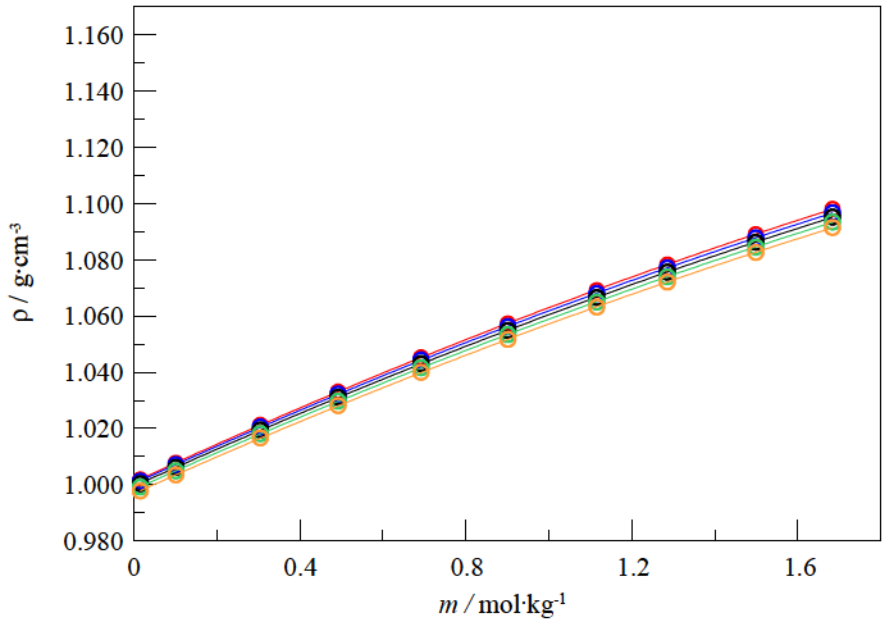
As figuras 15 - 19 apresentam o comportamento da densidade das soluções de glicose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas.

Figura 15 - Densidade das soluções de glicose em água pura, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



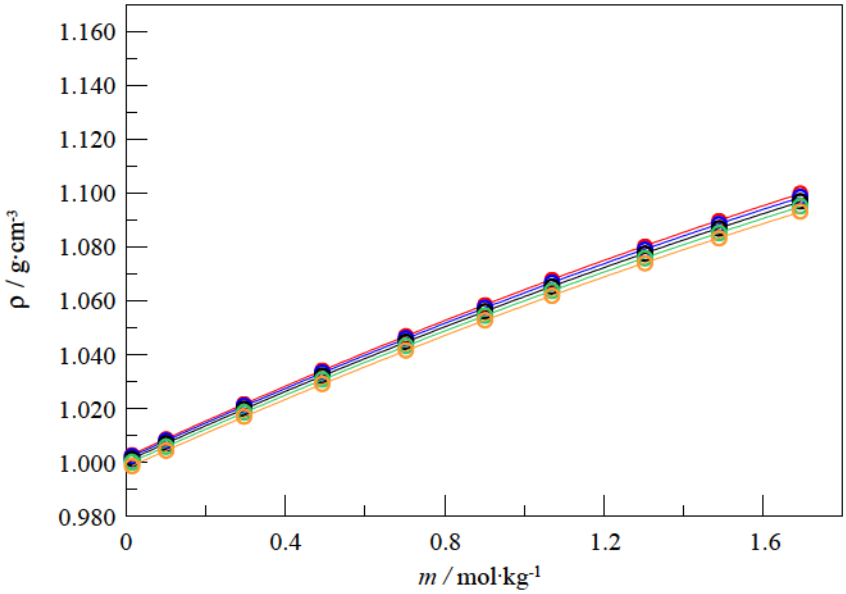
Fonte: Autor

Figura 16 - Densidade das soluções de glicose com concentração salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



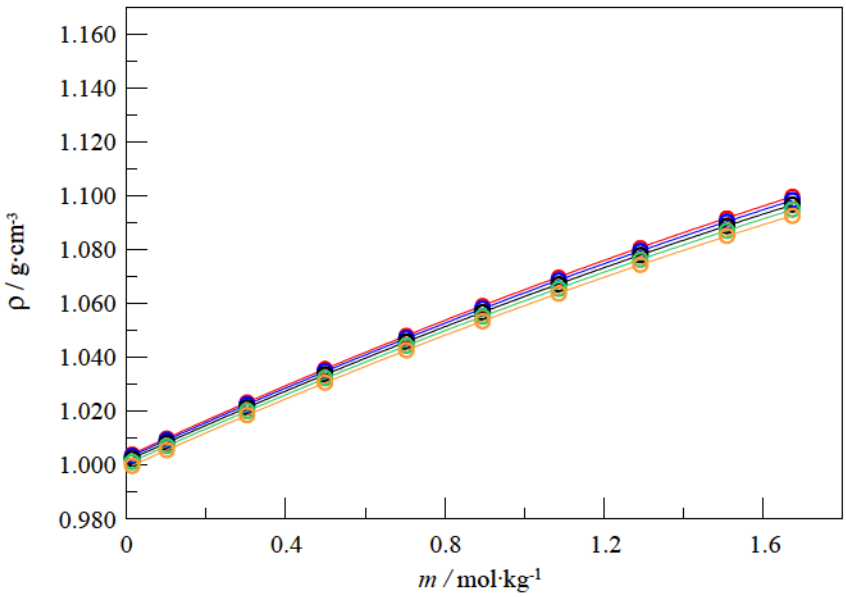
Fonte: Autor

Figura 17 - Densidade das soluções de glicose com concentração salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



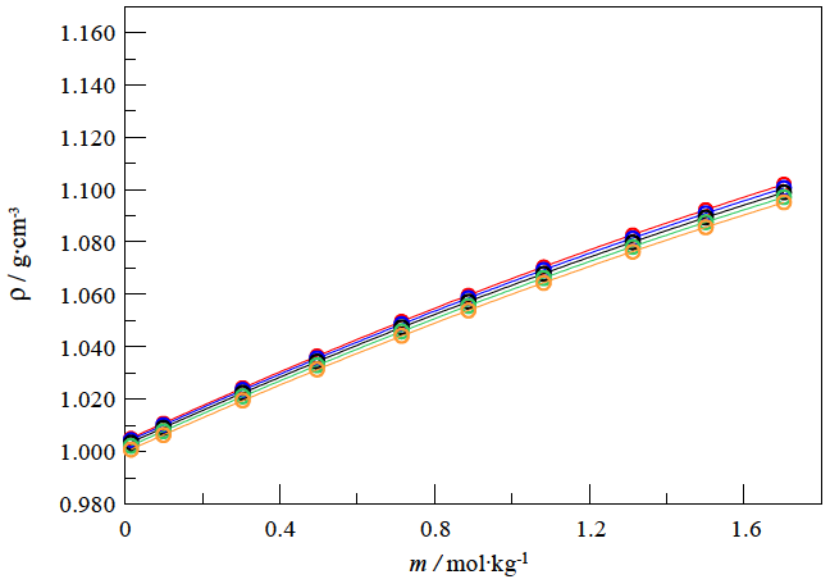
Fonte: Autor

Figura 18 - Densidade das soluções de glicose com concentração salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



Fonte: Autor

Figura 19 - Densidade das soluções de glicose com concentração salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente

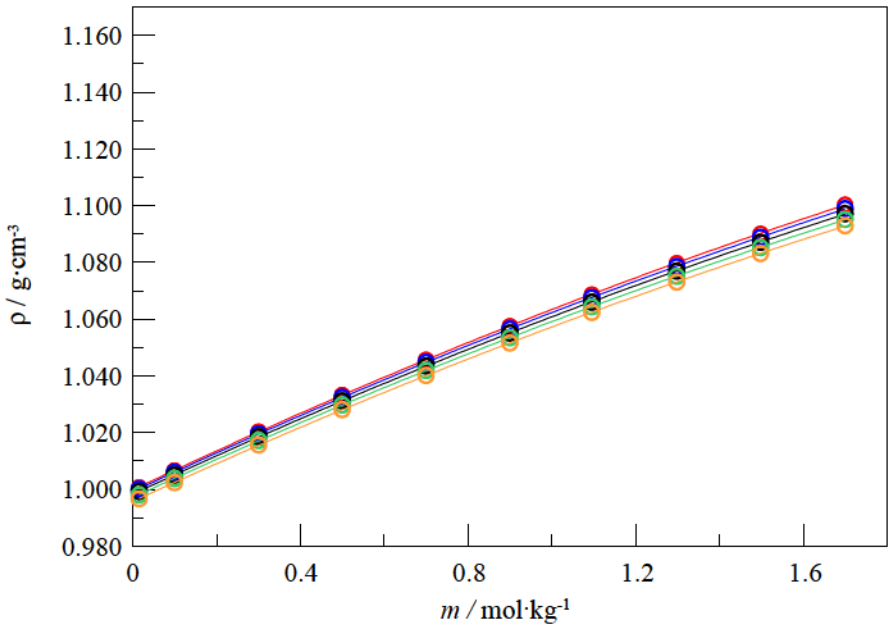


Fonte: Autor

6.1.3 Sistema frutose

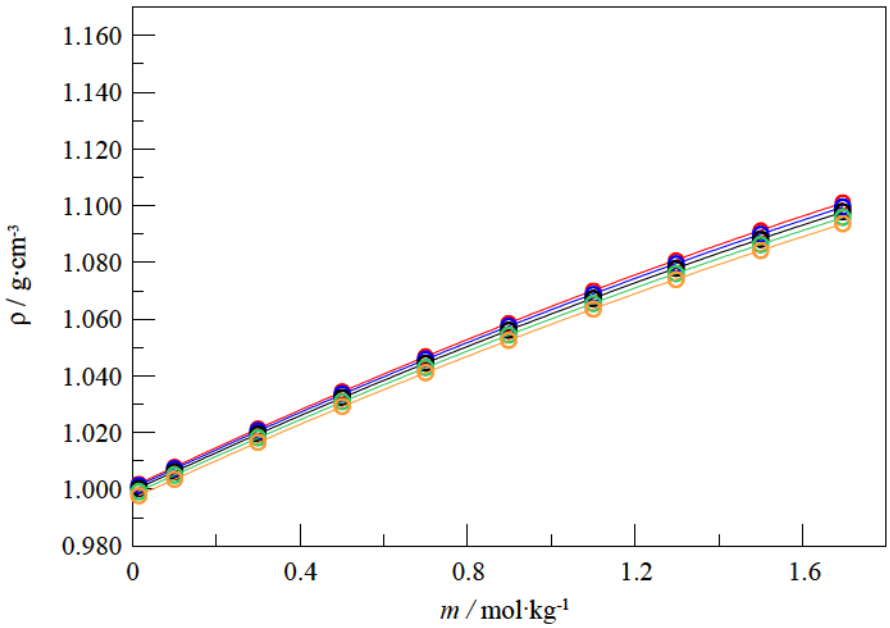
As figuras 20 - 24 apresentam o comportamento da densidade das soluções de frutose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas.

Figura 20 - Densidade das soluções aquosas de frutose em água pura, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



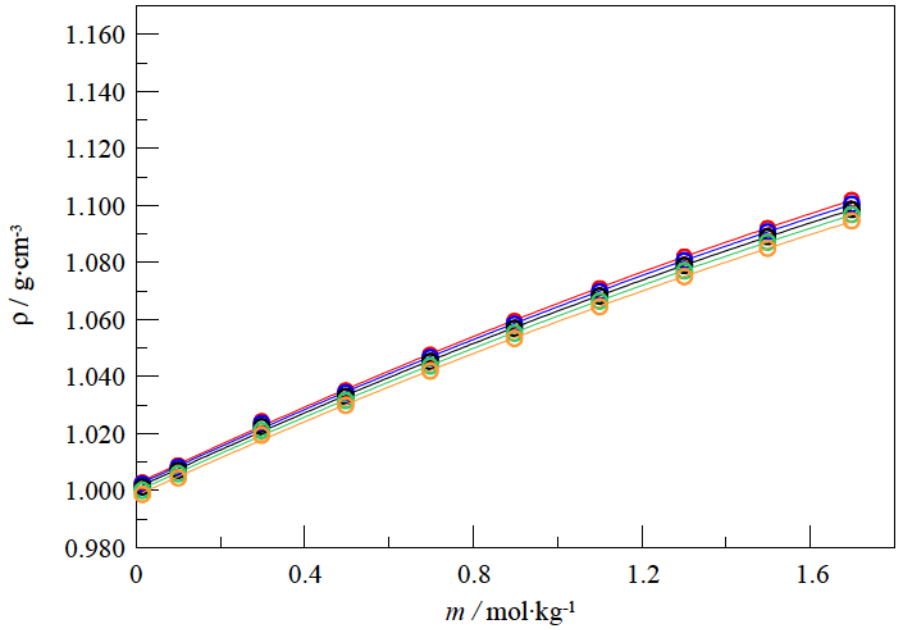
Fonte: Autor

Figura 21 - Densidade das soluções de frutose com concentração salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



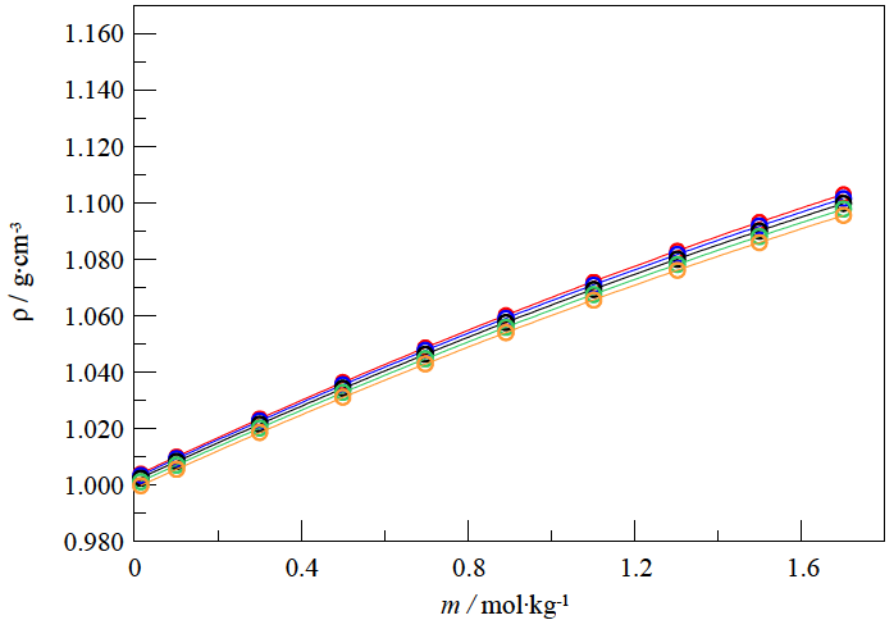
Fonte: Autor

Figura 22 - Densidade das soluções de frutose com solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



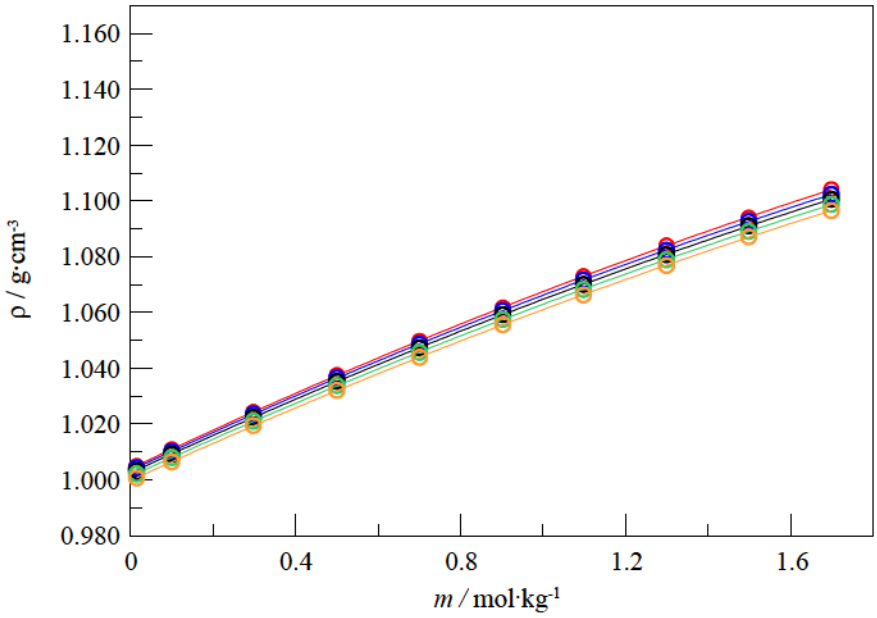
Fonte: Autor

Figura 23 - Densidade das soluções de frutose com concentração salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



Fonte: Autor

Figura 24 - Densidade das soluções de frutose com concentração salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente

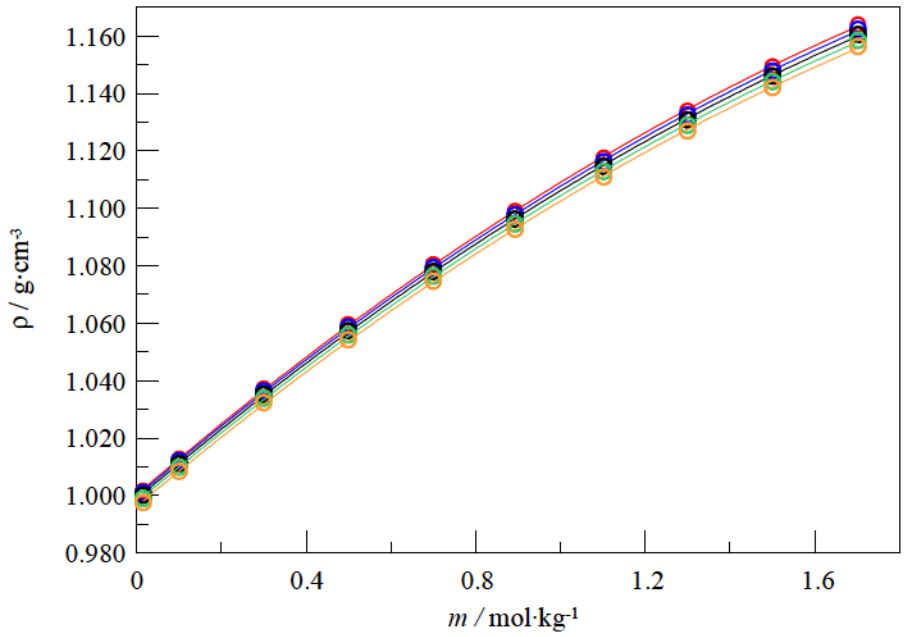


Fonte: Autor

6.1.4 Sistema sacarose

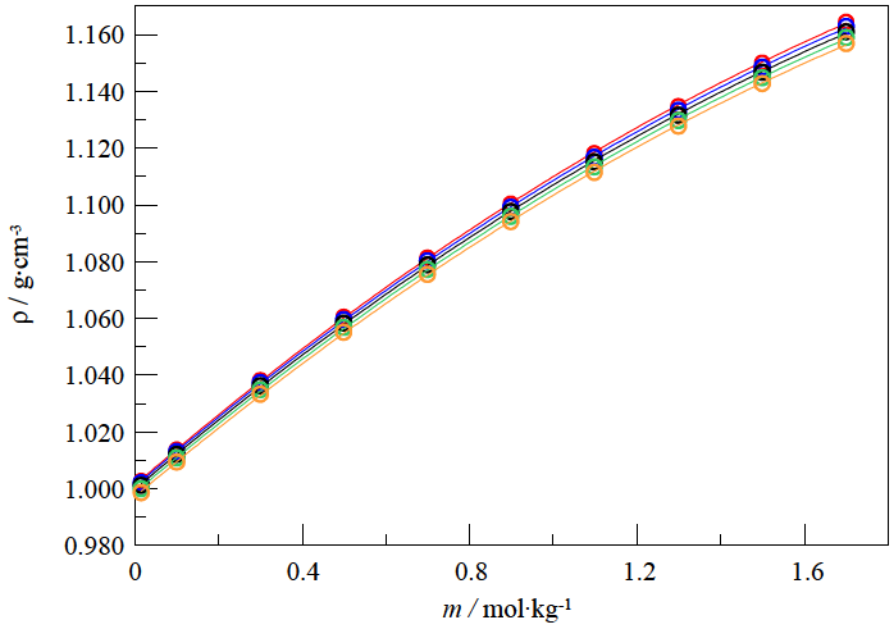
As figuras 25 - 29 apresentam o comportamento da densidade das soluções de sacarose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas.

Figura 25 - Densidade das soluções aquosas de sacarose em água pura, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



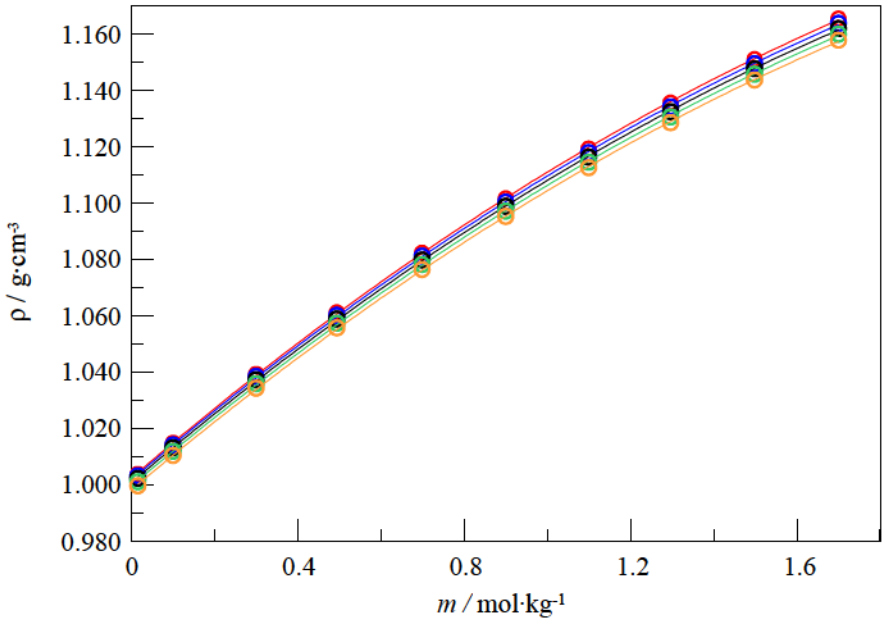
Fonte: Autor

Figura 26 - Densidade das soluções de sacarose com concentração salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



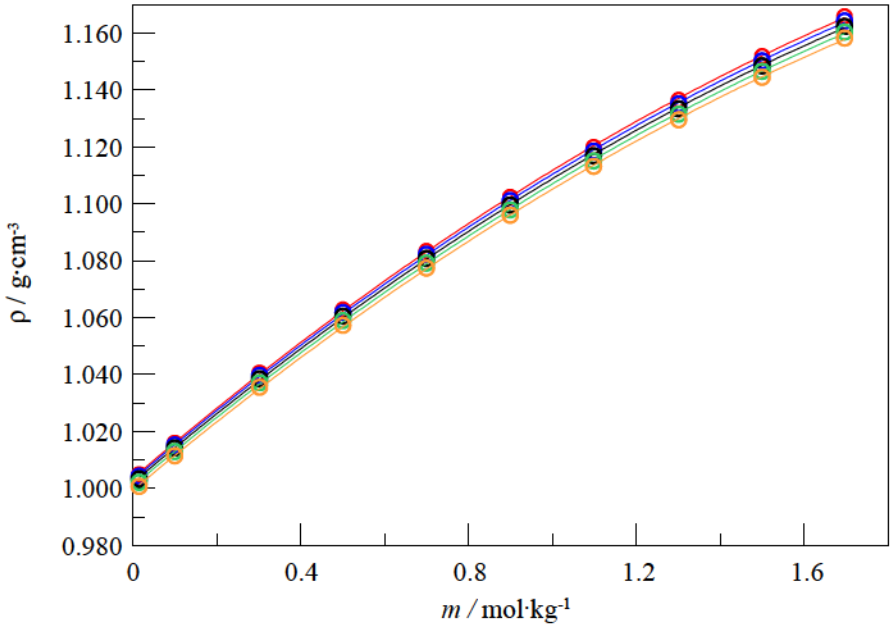
Fonte: Autor

Figura 27 - Densidade das soluções de sacarose com concentração salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



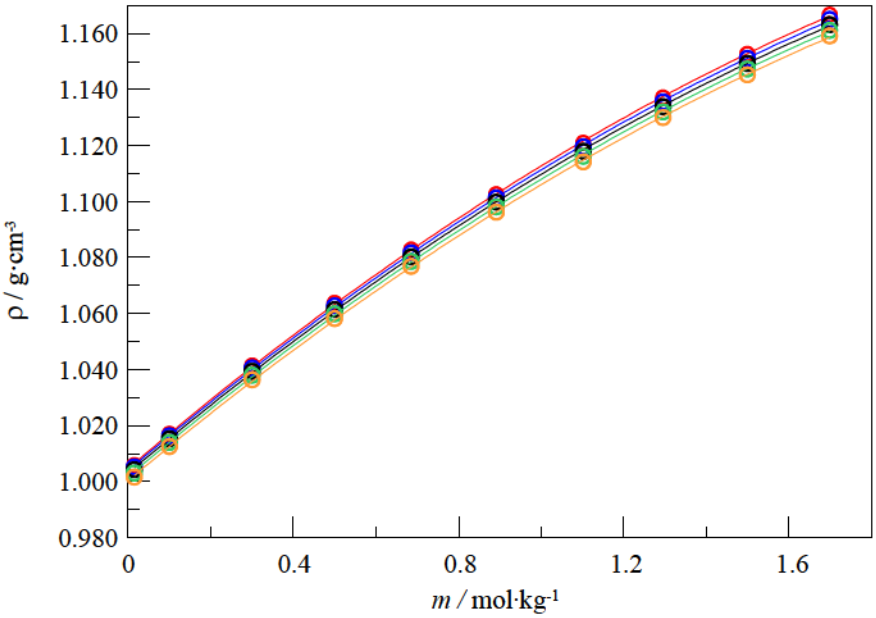
Fonte: Autor

Figura 28 - Densidade das soluções de sacarose com concentração salina de 0,075 mol·kg^{-1} em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



Fonte: Autor

Figura 29 - Densidade das soluções de sacarose com concentração salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos experimentalmente



Fonte: Autor

Para todos os sacarídeos estudados, os valores de densidade diminuíram com o aumento de temperatura, tanto em água pura, quanto nas soluções salinas. O aumento da molalidade dos sacarídeos e da concentração do eletrólito também aumentou a densidade da solução. A sacarose, único dissacarídeo estudado, apresentou maior inclinação na curva de densidade, quando comparado aos monossacarídeos D(+)-glicose, D-frutose e D(+)-xilose. Comportamento semelhante pode ser observado nos trabalhos de Banipal et al. (2002) e Zhuo et al. (2000).

Os dados de densidade das soluções dos sacarídeos em água pura determinados no presente trabalho estão em concordância com os resultados encontrados nos estudos de Banipal, Chahal e Banipal (2009).

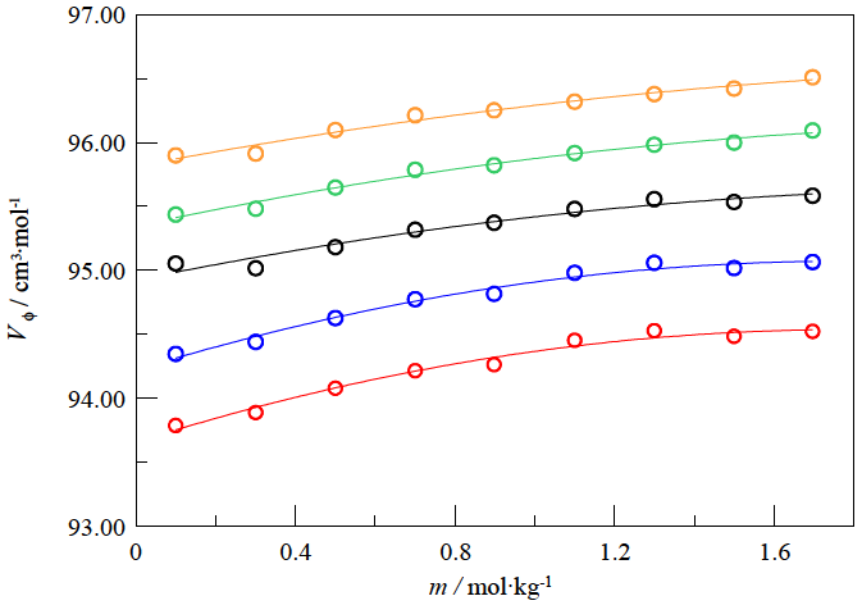
6.2 VOLUME MOLAR APARENTE

Fazendo uso da equação (2), foi possível calcular os volumes molares aparentes dos sistemas de sacarídeos na água e nas diferentes soluções salinas, a diferentes temperaturas.

6.2.1 Sistema xilose

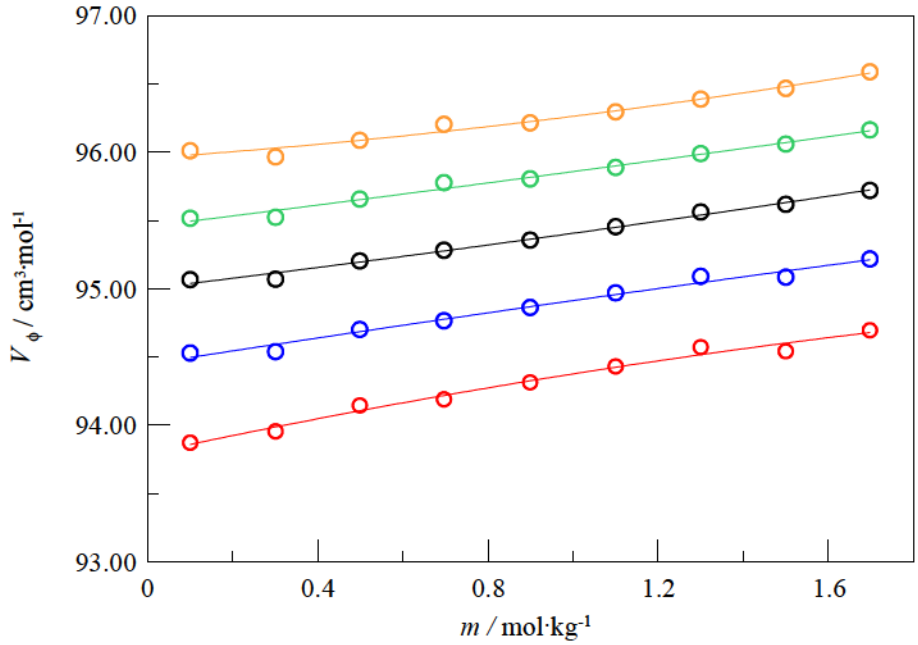
As figuras 30 - 34 apresentam o comportamento do volume molar aparente das soluções de xilose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas.

Figura 30 - Volume molar aparente da xilose em água pura, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



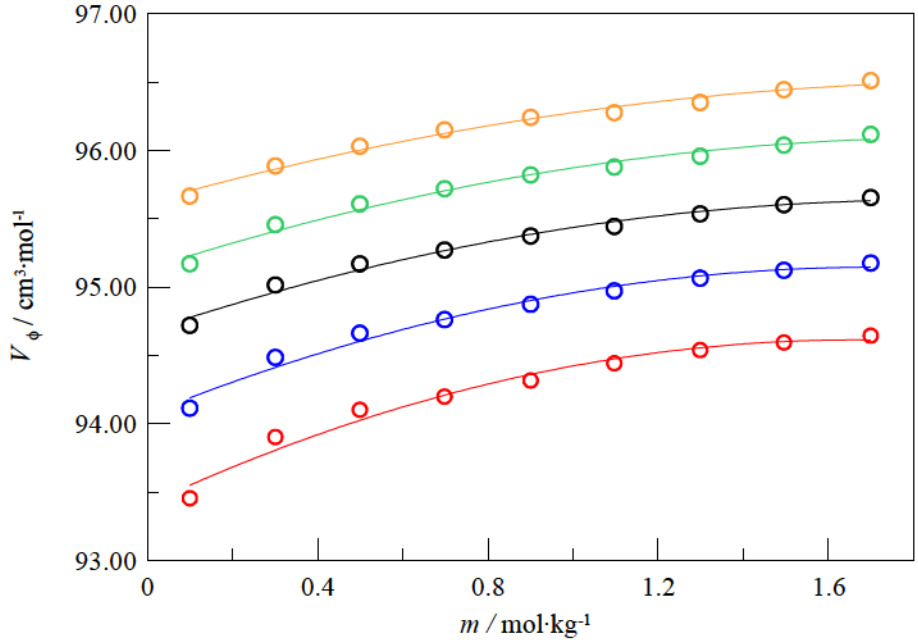
Fonte: Autor

Figura 31 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



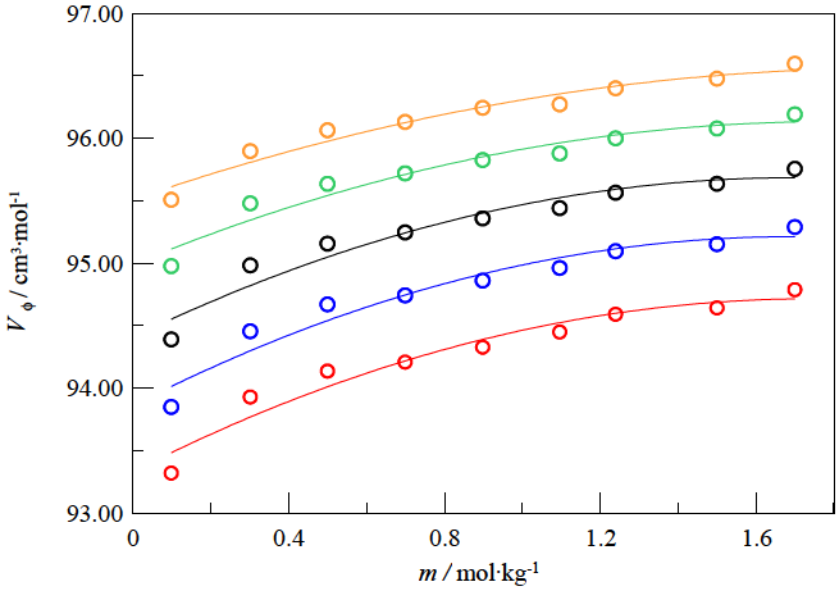
Fonte: Autor

Figura 32 - Volume molar aparente de xilose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



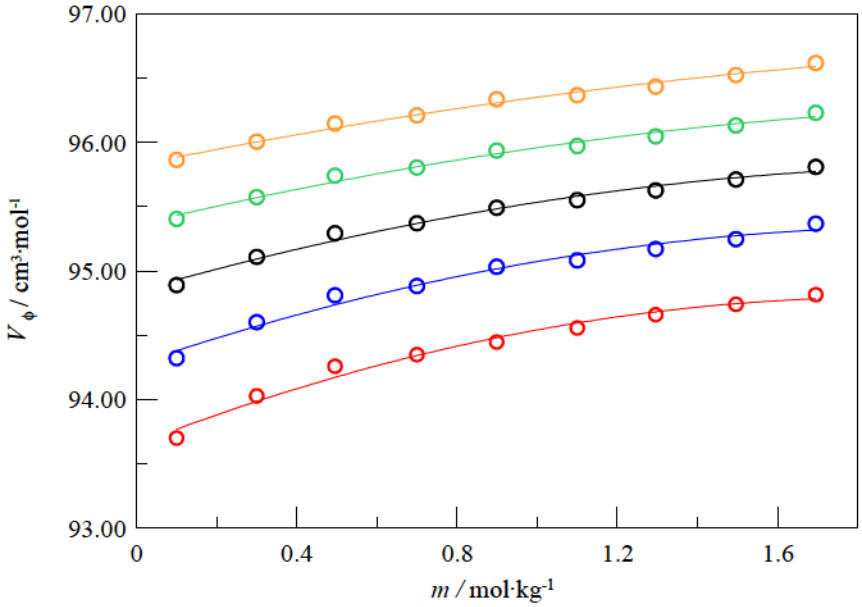
Fonte: Autor

Figura 33 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



Fonte: Autor

Figura 34 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos

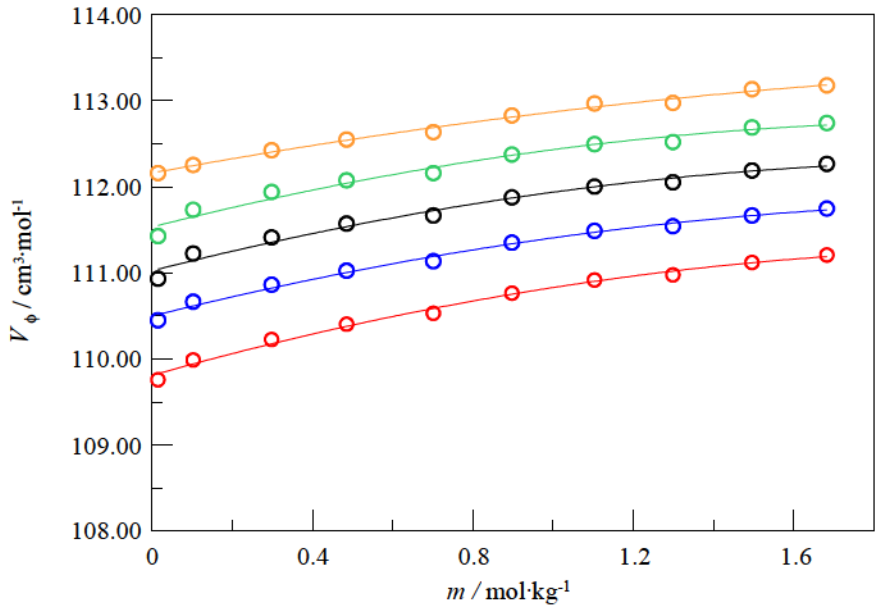


Fonte: Autor

6.2.2 Sistema glicose

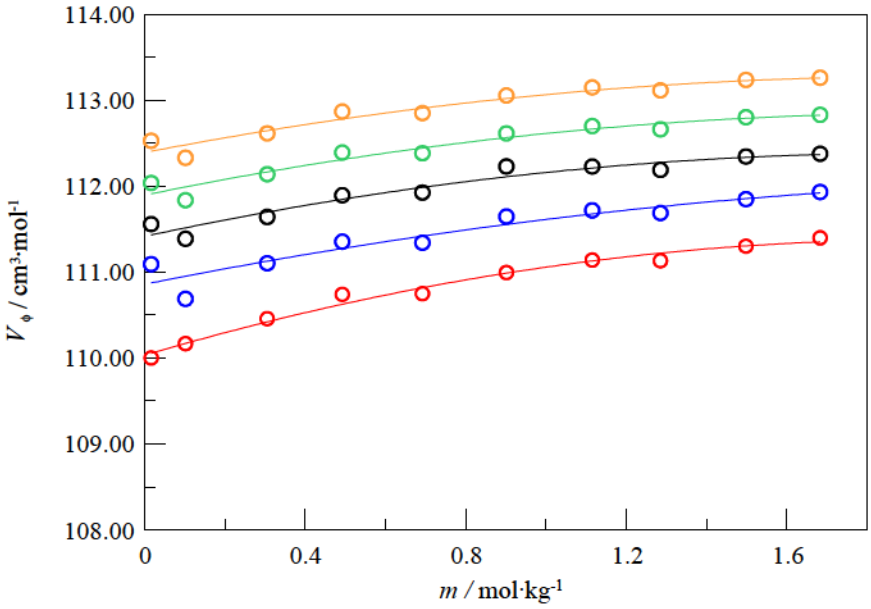
As figuras 35 - 39 apresentam o comportamento do volume molar aparente das soluções de glicose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas.

Figura 35 - Volume molar aparente da glicose em água pura, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



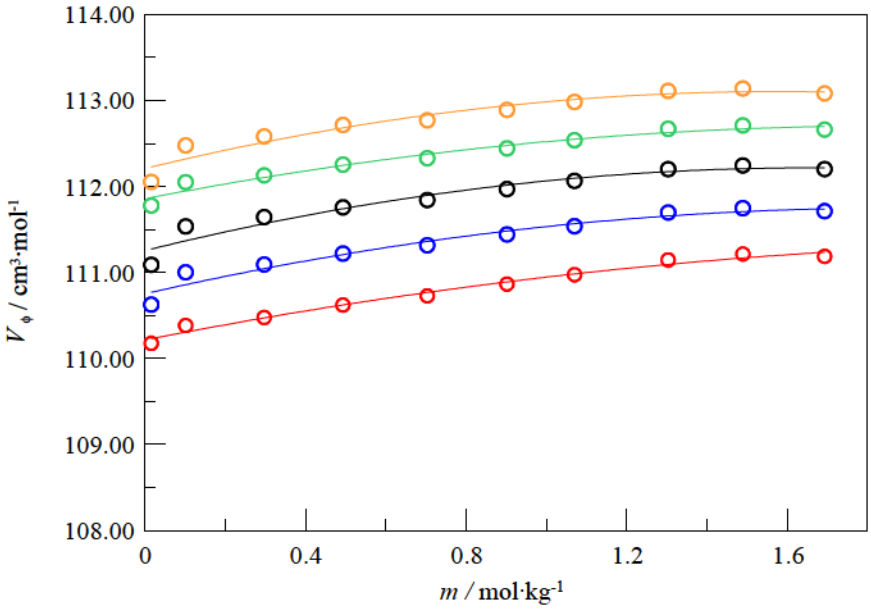
Fonte: Autor

Figura 36 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



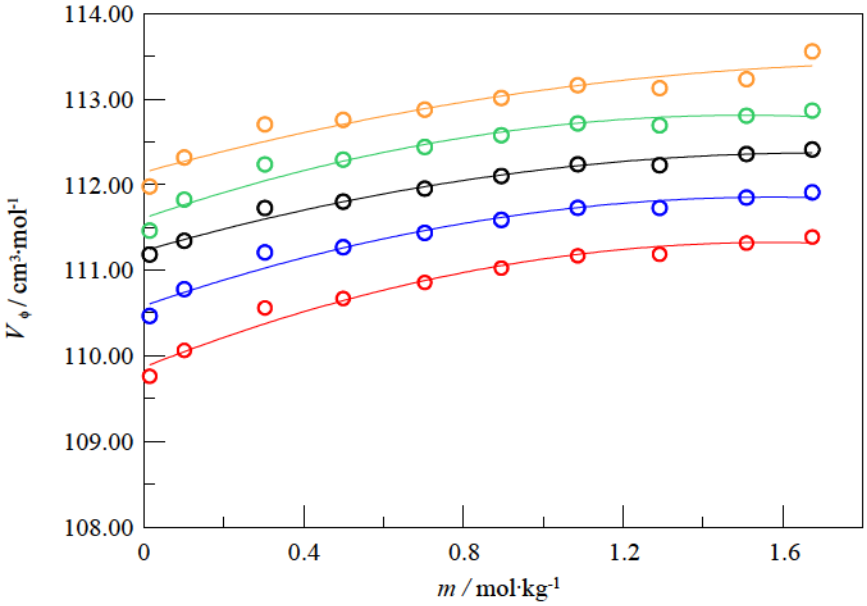
Fonte: Autor

Figura 37 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



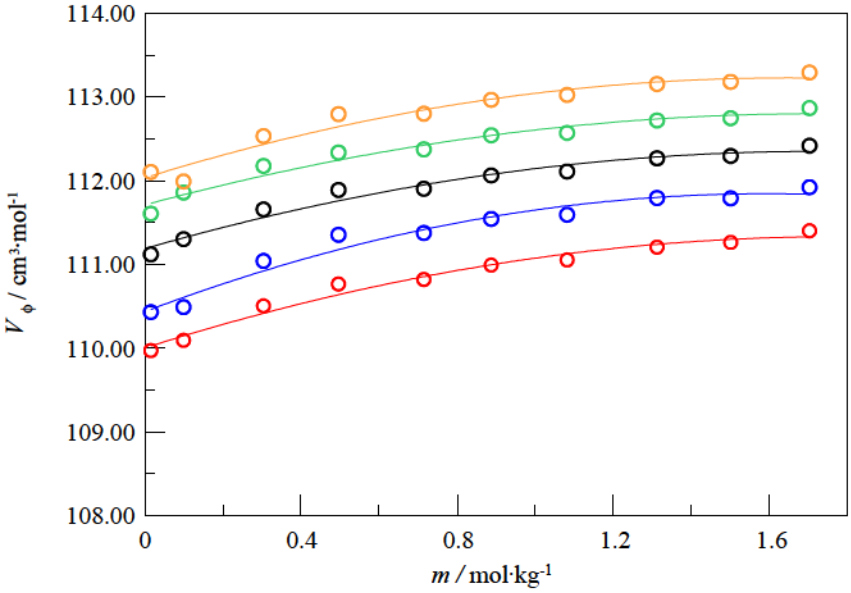
Fonte: Autor

Figura 38 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



Fonte: Autor

Figura 39 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos

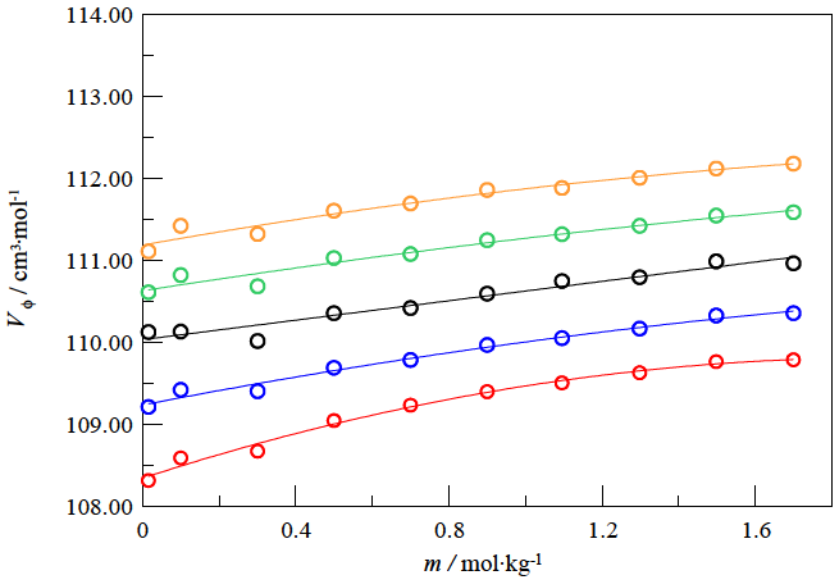


Fonte: Autor

6.2.3 Sistema frutose

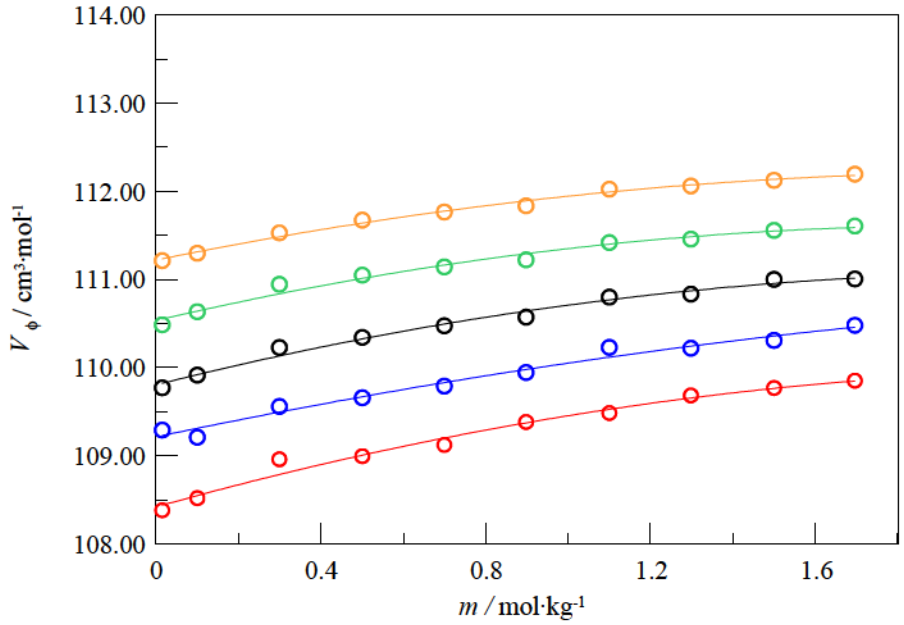
As figuras 40 - 44 apresentam o comportamento do volume molar aparente das soluções de frutose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas.

Figura 40 - Volume molar aparente da frutose em água pura, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



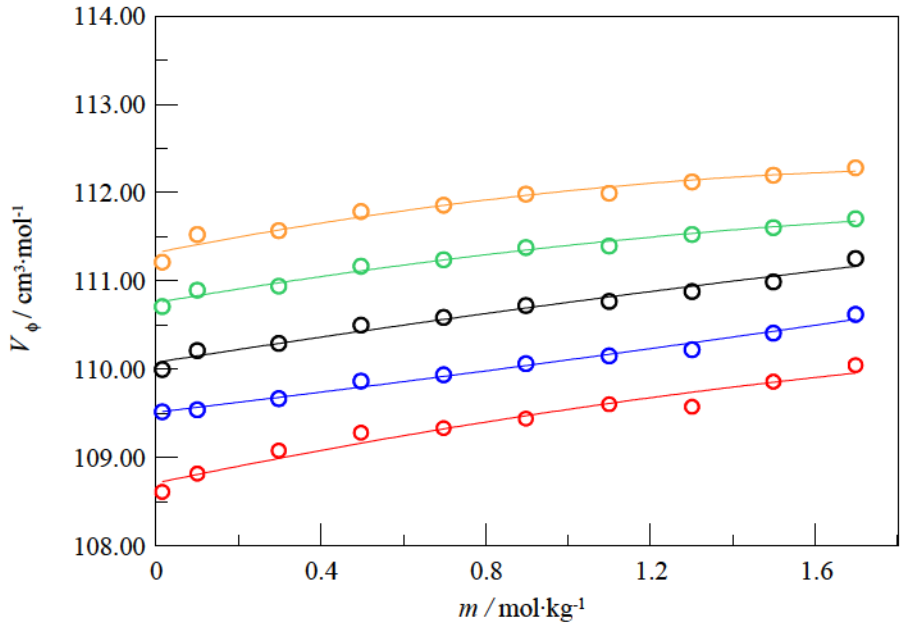
Fonte: Autor

Figura 41 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



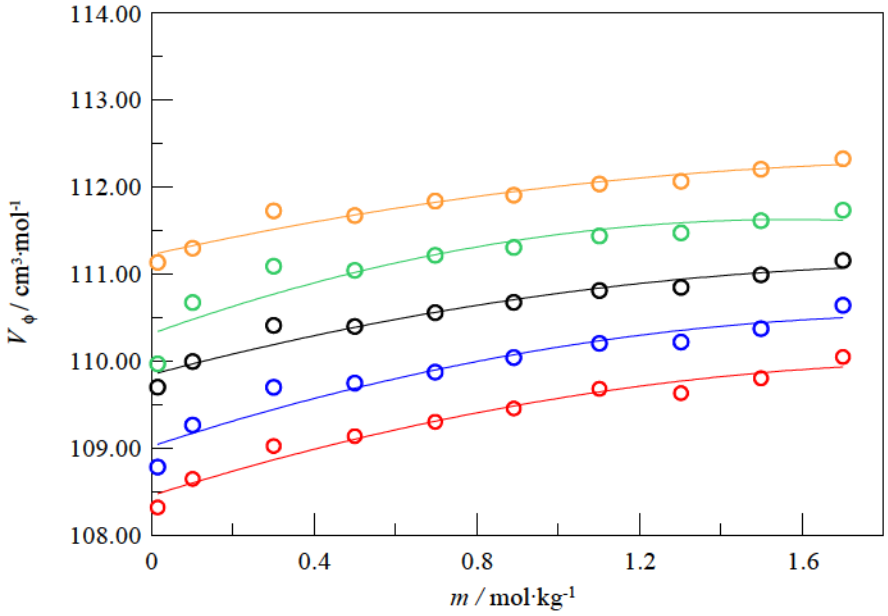
Fonte: Autor

Figura 42 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



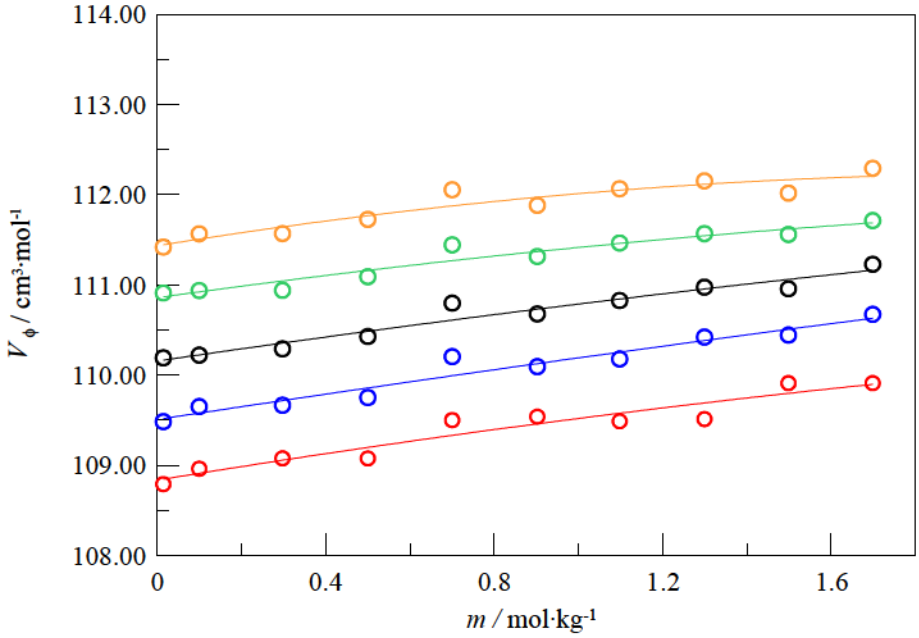
Fonte: Autor

Figura 43 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



Fonte: Autor

Figura 44 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos

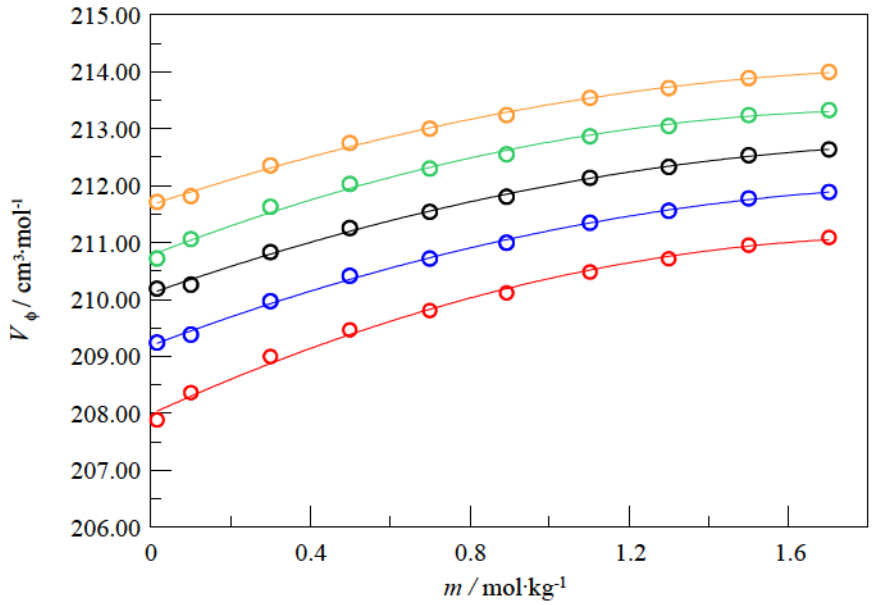


Fonte: Autor

6.2.4 Sistema sacarose

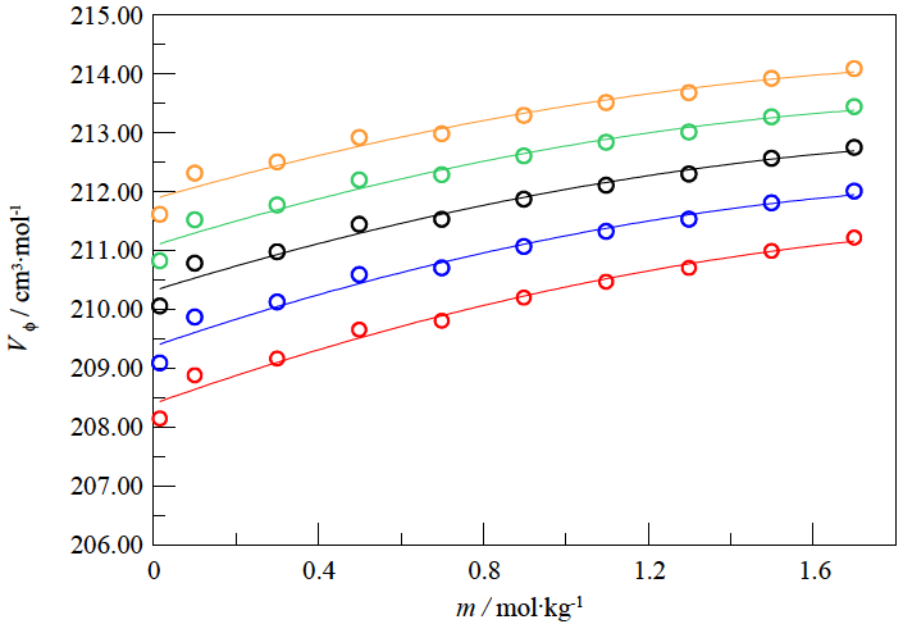
As figuras 45 - 49 apresentam o comportamento do volume molar aparente das soluções de sacarose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas.

Figura 45 - Volume molar aparente da sacarose em água pura, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



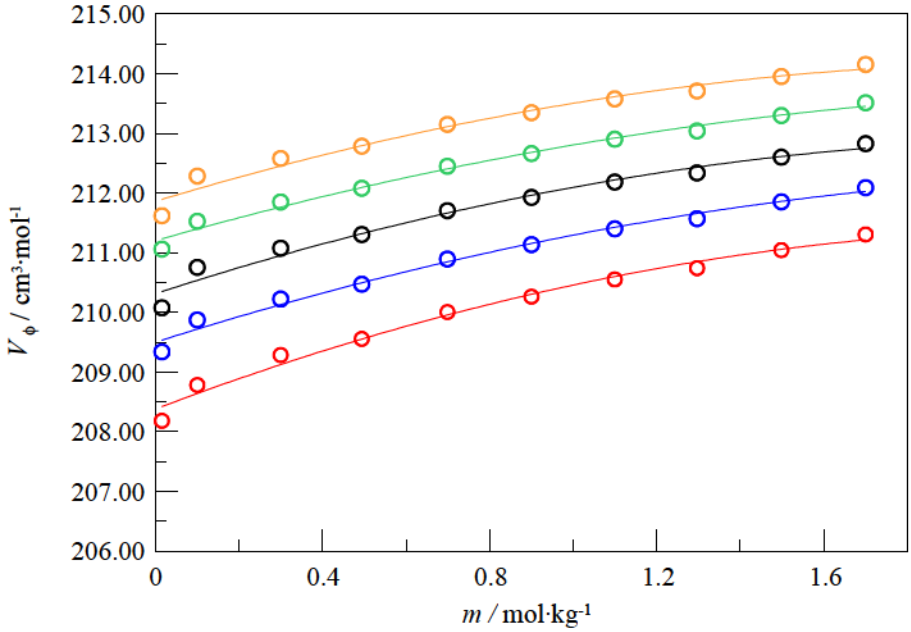
Fonte: Autor

Figura 46 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



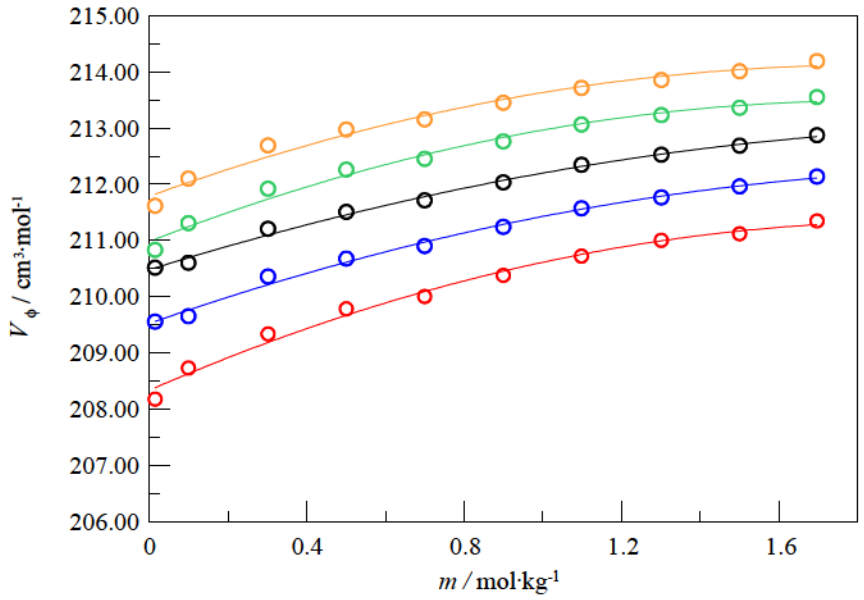
Fonte: Autor

Figura 47 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



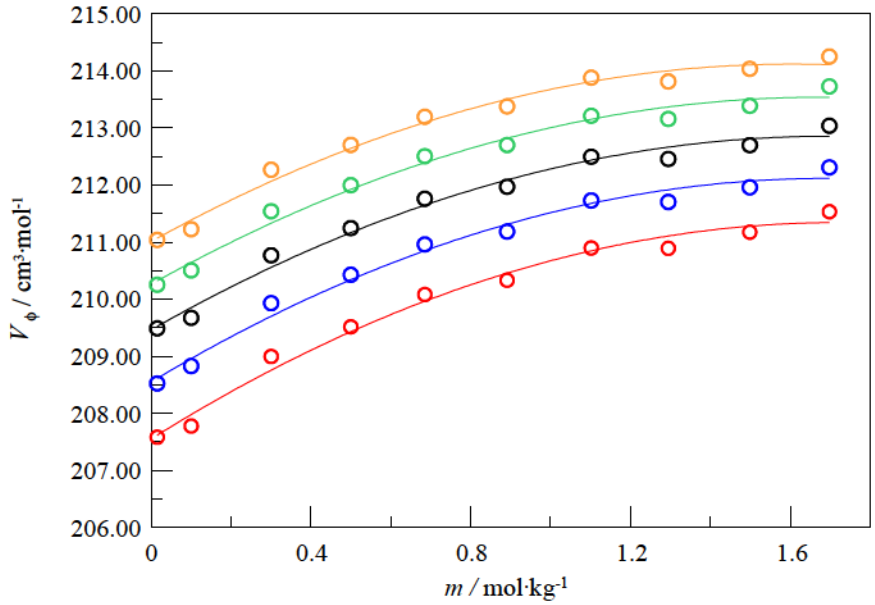
Fonte: Autor

Figura 48 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



Fonte: Autor

Figura 49 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam as tendências dos resultados obtidos



Fonte: Autor

Os valores do volume molar aparente dos sacarídeos aumentaram com o aumento da temperatura para todos os sistemas estudados. Também se pôde observar um valor crescente com o aumento da molalidade do sacarídeo. Observou-se ainda que quanto maior a cadeia carbônica do sacarídeo, maiores foram os valores dos volumes molares aparentes, na seguinte ordem: Sacarose > D(+)-glicose > D-frutose > D(+)-xilose. Esses comportamentos também foram observados por Banipal et al. (2002) e Zhuo et al. (2000).

Os resultados observados no presente trabalho para o volume molar aparente dos sacarídeos em água pura estão em concordância com resultados encontrados por Banipal, Chahal e Banipal (2009).

6.3 VOLUME MOLAR APARENTE À DILUIÇÃO INFINITA

Fazendo uso da equação (20), os valores dos volumes molares aparentes foram correlacionados com a raiz quadrada da molalidade para a obtenção dos volumes molares aparente à diluição infinita. A extrapolação dos valores dos volumes molares aparentes no valor da molalidade igual a zero leva aos valores desejados.

A partir dos valores de volume molar aparente à diluição infinita em água pura e em soluções salinas, foi possível obter o volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina, através da equação (21).

6.3.1 Sistema xilose

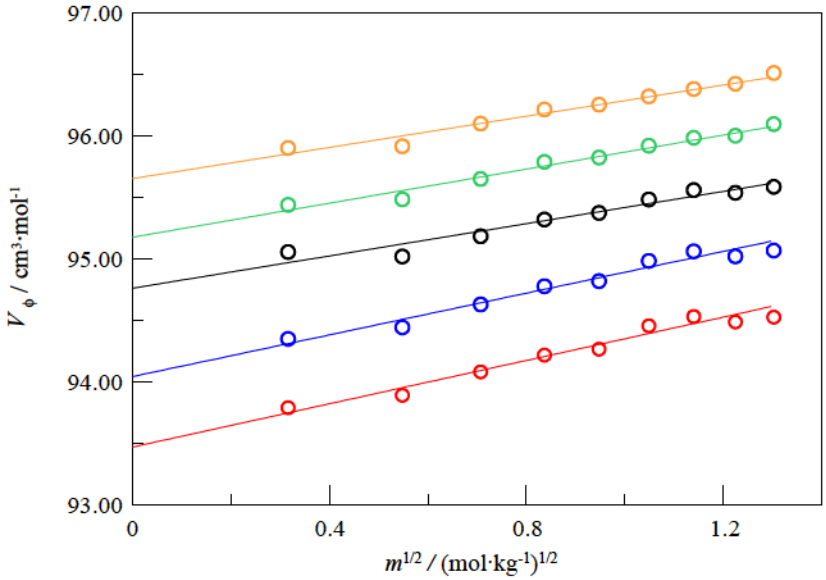
As figuras 50 - 54 apresentam o comportamento da correlação do volume molar aparente das soluções de xilose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, descrita pela equação (20), a diferentes temperaturas.

As tabelas 6, 8, 11, 14 e 17 apresentam as equações que descrevem as correlações do volume molar aparente da xilose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente.

As tabelas 7, 9, 12, 15 e 18 apresentam os valores do volume molar aparente à diluição infinita da xilose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, a diferentes temperaturas.

As tabelas 10, 13, 16 e 19 apresentam os valores dos volumes de transferência da xilose da água para as soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, a diferentes temperaturas.

Figura 50 - Volume molar aparente da xilose em água pura, em função da raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 6 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em água pura, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 93{,}468312610 + 0{,}880018652 \times m^{1/2}$	0,966227
288,15	$V_{\Phi_S} = 94{,}04078753 + 0{,}8474698147 \times m^{1/2}$	0,967552
293,15	$V_{\Phi_S} = 94{,}75891465 + 0{,}655433446 \times m^{1/2}$	0,922451
298,15	$V_{\Phi_S} = 95{,}17313363 + 0{,}6912040499 \times m^{1/2}$	0,970733
303,15	$V_{\Phi_S} = 95{,}64943631 + 0{,}6332285585 \times m^{1/2}$	0,962359

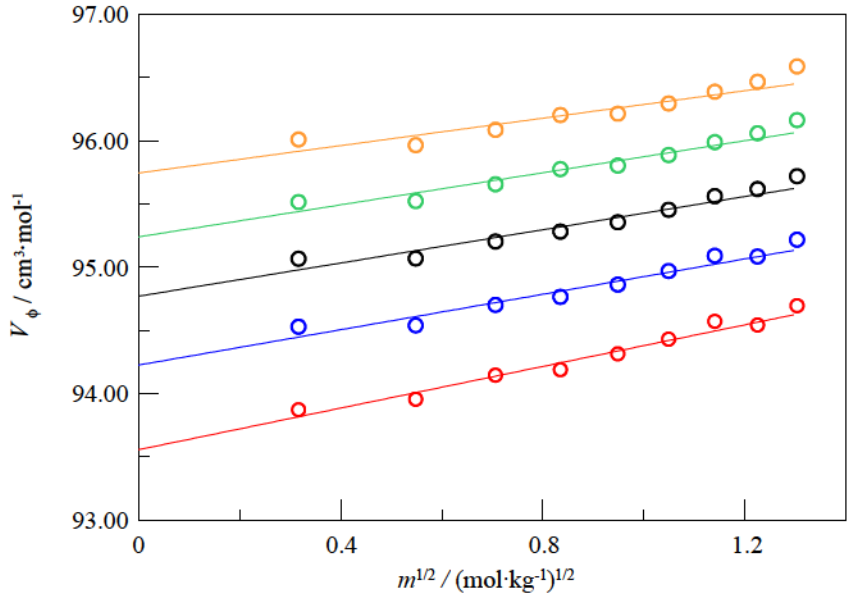
Fonte: Autor

Tabela 7 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose em água pura, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\Phi_S\ (água)}$ / cm³·mol⁻¹
283,15	93,47
288,15	94,04
293,15	94,76
298,15	95,17
303,15	95,65

Fonte: Autor

Figura 51 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 8 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	Equação	R^2
283,15	$V_{\phi,S}$ = 93,55613842 + 0,8232393449 × $m^{3/2}$	0,966357
288,15	$V_{\phi,S}$ = 94,22510111 + 0,6999764481 × $m^{3/2}$	0,944508
293,15	$V_{\phi,S}$ = 94,769786930 + 0,6569514234 × $m^{3/2}$	0,938504
298,15	$V_{\phi,S}$ = 95,23868226 + 0,6344781984 × $m^{3/2}$	0,947138
303,15	$V_{\phi,S}$ = 95,74394722 + 0,5422793574 × $m^{3/2}$	0,896551

Fonte: Autor

Tabela 9 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose, em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi,S\ (solução\ salina)}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	93,56
288,15	94,23
293,15	94,77
298,15	95,24
303,15	95,74

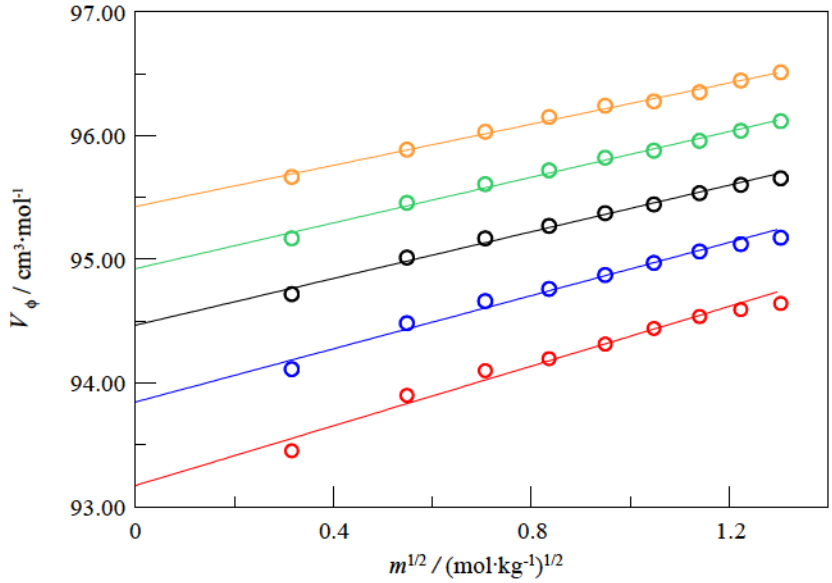
Fonte: Autor

Tabela 10 - Volumes de transferência da xilose da água para solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi,S\ (solução\ salina)}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{\phi,S(água)}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	93,56	93,47	0,09
288,15	94,23	94,04	0,19
293,15	94,77	94,76	0,01
298,15	95,24	95,17	0,07
303,15	95,74	95,65	0,09

Fonte: Autor

Figura 52 - Volume molar aparente de xilose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1} em função da raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 11 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 93{,}17200908 + 1{,}2068371260 \times m^{1/2}$	0,976371
288,15	$V_{\Phi_S} = 93{,}84727147 + 1{,}0752147730 \times m^{1/2}$	0,983900
293,15	$V_{\Phi_S} = 94{,}46835562 + 0{,}9433099399 \times m^{1/2}$	0,991438
298,15	$V_{\Phi_S} = 94{,}92501819 + 0{,}9238517428 \times m^{1/2}$	0,990526
303,15	$V_{\Phi_S} = 95{,}42722516 + 0{,}8324852397 \times m^{1/2}$	0,992779

Fonte: Autor

Tabela 12 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	93,17
288,15	93,85
293,15	94,47
298,15	94,93
303,15	95,43

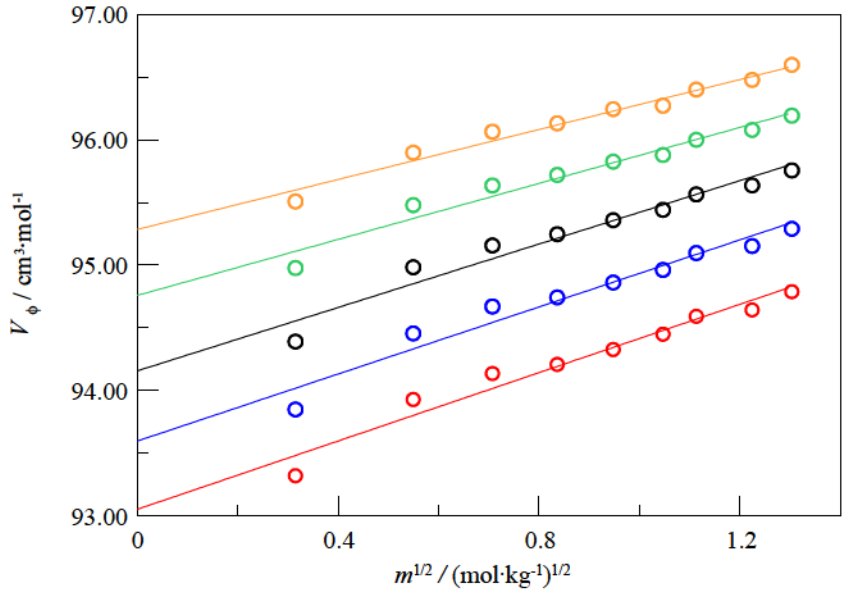
Fonte: Autor

Tabela 13 - Volumes de transferência da xilose da água para solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	93,17	93,47	-0,30
288,15	93,85	94,04	-0,19
293,15	94,47	94,76	-0,29
298,15	94,93	95,17	-0,24
303,15	95,43	95,65	-0,22

Fonte: Autor

Figura 53 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 14 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em solução salina 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 93{,}05469218 + 1{,}360518717 \times m^{1/2}$	0,949401
288,15	$V_{\Phi_S} = 93{,}59864216 + 1{,}335136356 \times m^{1/2}$	0,944300
293,15	$V_{\Phi_S} = 94{,}15792592 + 1{,}262496610 \times m^{1/2}$	0,943054
298,15	$V_{\Phi_S} = 94{,}75903921 + 1{,}114745360 \times m^{1/2}$	0,950732
303,15	$V_{\Phi_S} = 95{,}28474515 + 0{,}9948127956 \times m^{1/2}$	0,966582

Fonte: Autor

Tabela 15 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	93,05
288,15	93,60
293,15	94,16
298,15	94,76
303,15	95,28

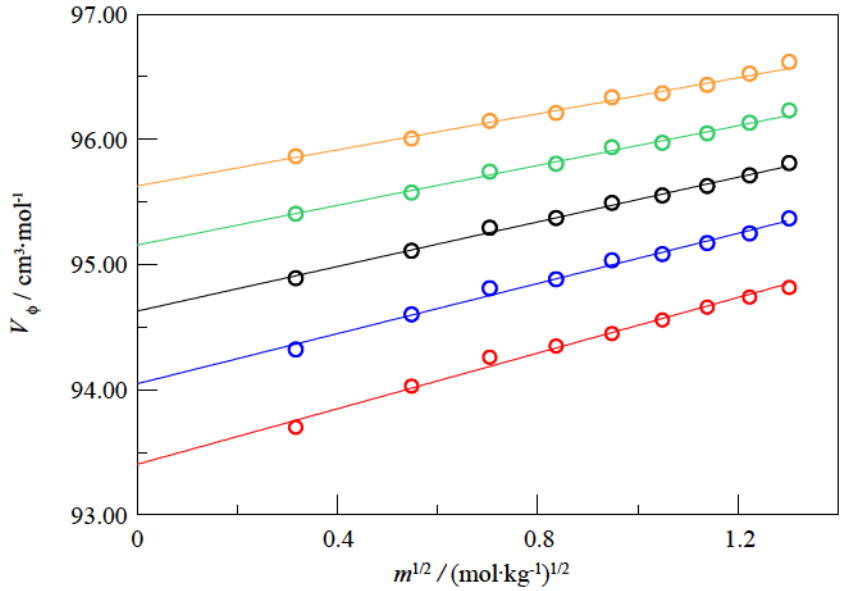
Fonte: Autor

Tabela 16 - Volumes de transferência da xilose da água para solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{\phi S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	93,05	93,47	-0,42
288,15	93,60	94,04	-0,44
293,15	94,16	94,76	-0,60
298,15	94,76	95,17	-0,41
303,15	95,28	95,65	-0,37

Fonte: Autor

Figura 54 - Volume molar aparente da xilose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da xilose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 17 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de xilose em solução salina 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 93{,}40430426 + 1{,}110372272 \times m^{1/2}$	0,988388
288,15	$V_{\Phi_S} = 94{,}04792301 + 1{,}001068620 \times m^{1/2}$	0,988793
293,15	$V_{\Phi_S} = 94{,}62813428 + 0{,}8907899822 \times m^{1/2}$	0,994974
298,15	$V_{\Phi_S} = 95{,}15541006 + 0{,}7944810361 \times m^{1/2}$	0,994196
303,15	$V_{\Phi_S} = 95{,}62759877 + 0{,}7201919857 \times m^{1/2}$	0,993732

Fonte: Autor

Tabela 18 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da xilose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	93,40
288,15	94,05
293,15	94,63
298,15	95,16
303,15	95,63

Fonte: Autor

Tabela 19 - Volumes de transferência da xilose da água para solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	93,40	93,47	-0,07
288,15	94,05	94,04	0,01
293,15	94,63	94,76	-0,13
298,15	95,16	95,17	-0,01
303,15	95,63	95,65	-0,02

Fonte: Autor

6.3.2 Sistema glicose

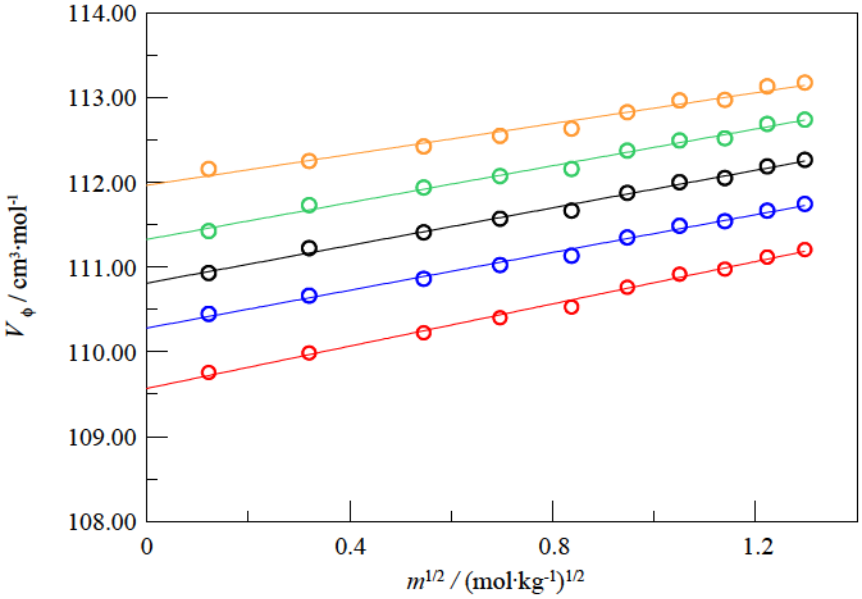
As figuras 55 – 59 apresentam o comportamento da correlação do volume molar aparente das soluções de glicose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, descrita pela equação (20), a diferentes temperaturas.

As tabelas 20, 22, 25, 28 e 31 apresentam as equações que descrevem as correlações do volume molar aparente da glicose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, como uma função da molalidade.

As tabelas 21, 23, 26, 29 e 32 apresentam os valores do volume molar aparente à diluição infinita da glicose em água pura para as soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, a diferentes temperaturas.

As tabelas 24, 27, 30 e 33 apresentam os valores dos volumes de transferência da glicose da água para as soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, a diferentes temperaturas.

Figura 55 - Volume molar aparente da glicose em água pura, em função da raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 20 - Equações de ajuste usando a equação (20) para soluções de glicose em água, a diferentes temperaturas

T / K	Equação	R^2
283,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}5673115 + 1{,}249262703 \times m^{1/2}$	0,993924
288,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}2804864 + 1{,}116325297 \times m^{1/2}$	0,992930
293,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}8119178 + 1{,}110826685 \times m^{1/2}$	0,993451
298,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}3281573 + 1{,}086916261 \times m^{1/2}$	0,990842
303,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}9677584 + 0{,}9105104071 \times m^{1/2}$	0,977600

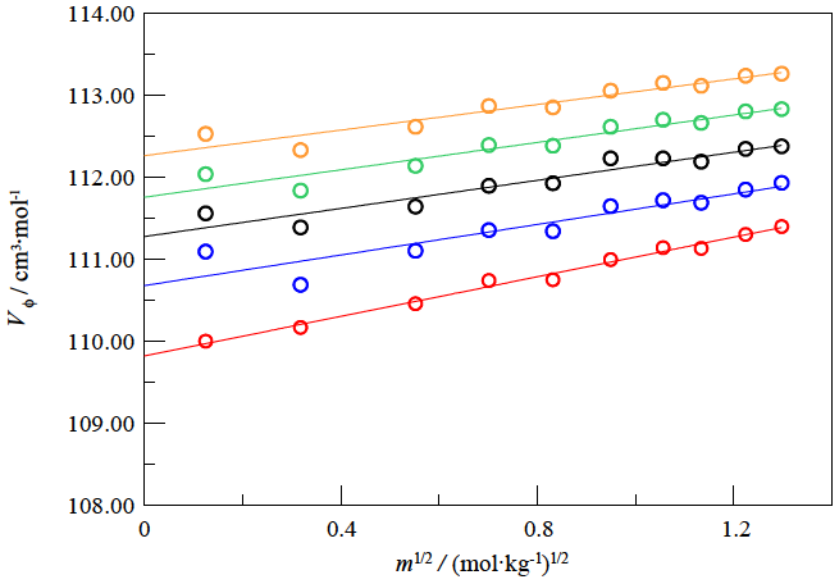
Fonte: Autor

Tabela 21 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose em água a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\Phi_S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	109,57
288,15	110,28
293,15	110,81
298,15	111,33
303,15	111,97

Fonte: Autor

Figura 56 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 22 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de glicose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	Equação	R^2
283,15	$V_{\phi S} = 109{,}8206630 + 1{,}207331930 \times m^{0{,}5}$	0,989947
288,15	$V_{\phi S} = 110{,}6794562 + 0{,}9318786449 \times m^{0{,}5}$	0,852961
293,15	$V_{\phi S} = 111{,}2778461 + 0{,}8563953464 \times m^{0{,}5}$	0,911798
298,15	$V_{\phi S} = 111{,}7572956 + 0{,}8352226793 \times m^{0{,}5}$	0,915359
303,15	$V_{\phi S} = 112{,}2639286 + 0{,}7800945314 \times m^{0{,}5}$	0,910752

Fonte: Autor

Tabela 23 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose, em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	109,82
288,15	110,68
293,15	111,28
298,15	111,76
303,15	112,26

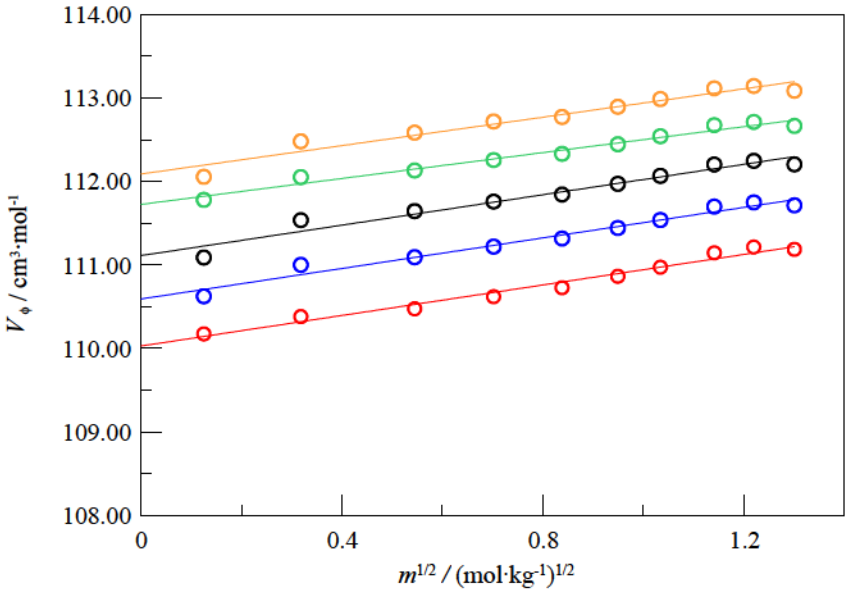
Fonte: Autor

Tabela 24 - Volumes de transferência da glicose da água para solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{\phi S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	109,82	109,57	0,25
288,15	110,68	110,28	0,40
293,15	111,28	110,81	0,47
298,15	111,76	111,33	0,43
303,15	112,26	111,97	0,29

Fonte: Autor

Figura 57 - Volume molar aparente de glicose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 25 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de glicose em solução salina 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}0311043 + 0{,}9120872508 \times m^{1/2}$	0,977049
288,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}5932053 + 0{,}9128070927 \times m^{1/2}$	0,972027
293,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}1123819 + 0{,}9089796748 \times m^{1/2}$	0,957151
298,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}7243613 + 0{,}7739532415 \times m^{1/2}$	0,974530
303,15	$V_{\Phi_S} = 112{,}0878014 + 0{,}8481789738 \times m^{1/2}$	0,949766

Fonte: Autor

Tabela 26 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose, em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	110,03
288,15	110,59
293,15	111,11
298,15	111,73
303,15	112,09

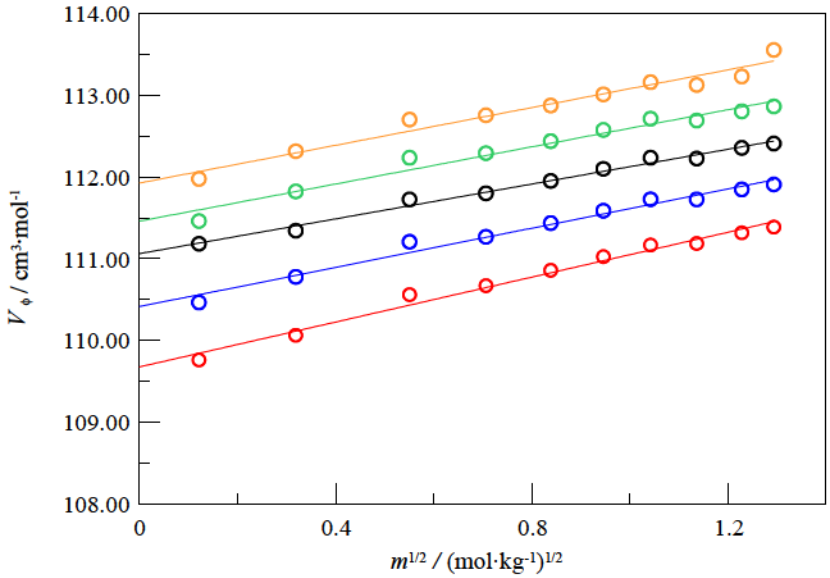
Fonte: Autor

Tabela 27 - Volumes de transferência da glicose da água para solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	110,03	109,57	0,46
288,15	110,59	110,28	0,31
293,15	111,11	110,81	0,30
298,15	111,73	111,33	0,40
303,15	112,09	111,97	0,12

Fonte: Autor

Figura 58 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 28 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de glicose em solução salina 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}6757183 + 1{,}374039274 \times m^{1/2}$	0,984240
288,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}4149543 + 1{,}19924625 \times m^{1/2}$	0,980328
293,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}0634013 + 1{,}064582677 \times m^{1/2}$	0,988744
298,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}4609031 + 1{,}137141699 \times m^{1/2}$	0,967556
303,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}92786060 + 1{,}154712780 \times m^{1/2}$	0,961654

Fonte: Autor

Tabela 29 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	109,68
288,15	110,41
293,15	111,06
298,15	111,46
303,15	111,93

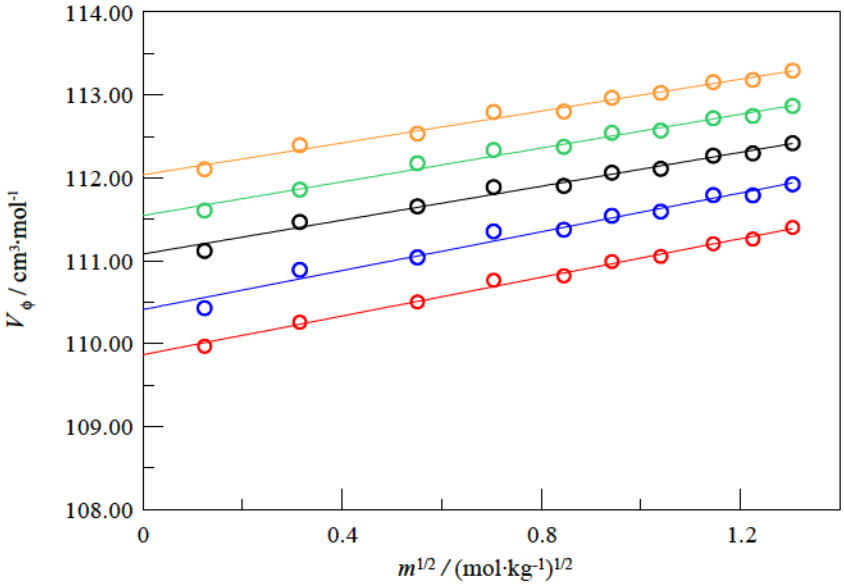
Fonte: Autor

Tabela 30 - Volumes de transferência da glicose da água para solução salina de 0,075 mol·kg^{-1} a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	109,68	109,57	0,11
288,15	110,41	110,28	0,13
293,15	111,06	110,81	0,25
298,15	111,46	111,33	0,13
303,15	111,93	111,97	-0,04

Fonte: Autor

Figura 59 - Volume molar aparente da glicose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da glicose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 31 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de glicose em solução salina 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}8679801 + 1{,}165235481 \times m^{1/2}$	0,993664
288,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}4133824 + 1{,}170508809 \times m^{1/2}$	0,974457
293,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}0814514 + 1{,}021523296 \times m^{1/2}$	0,983161
298,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}5457011 + 1{,}017110369 \times m^{1/2}$	0,986089
303,15	$V_{\Phi_S} = 112{,}0367438 + 0{,}9606444712 \times m^{1/2}$	0,986282

Fonte: Autor

Tabela 32 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da glicose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	109,87
288,15	110,41
293,15	111,08
298,15	111,55
303,15	112,04

Fonte: Autor

Tabela 33 - Volumes de transferência da glicose da água para solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	109,87	109,57	0,30
288,15	110,41	110,28	0,13
293,15	111,08	110,81	0,27
298,15	111,55	111,33	0,22
303,15	112,04	111,97	0,07

Fonte: Autor

6.3.3 Sistema frutose

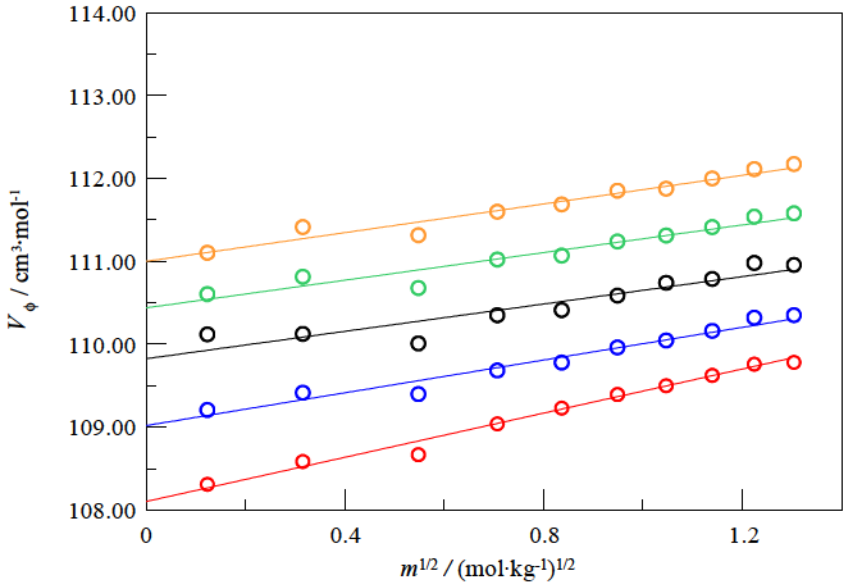
As figuras 60 – 64 apresentam o comportamento da correlação do volume molar aparente das soluções de frutose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, descrita pela equação (20), a diferentes temperaturas.

As tabelas 34, 36, 39, 42 e 45 apresentam as equações que descrevem as correlações do volume molar aparente da frutose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, como uma função da molalidade.

As tabelas 35, 37, 40, 43 e 46 apresentam os valores do volume molar aparente à diluição infinita da frutose em água pura e nas as soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, a diferentes temperaturas.

As tabelas 38, 41, 44 e 47 apresentam os valores dos volumes de transferência da frutose da água pura para as soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, a diferentes temperaturas.

Figura 60 - Volume molar aparente da frutose em água pura, em função da raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 34 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em água pura, a diferentes temperaturas

T / K	Equação	R^2
283,15	$V_{\Phi_S} = 108{,}1024810 + 1{,}333513561 \times m^{1/2}$	0,983148
288,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}0189271 + 0{,}988251292 \times m^{1/2}$	0,954919
293,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}8258438 + 0{,}8259253761 \times m^{1/2}$	0,837918
298,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}4398009 + 0{,}8342815669 \times m^{1/2}$	0,912705
303,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}0014242 + 0{,}8654184481 \times m^{1/2}$	0,942356

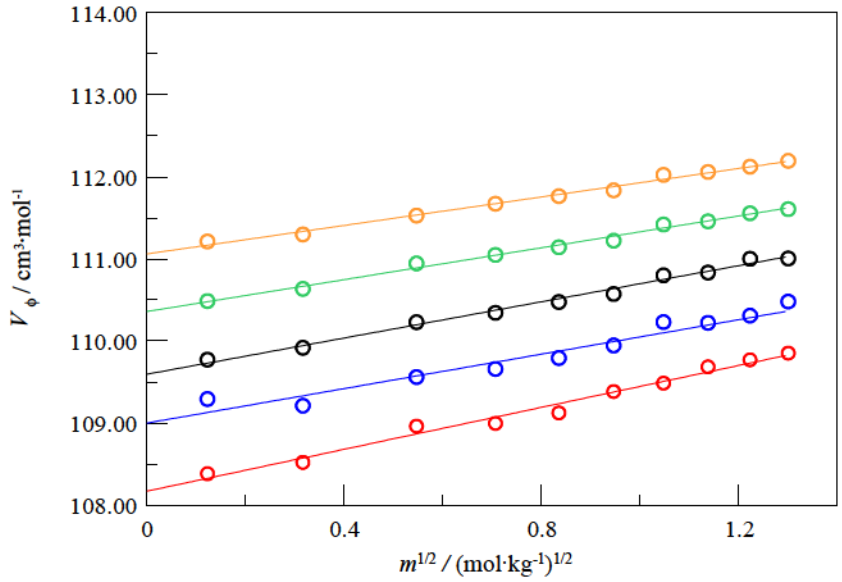
Fonte: Autor

Tabela 35 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em água pura, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\Phi_S(água)}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	108,61
288,15	109,02
293,15	109,83
298,15	110,44
303,15	111,00

Fonte: Autor

Figura 61 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 36 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	Equação	R^2
283,15	$V_{\phi S} = 108{,}1711116 + 1{,}274260363 \times m^{3/2}$	0,979186
288,15	$V_{\phi S} = 109{,}0008022 + 1{,}048057623 \times m^{3/2}$	0,942349
293,15	$V_{\phi S} = 109{,}5958791 + 1{,}101218514 \times m^{3/2}$	0,988148
298,15	$V_{\phi S} = 110{,}36045840 + 0{,}9685803666 \times m^{3/2}$	0,990646
303,15	$V_{\phi S} = 111{,}06201900 + 0{,}8657703616 \times m^{3/2}$	0,989193

Fonte: Autor

Tabela 37 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\,(\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	108,17
288,15	109,00
293,15	109,60
298,15	110,36
303,15	111,06

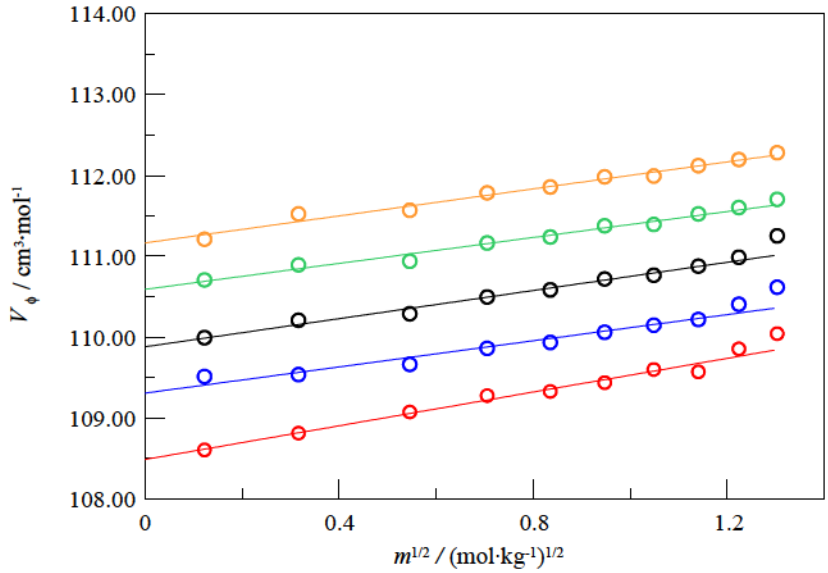
Fonte: Autor

Tabela 38 - Volumes de transferência da frutose da água para solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\,(\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{\phi S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	108,17	108,61	-0,44
288,15	109,00	109,02	-0,02
293,15	109,60	109,83	-0,23
298,15	110,36	110,44	-0,08
303,15	111,06	111,00	0,06

Fonte: Autor

Figura 62 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 39 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 108{,}4886280 + 1{,}0420891660 \times m^{1/2}$	0,979658
288,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}3093872 + 0{,}8087017296 \times m^{1/2}$	0,955806
293,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}8814328 + 0{,}8706472827 \times m^{1/2}$	0,987918
298,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}5921329 + 0{,}8010882305 \times m^{1/2}$	0,980382
303,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}1660190 + 0{,}8345756620 \times m^{1/2}$	0,976572

Fonte: Autor

Tabela 40 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	108,49
288,15	109,31
293,15	109,88
298,15	110,59
303,15	111,17

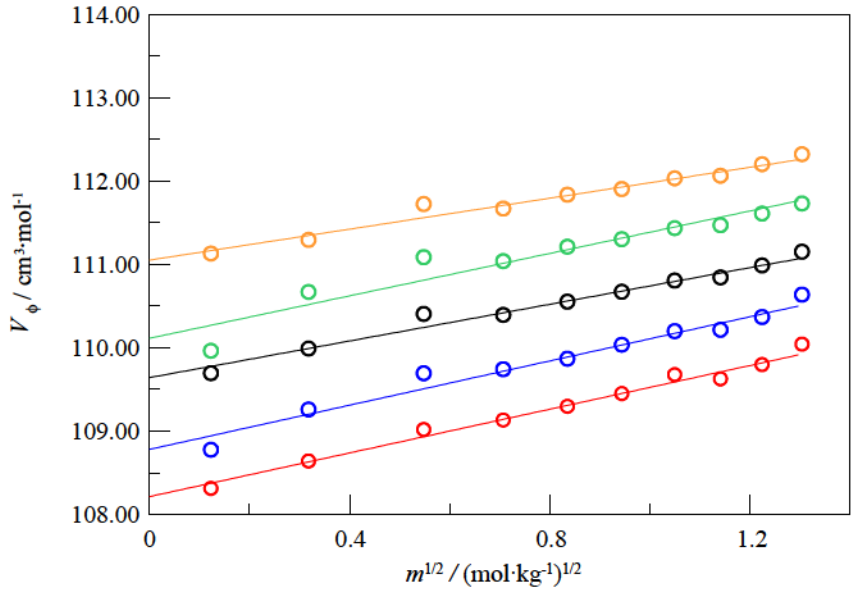
Fonte: autor

Tabela 41 - Volumes de transferência da frutose da água para solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{\phi S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	108,49	108,61	-0,12
288,15	109,31	109,02	0,29
293,15	109,88	109,83	0,06
298,15	110,59	110,44	0,15
303,15	111,17	111,00	0,16

Fonte: Autor

Figura 63 - Volume molar aparente da frutose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 42 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 108{,}2164866 + 1{,}309926922 \times m^{1/2}$	0,986549
288,15	$V_{\Phi_S} = 108{,}7827294 + 1{,}324918762 \times m^{1/2}$	0,963775
293,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}6428696 + 1{,}098403732 \times m^{1/2}$	0,974167
298,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}1144719 + 1{,}271212284 \times m^{1/2}$	0,898545
303,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}0513329 + 0{,}9270363629 \times m^{1/2}$	0,965041

Fonte: Autor

Tabela 43 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	108,22
288,15	108,78
293,15	109,64
298,15	110,11
303,15	111,05

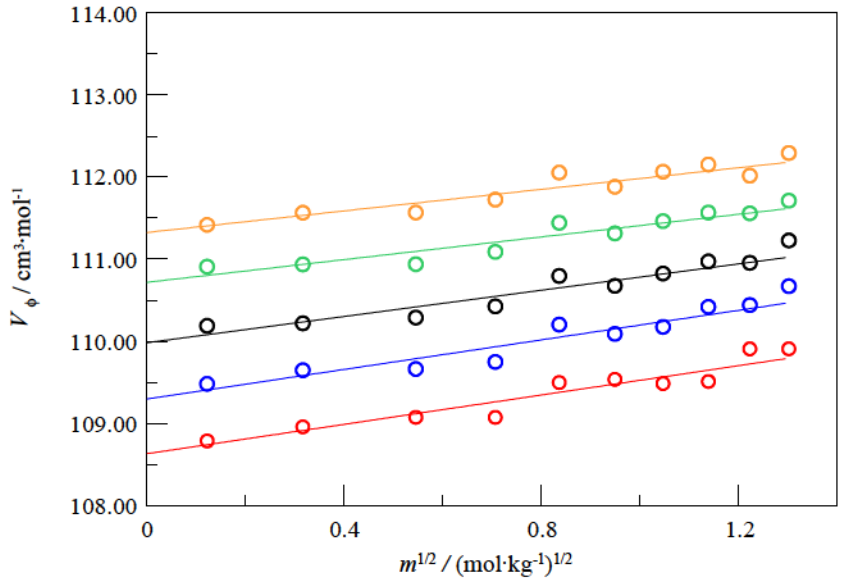
Fonte: Autor

Tabela 44 - Volumes de transferência da frutose da água para solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{\phi S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	108,22	108,61	-0,40
288,15	108,78	109,02	-0,24
293,15	109,64	109,83	-0,18
298,15	110,11	110,44	-0,33
303,15	111,05	111,00	0,05

Fonte: Autor

Figura 64 - Volume molar aparente de frutose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função da raiz quadrada da molalidade da frutose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 45 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de frutose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 108{,}6122916 + 0{,}9311400528 \times m^{1/2}$	0,904005
288,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}2621412 + 0{,}9684550774 \times m^{1/2}$	0,908422
293,15	$V_{\Phi_S} = 109{,}9462747 + 0{,}8695622125 \times m^{1/2}$	0,909196
298,15	$V_{\Phi_S} = 110{,}7021611 + 0{,}7227344642 \times m^{1/2}$	0,895075
303,15	$V_{\Phi_S} = 111{,}3058293 + 0{,}6949553116 \times m^{1/2}$	0,887148

Fonte: Autor

Tabela 46 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da frutose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	108,61
288,15	109,26
293,15	109,95
298,15	110,70
303,15	111,31

Fonte: Autor

Tabela 47 - Volumes de transferência da frutose da água para solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{\phi S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	108,61	108,61	0,00
288,15	109,26	109,02	0,24
293,15	109,95	109,83	0,12
298,15	110,70	110,44	0,26
303,15	111,31	111,00	0,30

Fonte: Autor

6.3.4 Sistema sacarose

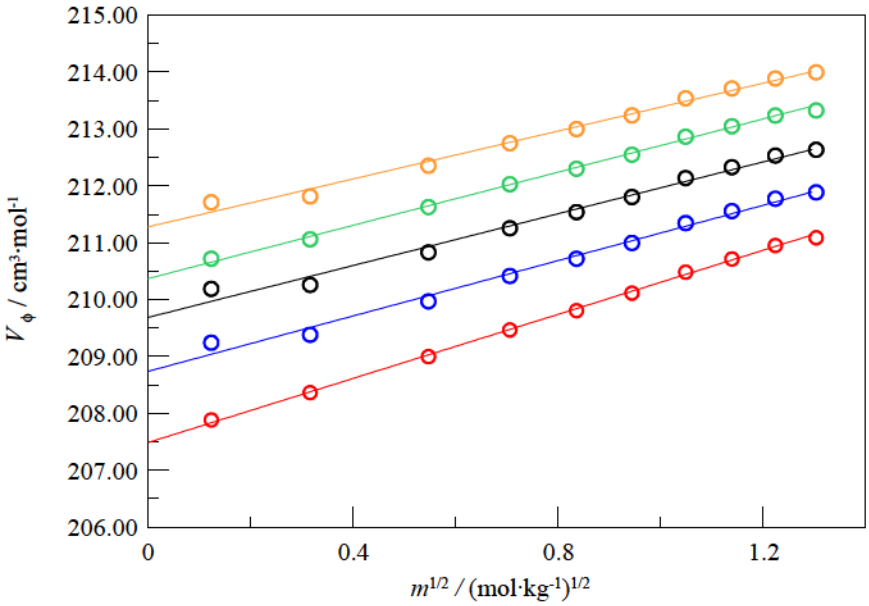
As figuras 65 – 69 apresentam o comportamento da correlação do volume molar aparente das soluções de sacarose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, descrita pela equação (20), a diferentes temperaturas.

As tabelas 48, 50, 53, 56 e 59 apresentam as equações que descrevem as correlações do volume molar aparente da sacarose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, como uma função da molalidade.

As tabelas 49, 51, 54, 57 e 60 apresentam os valores do volume molar aparente à diluição infinita da sacarose em água pura e nas soluções salinas de concentração de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, a diferentes temperaturas.

As tabelas 52, 55, 58 e 61 apresentam os valores dos volumes de transferência da sacarose da água para as soluções salinas de concentração de solução salina de 0,025, 0,05, 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}, respectivamente, a diferentes temperaturas.

Figura 65 - Volume molar aparente da sacarose em água pura, em função da raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 48 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em água pura, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 207{,}4873333 + 2{,}815818305 \times m^{1/2}$	0,999079
288,15	$V_{\Phi_S} = 208{,}7399586 + 2{,}430522499 \times m^{1/2}$	0,987895
293,15	$V_{\Phi_S} = 209{,}6882226 + 2{,}276753968 \times m^{1/2}$	0,983985
298,15	$V_{\Phi_S} = 210{,}3706134 + 2{,}337375552 \times m^{1/2}$	0,998359
303,15	$V_{\Phi_S} = 211{,}2802017 + 2{,}103665236 \times m^{1/2}$	0,988151

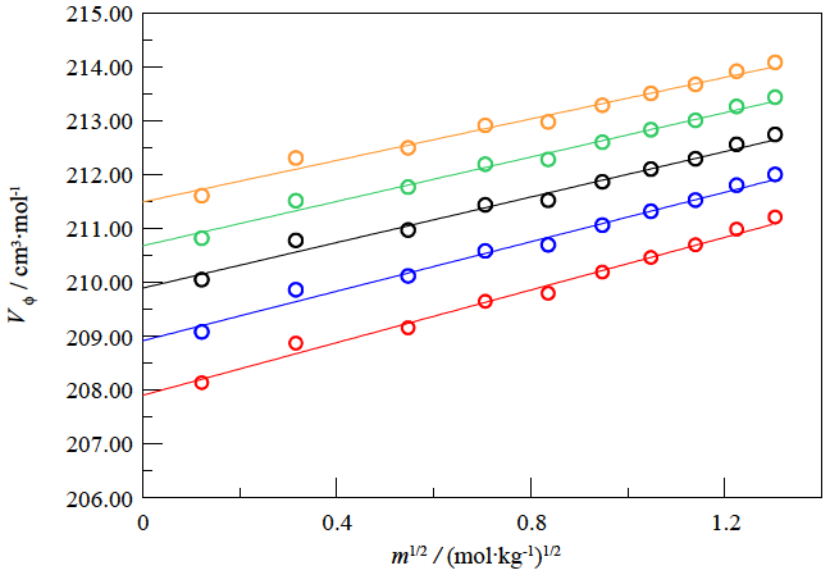
Fonte: Autor

Tabela 49 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em água pura, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\Phi S(água)}$ / cm³·mol⁻¹
283,15	207,49
288,15	208,74
293,15	209,69
298,15	210,37
303,15	211,28

Fonte: Autor

Figura 66 - Volume molar aparente de sacarose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 50 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em solução salina 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\square S} = 207{,}9097146 + 2{,}442061586 \times m^{\square\square\square}$	0,988119
288,15	$V_{\square S} = 208{,}9221077 + 2{,}294752724 \times m^{\square\square\square}$	0,984680
293,15	$V_{\square S} = 209{,}8992184 + 2{,}110636197 \times m^{\square\square\square}$	0,982142
298,15	$V_{\square S} = 210{,}6829083 + 2{,}058495059 \times m^{\square\square\square}$	0,985356
303,15	$V_{\square S} = 211{,}4964350 + 1{,}926207036 \times m^{\square\square\square}$	0,980191

Fonte: Autor

Tabela 51 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**$V^{o}_{\square S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}**
283,15	207,91
288,15	208,92
293,15	209,90
298,15	210,68
303,15	211,50

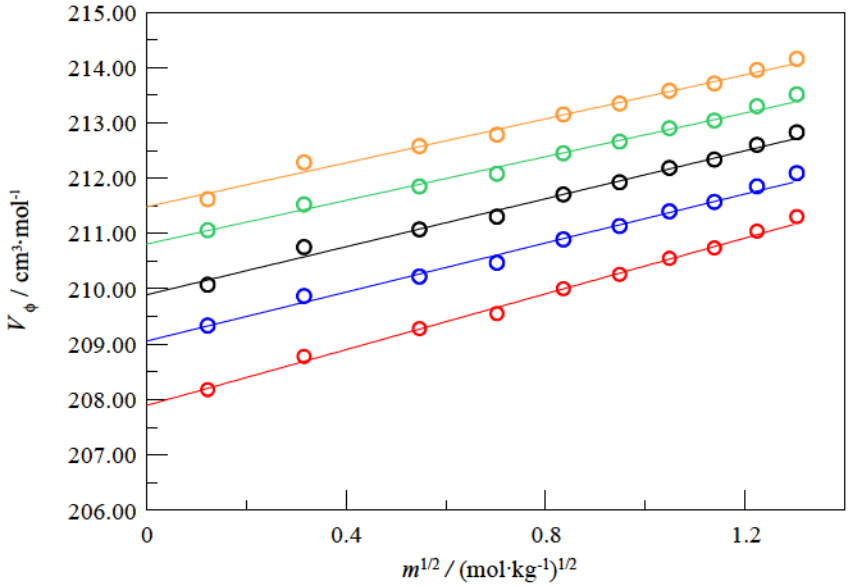
Fonte: Autor

Tabela 52 - Volumes de transferência da sacarose da água para solução salina de 0,025 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**$V^{o}_{\square S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}**	**$V^{o}_{\square S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}**	**$\square V^{o}_{tS}$ / cm³·mol^{-1}**
283,15	207,91	207,49	0,42
288,15	208,92	208,74	0,18
293,15	209,90	209,69	0,21
298,15	210,68	210,37	0,31
303,15	211,50	211,28	0,22

Fonte: Autor

Figura 67 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 53 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em solução salina 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 207{,}8968385 + 2{,}518599146 \times m^{1/2}$	0,996340
288,15	$V_{\Phi_S} = 209{,}8992184 + 2{,}110636197 \times m^{1/2}$	0,992113
293,15	$V_{\Phi_S} = 209{,}8949619 + 2{,}166413687 \times m^{1/2}$	0,989755
298,15	$V_{\Phi_S} = 210{,}8103348 + 1{,}972137797 \times m^{1/2}$	0,993065
303,15	$V_{\Phi_S} = 211{,}4828055 + 1{,}985260192 \times m^{1/2}$	0,988071

Fonte: Autor

Tabela 54 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	207,90
288,15	209,06
293,15	209,89
298,15	210,81
303,15	211,48

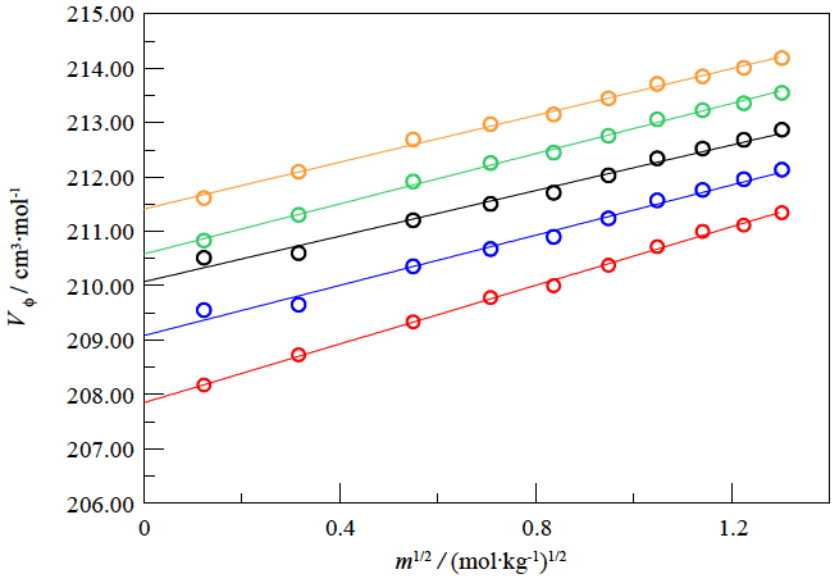
Fonte: Autor

Tabela 55 - Volumes de transferência da sacarose da água para solução salina de 0,05 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	207,90	207,49	0,41
288,15	209,06	208,74	0,32
293,15	209,89	209,69	0,20
298,15	210,81	210,37	0,44
303,15	211,48	211,28	0,20

Fonte: Autor

Figura 68 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 56 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 207{,}8532990 + 2{,}694123517 \times m^{1/2}$	0,997327
288,15	$V_{\Phi_S} = 209{,}0871079 + 2{,}305298514 \times m^{1/2}$	0,985970
293,15	$V_{\Phi_S} = 210{,}0760020 + 2{,}094177384 \times m^{1/2}$	0,98425
298,15	$V_{\Phi_S} = 210{,}5856931 + 2{,}305394912 \times m^{1/2}$	0,997013
303,15	$V_{\Phi_S} = 211{,}4135545 + 2{,}148760858 \times m^{1/2}$	0,995909

Fonte: Autor

Tabela 57 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (solução\ salina)}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	207,85
288,15	209,09
293,15	210,08
298,15	210,59
303,15	211,41

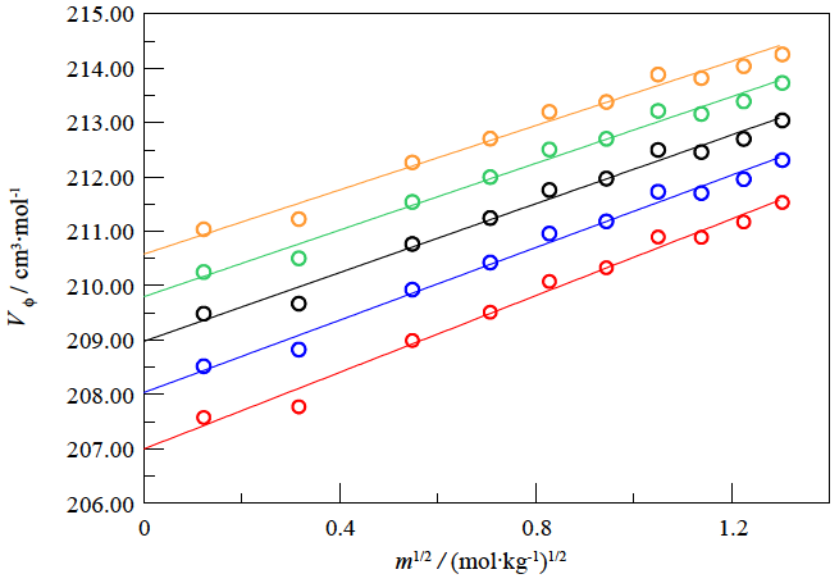
Fonte: Autor

Tabela 58 - Volumes de transferência da sacarose da água para solução salina de 0,075 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{S\ (solução\ salina)}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{S(água)}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	207,85	207,49	0,36
288,15	209,09	208,74	0,35
293,15	210,08	209,69	0,39
298,15	210,59	210,37	0,22
303,15	211,41	211,28	0,13

Fonte: Autor

Figura 69 - Volume molar aparente da sacarose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, em função raiz quadrada da molalidade da sacarose, a diferentes temperaturas e pressão atmosférica: ○, 283,15 K; ○, 288,15 K; ○, 293,15 K; ○, 298,15 K; ○, 303,15 K. As linhas representam a correlação usando a equação (20)



Fonte: Autor

Tabela 59 - Equações de ajuste usando a equação (20) para as soluções de sacarose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

***T* / K**	**Equação**	**R^2**
283,15	$V_{\Phi_S} = 207{,}0026812 + 3{,}52266974 \times m^{1/2}$	0,983120
288,15	$V_{\Phi_S} = 208{,}0385663 + 3{,}330934089 \times m^{1/2}$	0,985397
293,15	$V_{\Phi_S} = 208{,}9810298 + 3{,}160940865 \times m^{1/2}$	0,981128
298,15	$V_{\Phi_S} = 209{,}8008839 + 3{,}06347413 \times m^{1/2}$	0,982286
303,15	$V_{\Phi_S} = 210{,}5833483 + 2{,}952650679 \times m^{1/2}$	0,979134

Fonte: Autor

Tabela 60 - Volumes molares aparentes à diluição infinita da sacarose em solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}
283,15	207,00
288,15	208,04
293,15	208,98
298,15	209,80
303,15	210,58

Fonte: Autor

Tabela 61- Volumes de transferência da sacarose da água para solução salina de 0,1 mol·kg^{-1}, a diferentes temperaturas

T / K	$V^{o}_{\phi S\ (\text{solução salina})}$ / cm³·mol^{-1}	$V^{o}_{\phi S(\text{água})}$ / cm³·mol^{-1}	ΔV^{o}_{tS} / cm³·mol^{-1}
283,15	207,00	207,49	-0,49
288,15	208,04	208,74	-0,70
293,15	208,98	209,69	-0,71
298,15	209,80	210,37	-0,57
303,15	210,58	211,28	-0,70

Fonte: Autor

Os valores do volume molar aparente à diluição infinita de todos os sacarídeos estudados aumentaram com o aumento da temperatura e concentração do sacarídeo. Houve também um aumento com o crescimento da cadeia carbônica seguindo a ordem: D(+)-xilose < D-frutose < D(+)-glicose < Sacarose. Um comportamento semelhante do volume molar aparente foi observado por Banipal et al. (2002) e Zhuo et al. (2000).

Os valores do volume molar aparente à diluição infinita da D(+)-xilose, D(+)-glicose, D-frutose e sacarose em água e a 298,15 K, apresentados na tabela 62, estão em boa concordância com os valores obtidos por Banipal et al. (2002).

Tabela 62 - Valores de volume molar aparente à diluição infinita, comparados com a literatura, a 298,15 K.

	D(+)-xilose	**D(+)-glicose**	**D-frutose**	**Sacarose**
Autor	95,17	111,33	110,44	210,37
Literatura	95,68	111,91	111,06	211,92

Fonte: Autor

Os valores de volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina foram negativos na maior faixa de molalidade de NaCl para o sistema com D(+)-xilose, apresentando-se positivos apenas na concentração de 0,025 mol·kg^{-1}, como pode ser observado na tabela 63.

Tabela 63 - Valores do volume de transferência da D(+)-xilose da água para solução salina

***T* / K**	**0,025 mol·kg^{-1}**	**0,05 mol·kg^{-1}**	**0,075 mol·kg^{-1}**	**0,1 mol·kg^{-1}**
283,15	0,09	-0,30	-0,42	-0,07
288,15	0,19	-0,19	-0,44	0,01
293,15	0,01	-0,29	-0,60	-0,13
298,15	0,07	-0,24	-0,41	-0,01
303,15	0,09	-0,22	-0,37	-0,02

Fonte: Autor

A tabela 64 apresenta os resultados do sistema da D(+)-glicose. Para este sistema, os valores foram positivos na maior faixa de molalidade de NaCl, sendo negativo apenas na concentração de 0,075 mol·kg^{-1} de NaCl e temperatura de 303,15 K. O mesmo ocorreu no estudo realizado por Banipal et al. (2002), que obtiveram todos os valores positivos.

Tabela 64 - Valores do volume de transferência da D(+)-glicose da água para solução salina

***T* / K**	**0,025 mol·kg^{-1}**	**0,05 mol·kg^{-1}**	**0,075 mol·kg^{-1}**	**0,1 mol·kg^{-1}**
283,15	0,25	0,46	0,11	0,30
288,15	0,40	0,31	0,13	0,13
293,15	0,47	0,30	0,25	0,27
298,15	0,43	0,40	0,13	0,22
303,15	0,29	0,12	-0,04	0,07

Fonte: Autor

Para o sistema contendo D-frutose, nas molalidades de 0,025 e 0,075 mol·kg^{-1}, a maior parte dos valores foram negativos, com exceção da temperatura de 303,15 K. Para molalidade de 0,05 mol·kg^{-1}, a maior parte dos valores foi positivo, com exceção da temperatura de 283,15 K. Para a concentração de 0,1 mol·kg^{-1} de cloreto de sódio, todos os valores foram positivos. Esses valores podem ser mostrados na tabela 65.

Tabela 65 - Valores do volume de transferência da D-Frutose da água para solução salina

***T* / K**	**0,025 mol·kg^{-1}**	**0,05 mol·kg^{-1}**	**0,075 mol·kg^{-1}**	**0,1 mol·kg^{-1}**
283,15	-0,44	-0,12	-0,40	0,00
288,15	-0,02	0,29	-0,24	0,24
293,15	-0,23	0,06	-0,18	0,12
298,15	-0,08	0,15	-0,33	0,26
303,15	0,06	0,16	0,05	0,30

Fonte: Autor

Para os sistemas contendo a sacarose, todos os valores foram positivos, com exceção do sistema de concentração salina igual a 0,1 mol·kg^{-1}, como pode ser visto na tabela 66. O estudo de Banipal et al. (2002) também apresentou valores positivos para o sistema da sacarose.

Tabela 66 - Valores do volume de transferência da sacarose da água para solução salina

***T* / K**	**0,025 mol·kg^{-1}**	**0,05 mol·kg^{-1}**	**0,075 mol·kg^{-1}**	**0,1 mol·kg^{-1}**
283,15	0,42	0,41	0,36	-0,49
288,15	0,18	0,32	0,35	-0,70
293,15	0,21	0,20	0,39	-0,71
298,15	0,31	0,44	0,22	-0,57
303,15	0,22	0,20	0,13	-0,70

Fonte: Autor

Com o aumento da concentração do eletrólito na solução contendo sacarídeo, as interações entre os grupos hidroxilas do sacarídeo e as moléculas de água diminuem, pois começam a ocorrer interações entre grupos hidroxilas do sacarídeo com os íons do sal,

causando uma diminuição no volume de encolhimento, e com isto, um aumento no volume molar aparente à diluição infinita (BANIPAL et al., 2002).

Uma vez que eletrólitos podem interagir com as moléculas de água quebrando as suas ligações de hidrogênio, estes efeitos tendem a diminuir com a adição de sacarídeos, devido às fortes interações entre sacarídeos-íons. Assim a estrutura da água permanece praticamente inalterada, ocupando um volume maior, o que também contribui para valores positivos do volume de transferência (BANIPAL, et al., 2002; BANIPAL, CHAHAL, BANIPAL, 2009).

Os valores positivos do volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina também são resultados da diminuição das interações do sacarídeo e do eletrólito com a água, passando a prevalecer a interação sacarídeo-eletrólito. Isso pode ser explicado pela diminuição do volume de encolhimento e aumento da contribuição das moléculas de água (BANIPAL et al., 2002).

Os valores do volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina podem ser explicados pelo "*Cosphere Overlap Model*" em termos de interações soluto e co-soluto. Segundo esse modelo, os seguintes tipos de interações são possíveis:

- Interações hidrofílicas-iônicas que ocorrem entre os grupos hidrofílicos (-OH, -C=O, -O-) do sacarídeo e os íons (Na^+ e Cl^-) do eletrólito;
- Interações hidrofóbicas-iônicas entre as partes hidrofóbicas das moléculas dos sacarídeos (R=CH) e os íons (Na^+ e Cl^-) do eletrólito.

As interações hidrofílicas-iônicas contribuem para valores positivos dos valores do volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina enquanto as interações hidrofóbicas-iônicas contribuem para valores negativos (BANIPAL, CHAHAL, BANIPAL, 2009; BANIPAL, SINGH, BANIPAL, 2009; BANIPAL et al, 2002).

Sendo assim, para os sistemas de D(+)-glicose, D-frutose e sacarose, as interações hidrofílicas-iônicas devem ser predominantes, ao passo que para o sistema de D(+)-xilose, as interações hidrofóbicas-iônicas devem prevalecer.

Quando soluto (sacarídeo) e co-soluto (eletrólito) se aproximam, a esfera de hidratação se sobrepõe mudando as propriedades termodinâmicas (BANIPAL, KAUR, BANIPAL, 2004). A hidratação da camada externa dos sacarídeos diminui com o aumento da molalidade do eletrólito, uma vez que ambos os íons são fortemente hidratados (grande número de moléculas de água na camada de hidratação). Devido à atração eletrostática com o cátion (Na^+), a camada de hidratação do íon é substituída por grupos OH, C=O e –O- das moléculas dos sacarídeos, contribuindo para valores positivos do volume molar aparente de transferência

do sacarídeo da água para a solução salina. Já as interações entre íons e solvente contribuem para valores negativos. (BANIPAL et al, 2002; JIANG et al., 2003; ZHUO et al., 2000).

O volume molar de transferência dos sacarídeos aumenta com o aumento da concentração do sal, devido ao fenômeno chamado "*salting out*", no qual ao se adicionar sal, o mesmo interage com a água que anteriormente estava interagindo com o sacarídeo, e com isto, o sacarídeo é desidratado na mistura do solvente e co-soluto (água e sal) (BANIPAL, CHAHAL, BANIPAL, 2009).

Grandes valores de volume de transferência do sacarídeo da água para solução salina, em alguns casos, podem ser explicados pela sequência axial-equatorial-axial das hidroxilas (-OH) do sacarídeo (BANIPAL, KAUR, BANIPAL, 2004).

Os menores valores do volume molar aparente à diluição infinita para a D-frutose, quando comparados aos da D(+)-glicose, podem ser explicados devido à presença de diferentes grupos funcionais. A D-frutose é uma cetona, enquanto a D(+)-glicose é um aldeído (BANIPAL, CHAHAL, BANIPAL, 2009).

Efeitos estruturais são muitos importantes para o comportamento do volume molar de transferência. Moléculas que possuem ligação 4-OH axial e 2-OH equatorial não se encaixam na estrutura das moléculas da água e interagem mais com as moléculas de co-soluto (eletrólito). Por esse motivo, o volume de transferência apresentou valores positivos. Já as moléculas que contêm apenas a hidroxila 4-OH equatorial se encaixam na estrutura da água. Além disso, as interações de –OH equatorial são mais fortes do que as de –OH axial (BANIPAL, CHAHAL, BANIPAL, 2010).

7 CONCLUSÃO

No presente estudo foram determinados dados experimentais de densidade de soluções de sacarídeos (D(+)-xilose, D(+)-glicose, D-frutose e sacarose) em diferentes concentrações (entre 0,015 e 1,7 mol·kg^{-1}) em água e em soluções salinas de NaCl (0,025; 0,050; 0,075 e 0,1 mol·kg^{-1}), a diferentes temperaturas T = (283,15, 288,15, 293,15, 298,15 e 303,15 K).

Para todos os sacarídeos estudados, os valores da densidade das soluções aumentaram com o aumento da concentração do sacarídeo e do sal, e diminuíram com o aumento da temperatura. Os resultados experimentais das densidades das soluções de sacarídeos em água pura estão em boa concordância com estudos encontrados na literatura.

Com os resultados experimentais das densidades e fazendo uso do formalismo termodinâmico foram calculados os volumes molares aparentes, os volumes molares aparentes à diluição infinita e os volumes de transferência dos sacarídeos da água para as soluções salinas.

Os valores dos volumes molares aparentes e dos volumes molares aparentes à diluição infinita aumentaram com o aumento da temperatura e da molaridade do sacarídeo seguindo a ordem: Sacarose > D(+)-glicose > D-frutose > D(+)-xilose. Comportamento semelhante tem sido observado na literatura por outros autores.

Entretanto, o comportamento do volume molar de transferência dos sacarídeos da água para as soluções salinas não apresentou um comportamento uniforme.

Os resultados e discussões do presente estudo levam a acreditar que, possivelmente, as interações hidrofílicas-iônicas que ocorrem entre os grupos hidrofílicos (-OH, -C=O, -O-) do sacarídeo e os íons (Na^+ e Cl^-) do eletrólito devem ser predominantes nos sistemas contendo D(+)-glicose, D-frutose e sacarose, enquanto que interações hidrofóbicas-iônicas, entre as partes hidrofóbicas das moléculas dos sacarídeos (R=CH) e os íons (Na^+ e Cl^-) do eletrólito, devem prevalecer no sistema contendo D(+)-xilose.

Com o objetivo de preencher várias lacunas existentes na literatura envolvendo estudos termodinâmicos de sistemas contendo sacarídeos, como trabalhos futuros sugere-se estudar o efeito da pressão nas propriedades volumétricas dos sistemas estudados no presente trabalho. Um estudo de propriedades viscosimétricas dos sistemas também seria muito oportuno. Promissor também seria a realização do estudo substituindo o cloreto de sódio por um líquido iônicos. Finalmente, fica como sugestão a realização de um estudo espectroscópico para tentar elucidar as possíveis interações existentes entre as espécies químicas presentes nas soluções.

REFERÊNCIAS

ACREE, W.E. Thermodynamics properties of nonelectrolyte solution. Orlando; academic Press, 1984.

AKRAM, M.; HAMID, A. Mini review of fructose metabolism. **Obesity Research & Clinical Practice**, Pakistan, v. 7, p. 89 – 94, 2013.

BANIPAL, P.K. et al. Partial molar heat capacities and volumes of transfer of some saccharides from water to aqueous sodium chloride solutions at T = 298.15 K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, India, v.34, p. 1825-1846, 2002.

_____.; CHAHAL, A. K.; BANIPAL, T. S. Studies on volumetric properties of some saccharides in aqueous potassium chloride solutions over temperature range (288.15 to 318.15) K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, India, v.41, p. 452 – 483, 27 nov 2009.

_____.; CHAHAL NEE HUNDAL, A. K.; BANIPAL, T. S. Effect of magnesium chlordide (2:1 electrolyte) on the aqueous solution behavior of some saccharides over the temperature range of 288.15 – 318.15 K: a volumetric approach. **Carbohydrate**, India v. 345, p. 2262 – 2271, 2010.

_____.; KAUR, G.; BANIPAL, T.S. Partial molar volumes of transfer of some saccharides from water to aqueous cupric chloride and zinc chloride solutions at 298.15 K. **Indian Journal of Chemistry**, India, v. 43A, p. 35 – 40, Jan 2004.

_____.; SINGH, V.; BANIPAL, T. S. Effect of sodium acetate on the volumetric behaviour of some mono-, di-, and tri-saccharides in aqueous solutions over temperature range (288.15 to 318.15) K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, India, v.42, p. 90 – 103, July 2009.

BROWN et al. Apparent molar volumes and apparent molar heat capacities of aqueous D(+)-cellobiose, D(+)-maltose, and sucrose at temperatures from (278.15 to 393.15) K and at the

pressure 0.35 MPa. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, United States, v. 37, p. 843 - 853, 26 Jan 2005.

BROWN et al. Apparent molar volumes and apparent molar heat capacities of aqueous lead nitrate at temperatures from 278.15 to 393.15 K and at the pressure 0.35 MPa. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, United States, v. 36, p. 71 – 77, 2004.

CONSIDINE. **Chemical and process technology encyclopedia**. Los Angeles: McGraw-Hill Book Company.

DEAN, J. **Lange's Handbook of Chemistry**. 45 ed. McGraw-Hill.

DELLWEG, H., RIZZI, M., KLEIN, C. Controlled limited aeration and metabolic regulation during the production of ethanol from D-xylose by *Pichia stipites*. **Journal of Biotechnology**, Berlin, v. 12, p. 111 – 122, Aug 1989.

DE VISSER, C.; PERRON, G.; DESNOYERS, J. E. Volumes and heat capacities of ternary aqueous systems at 25ºC. Mixtures of urea, tert-butyl alcohol, dimethylformamide, and water. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, Canadá, v. 99, p. 5894 – 5900, Aug 1977.

DEY et al. Apparent molar volume and viscosity studies on some carbohydrates in solution. **Monatshefte für Chemie**, Bangladesh, v. 134, p. 797 – 809, 24 Feb 2003.

FANG et al. Reaction of D-glucose in water at high temperatures (410ºC) and pressures (180 MPa) for the production of dyes and nano-particles. **The Journal of Supercritical Fluids**, China, v. 56, p. 41 – 47, 2011.

FRAZNCO, F.; FRAZNCO, X.; FRAZNCO, S. Review of the role of refined dietary sugars (fructose and glucose) in the genesis of retinal disease. **Clinical and experimental Ophthalmology**, Austrália, v. 42, p. 564 – 573, 2014.

FELDMAN, S. **Concise Encyclopedia of Chemical Technology**. 5 ed. v.2. United States: Wiley-Interscience, 2007.

GASPARDO, C.; LINHARES, M.; MARTINEZ, F. A eficácia da sacarose no alívio de dor em neonatos: revisão sistemática da literatura. **J Pediatr**, Rio de Janeiro, v. 81, p. 435-42, 2005.

JIANG et al. Volumetric properties and volumetric interaction parameters of the CsCl-saccharides (D-glucose, D-fructose)-water solutions at 298.15 K. **Journal of the Chinese Chemical Society**, China, v. 50, p. 947 – 952, 2003.

KELISHADI, R.; MANSOURIAN, M.; HEIDARI-BENI, M. Association of fructose consumption and components of metabolic syndrome in human studies: A systematic review and meta-analysis. **Nutrition**, Iran, v. 30, p. 503 – 510, 2014.

LIM et al. D-Xylose suppresses adipogenesis and regulates lipid metabolism genes in high-fat diet-induced obese mice. **Nutrition Research**, Korea, v. 35, p. 626 – 636, May 2015.

MALLAKPOUR, S.; BEHRANVAND, V. Sonochemical production and characterization of D-fructose functionalized MWCNTs/alanine-based poly(amide-imide) nanocomposites. **Colloid Polymer Science**, v. 293, p. 1817 – 1826, March 2015.

MCMILLAN, W.G.; MAYER, J.E. **The statistical thermodynamics of multicomponent systems. The Journal of Chemical Physics**, Estados Unidos, v. 13, p. 276-305, 1945.

MORAN et al. **Bioquímica**. 5ª ed. São Paulo: Pearson Education, 2013.

ORIGLIA, M.L.; CALL, T.G.; WOOLLEY, E.M. Apparent molar volumes and apparent molar heat capacities of aqueous D-glucose and D-galactose at temperatures from 278.5K to 393.5K and at the pressure 0.35 MPa. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, United States, v. 32, p. 847 – 856, 2000.

RAMANATHAN, P.S.; FRIEDMAN, H.L. Study of a refined model for aqueous 1-1 electrolytes. **The Journal of Chemical Physics**, Estados Unidos, v. 54, p. 1086-&, 1971.

SALES et al. Cloning novel sugar transporters from *Scheffersomyces (Pichia) stipites* allowing D-xylose fermentation by recombinant *Saccharomyces cerevisiae*. **Biotechnology Letters**, v. 37, p. 1973 – 1982, June 2015.

SCHENCK, F. W. Glucose and Glucose-Containing Syrups. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. v. 17, 7, ed. United States: Wiley-VCH, 2011, p. 45 – 65.

SCHIWECK, H.; CLARKE, M.; POLLACH, G. Sugar. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. v. 34, 7, ed. United States: Wiley-VCH, 2011, p. 2 – 67.

SEDLBAUER, J.; YEZDIMER, E. M.; WOOD, R. H. Partial molar volumes at infinite dilution in aqueous solutions of NaCl, LiCl, NaBr, and CsBr at temperatures from 550K to 725K. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, United States, v.30, p. 3 – 12, 1998.

SHEKAARI, H.; KAZEMPOUR, A. Thermodynamic properties of D-glucose in aqueous 1-hexyl-3-methylimidazolium bromide solutions at 298.15 K. **Fluid Phase Equilibria**, Iran, v. 336, p. 122 – 127, Sept 2012.

SOBER, H. **Handbook of Biochemistry:** Selected Data for Molecular Biology. 2 ed. Ohio: Press.

SWENSON, D. M.; WOOLLEY, E. M. Apparent molar volumes and apparent molar heat capacities of aqueous KI, HIO_3, $NaIO_3$, and KIO_3 at temperatures from 278.15 K to 393.15 K and the pressure 0.35 MPa. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, United States, v. 40, p. 54 – 66, June 2007.

TAYLOR, T.; KUYATT, E. Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. **National Institute of Standards and Technology**. TN1297, 1994.

TSAO et al. A review of CAM for procedures pain in infancy: Part I. Sucrose and non-nutritive sucking. **Advance Access Publication**, California, v. 4, ed. 5, p. 371 – 381, 2008.

WACH, W. Fructose. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. v. 16, 7, ed. United States: Wiley-VCH, 2011, p. 103 – 115.

WESTPHAL, G et al. Sodium Chloride. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. v. 33, 7, ed. United States: Wiley-VCH, 2011, p. 319 – 361.

WIEBE, M. et al. A novel aldose-aldose oxireductase for co-poduction of D-xylonate and xylitol from D-xylose with *Saccharomyces cerevisiae*. **Applied Microbiology and Biotechnology** , v. 99, p. 9439 – 9447, Aug 2015.

ZHUO, K. et al. Volumetric properties for the monosaccharide (D-xylose, D-arabinose, D-glucose, D-galactose)-NaCl-water systems at 298.15 K. **Carbohydrate Research**, China, v.328, p. 383-391, March 2000.

ZHUO, K et al. Volumetric properties of D-galactose in aqueous HCl solution at 278.15 to 118. 15 K. **Journal of Molecular Liquids**, China, v.147, p. 186 - 190, Apr 2009.

APÊNDICE A – Cálculo das incertezas

As propriedades medidas experimentalmente através de equipamentos possuem incertezas intrínsecas, sejam elas advindas do próprio aparelho ou devido a erros realizados durante as medidas.

A incerteza da molalidade do sacarídeo (m_S) é função da massa do sacarídeo (m_S) e da massa da solução pura (m_o). Conforme equação (A.1):

$$u(m_S)=f(m_S,m_o) \tag{A.1}$$

Partindo-se da definição da molalidade, acrescentando já o fator de conversão de quilo para quilograma de massa da solução pura, tem-se a equação (A.2):

$$m_S=\frac{1000\times m_S}{m_o\times M_S} \tag{A.2}$$

Pode-se chegar à derivada da molalidade em função da massa de sacarídeo, através da equação (A.3):

$$\frac{\partial m_S}{\partial m_S}=\frac{1000}{m_o\times M_S} \tag{A.3}$$

Também é possível calcular a derivada da molalidade em função da massa da solução. Vide relação (A.4).

$$\frac{\partial m_S}{\partial m_o}=-\frac{1000\times m_S}{m_o^2\times M_S} \tag{A.4}$$

A partir das equações (A.3) e (A.4) a incerteza da molalidade do sacarídeo foi calculada, conforme o "*Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results*" (TN1297, 1994), gerando as equações (A.5) e (A.6).

$$u(m_S)=\sqrt{\left(\frac{\partial m_S}{\partial m_S}\right)^2\times u^2(m_S)+\left(\frac{\partial m_S}{\partial m_o}\right)^2\times u^2(m_o)} \tag{A.5}$$

$$u(m_S)=\sqrt{\left(\frac{1000}{m_o\times M_S}\right)^2\times u^2(m_S)+\left(-\frac{1000\times m_S}{m_o^2\times M_S}\right)^2\times u^2(m_o)} \tag{A.6}$$

A incerteza do volume molar aparente ($V_{\phi S}$) é função do molalidade do sacarídeo (m_S), densidade da solução com sacarídeo (ρ) e densidade da solução pura (ρ_o), demonstrada na função (A.7):

$$u(V_{\phi S})=f(m_S,\rho,\rho_o) \tag{A.7}$$

Partindo-se da equação (2) exposta no item 2.3:

$$V_{\phi S}=\left(\frac{M_S}{\rho}\right)-\frac{1000\times(\rho-\rho_o)}{m_S\times\rho\times\rho_o} \tag{2}$$

e rearranjando seus termos (equação A.8),

$$V_{\square S} = \left(\frac{M_S}{\square}\right) - \left(\frac{1000}{m_S \times \square_{\square}}\right) + \left(\frac{1000}{m_S \times \square}\right) \tag{A.8}$$

é possível calcular a derivada do volume molar aparente em função da molalidade do sacarídeo, através da equação (A.9):

$$\frac{\square V_{\square S}}{\square m_S} = 1 + \frac{1000}{m_S^2 \times \square_{\square}} - \frac{1000}{m_S^2 \times \square} \tag{A.9}$$

Também é possível calcular a derivada do volume molar aparente em função da densidade da solução de sacarídeo e a derivada do volume molar aparente em função da densidade da solução pura, utilizando respectivamente as equações (A.10) e (A.11):

$$\frac{\square V_{\square S}}{\square\square} = -\frac{M_S}{\square^2} - \frac{1000}{m_S \times \square^2} \tag{A.10}$$

$$\frac{\square V_{\square S}}{\square\square_o} = 1 + \frac{1000}{m_S \times \square_o^2} \tag{A.11}$$

Utilizando novamente o NIST, obtém-se as equações finais (A.12) e (A.13):

$$u(V_{\square S}) = \sqrt{\left(\frac{\square V_{\square S}}{\square m_S}\right)^2 \times u^2(m_S) + \left(\frac{\square V_{\square S}}{\square\square}\right)^2 \times u^2(\square\square) + \left(\frac{\square V_{\square S}}{\square\square_0}\right)^2 \times u^2(\square_o)} \tag{A.12}$$

$$u(V_{\square S}) = \sqrt{\left(1 + \frac{1000}{m_S^2 \times \square_o} - \frac{1000}{m_S^2 \times \square}\right)^2 \times u^2(m_S) + \left(-\frac{M_S}{\square^2} - \frac{1000}{m_S \times \square^2}\right)^2 \times u^2(\square\square) + \left(1 + \frac{1000}{m_S \times \square_o^2}\right)^2 \times u^2(\square_o)} \tag{A.13}$$

APÊNDICE B – Tabela – Densidades Água e Soluções Salinas Puras

As tabelas B.1 - B.5 apresentam as médias das medidas de densidade da água pura e das soluções salinas, nas temperaturas estudadas.

Tabela B.1 – Densidade da água pura em diversas temperaturas

***T* / K**	***ρ* / cm³·mol⁻¹**
283,15	0,99967
288,15	0,99908
293,15	0,99819
298,15	0,99703
303,15	0,99563

Fonte: Autor

Tabela B.2 - Densidade da solução salina a 0,025 mol·kg^{-1} em diversas temperaturas

***T* / K**	***ρ* / cm³·mol⁻¹**
283,15	1,00075
288,15	1,00014
293,15	0,99924
298,15	0,99807
303,15	0,99666

Fonte: Autor

Tabela B.3 - Densidade da solução salina a 0,05 mol·kg^{-1} em diversas temperaturas

***T* / K**	***ρ* / cm³·mol⁻¹**
283,15	1,00183
288,15	1,00120
293,15	1,00028
298,15	0,99910
303,15	0,99768

Fonte: Autor

Tabela B.4 - Densidade da solução salina a 0,075 mol·kg^{-1} em diversas temperaturas

***T* / K**	***ρ* / cm³·mol^{-1}**
283,15	1,00289
288,15	1,00225
293,15	1,00131
298,15	1,00012
303,15	0,99869

Fonte: Autor

Tabela B.5 - Densidade da solução salina a 0,1 mol·kg^{-1} em diversas temperaturas

***T* / K**	***ρ* / cm³·mol^{-1}**
283,15	1,00396
288,15	1,00330
293,15	1,00235
298,15	1,00114
303,15	0,99970

Fonte: Autor

APÊNDICE C – Tabela – Sistema xilose

A tabela C.1 apresenta os valores das densidades e volumes molares aparentes do sistema contendo xilose a diferentes concentrações e temperaturas.

Tabela C.1 – Resultados experimentais do sistema contendo D(+)-xilose (Continua)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
283,15	0,000	1,69662	1,08100	94,52
		1,49955	1,07278	94,48
		1,29959	1,06405	94,53
		1,09998	1,05517	94,45
		0,89812	1,04595	94,26
		0,70026	1,03642	94,22
		0,50021	1,02646	94,08
		0,30056	1,01612	93,89
		0,10001	1,00526	93,79
288,15	0,000	1,69662	1,07959	95,06
		1,49955	1,07147	95,02
		1,29959	1,06283	95,06
		1,09998	1,05404	94,98
		0,89812	1,04489	94,82
		0,70026	1,03545	94,77
		0,50021	1,02560	94,63
		0,30056	1,01536	94,44
		0,10001	1,00461	94,35
293,15	0,000	1,69662	1,07796	95,58
		1,49955	1,06992	95,53
		1,29959	1,06139	95,56
		1,09998	1,05268	95,48
		0,89812	1,04357	95,37
		0,70026	1,03423	95,32
		0,50021	1,02447	95,18
		0,30056	1,01433	95,02

Tabela C.1 - Resultados experimentais do sistema contendo xilose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,10001	1,00366	95,05
298,15	0,000	1,69662	1,07608	96,09
		1,49955	1,06819	96,00
		1,29959	1,05977	95,98
		1,09998	1,05112	95,92
		0,89812	1,04206	95,82
		0,70026	1,03279	95,79
		0,50021	1,02311	95,65
		0,10001	1,00247	95,44
303,15	0,000	1,69662	1,07415	96,51
		1,49955	1,06630	96,42
		1,29959	1,05798	96,38
		1,09998	1,04938	96,32
		0,89812	1,04036	96,25
		0,70026	1,03115	96,21
		0,50021	1,02154	96,10
		0,30056	1,01154	95,91
		0,10001	1,00104	95,90
283,15	0,025	1,69731	1,08177	94,69
		1,49968	1,07372	94,54
		1,29979	1,06502	94,57
		1,09998	1,05622	94,43
		0,89908	1,04699	94,31
		0,69657	1,03730	94,19
		0,49877	1,02741	94,15
		0,30091	1,01718	93,96
		0,10029	1,00634	93,87

Tabela C.1 - Resultados experimentais do sistema contendo xilose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
288,15	0,025	1,69731	1,08038	95,22
		1,49968	1,07239	95,08
		1,29979	1,06381	95,09
		1,09998	1,05508	94,97
		0,89908	1,04593	94,86
		0,69657	1,03632	94,76
		0,49877	1,02655	94,70
		0,30091	1,01641	94,54
		0,10029	1,00567	94,53
293,15	0,025	1,69731	1,07874	95,72
		1,49968	1,07079	95,62
		1,29979	1,06237	95,56
		1,09998	1,05370	95,45
		0,89908	1,04463	95,35
		0,69657	1,03509	95,28
		0,49877	1,02541	95,20
		0,30091	1,01536	95,07
		0,10029	1,00471	95,07
298,15	0,025	1,69731	1,07696	96,16
		1,49968	1,06907	96,06
		1,29979	1,06074	95,99
		1,09998	1,05213	95,89
		0,89908	1,04311	95,80
		0,69657	1,03362	95,78
		0,49877	1,02404	95,66
		0,30091	1,01407	95,52
		0,10029	1,00350	95,51
303,15	0,025	1,69731	1,07500	96,59

Tabela C.1 - Resultados experimentais do sistema contendo xilose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,49968	1,06719	96,47
		1,29979	1,05893	96,39
		1,09998	1,05037	96,29
		0,89908	1,04141	96,21
		0,69657	1,03197	96,20
		0,49877	1,02246	96,09
		0,30091	1,01255	95,96
		0,10029	1,00206	96,01
283,15	0,050	1,69998	1,08296	94,64
		1,49596	1,07450	94,59
		1,29915	1,06606	94,54
		1,09725	1,05712	94,44
		0,90069	1,04810	94,32
		0,69836	1,03843	94,20
		0,49934	1,02852	94,10
		0,30071	1,01825	93,90
		0,09961	1,00742	93,45
288,15	0,050	1,69998	1,08154	95,18
		1,49596	1,07317	95,12
		1,29915	1,06482	95,06
		1,09725	1,05597	94,97
		0,90069	1,04702	94,87
		0,69836	1,03744	94,76
		0,49934	1,02763	94,66
		0,30071	1,01747	94,48
		0,09961	1,00673	94,11
293,15	0,050	1,69998	1,07992	95,66
		1,49596	1,07163	95,60

Tabela C.1 - Resultados experimentais do sistema contendo xilose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,29915	1,06337	95,54
		1,09725	1,05459	95,44
		0,90069	1,04569	95,37
		0,69836	1,03620	95,27
		0,49934	1,02648	95,17
		0,30071	1,01640	95,01
		0,09961	1,00575	94,72
298,15	0,050	1,69998	1,07809	96,12
		1,49596	1,06991	96,04
		1,29915	1,06173	95,96
		1,09725	1,05300	95,88
		0,90069	1,04416	95,82
		0,69836	1,03474	95,72
		0,49934	1,02510	95,61
		0,30071	1,01509	95,46
		0,09961	1,00453	95,17
303,15	0,050	1,69998	1,07616	96,51
		1,49596	1,06802	96,45
		1,29915	1,05991	96,35
		1,09725	1,05124	96,28
		0,90069	1,04244	96,24
		0,69836	1,03308	96,15
		0,49934	1,02352	96,03
		0,30071	1,01357	95,89
		0,09961	1,00307	95,67
283,15	0,075	1,69993	1,08373	94,79
		1,49991	1,07561	94,64
		1,23973	1,06439	94,59

Tabela C.1 - Resultados experimentais do sistema contendo xilose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,09630	1,05810	94,45
		0,89857	1,04903	94,33
		0,69947	1,03953	94,21
		0,50017	1,02960	94,14
		0,30193	1,01938	93,93
		0,10001	1,00841	94,37
288,15	0,075	1,69993	1,08232	95,29
		1,49991	1,07428	95,15
		1,23973	1,06317	95,10
		1,09630	1,05693	94,96
		0,89857	1,04793	94,86
		0,69947	1,03853	94,74
		0,50017	1,02869	94,67
		0,30193	1,01857	94,46
		0,09915	1,00777	93,85
293,15	0,075	1,69993	1,08071	95,75
		1,49991	1,07272	95,64
		1,23973	1,06173	95,56
		1,09630	1,05554	95,44
		0,89857	1,04660	95,36
		0,69947	1,03728	95,25
		0,50017	1,02753	95,16
		0,30193	1,01749	94,98
		0,09915	1,00678	94,39
298,15	0,075	1,69993	1,07893	96,19
		1,49991	1,07099	96,08
		1,23973	1,06010	96,00
		1,09630	1,05395	95,88

Tabela C.1 - Resultados experimentais do sistema contendo xilose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,89857	1,04506	95,82
		0,69947	1,03581	95,72
		0,50017	1,02614	95,63
		0,30193	1,01618	95,48
		0,09915	1,00555	94,98
303,15	0,075	1,69993	1,07698	96,60
		1,49991	1,06910	96,48
		1,23973	1,05829	96,40
		1,09630	1,05218	96,27
		0,89857	1,04333	96,24
		0,69947	1,03414	96,13
		0,50017	1,02455	96,06
		0,30193	1,01464	95,90
		0,09915	1,00409	95,51
283,15	0,100	1,69549	1,08448	94,82
		1,49606	1,07630	94,74
		1,29588	1,06778	94,66
		1,10005	1,05916	94,56
		0,89898	1,04995	94,45
		0,69999	1,04048	94,35
		0,49567	1,03034	94,26
		0,30027	1,02030	94,03
		0,10032	1,00955	93,70
288,15	0,100	1,69549	1,08299	95,37
		1,49606	1,07496	95,25
		1,29588	1,06652	95,17
		1,10005	1,05797	95,08
		0,89898	1,04881	95,03

Tabela C.1 - Resultados experimentais do sistema contendo xilose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,69999	1,03947	94,88
		0,49567	1,02942	94,81
		0,30027	1,01948	94,60
		0,10032	1,00883	94,32
293,15	0,100	1,69549	1,08140	95,81
		1,49606	1,07342	95,71
		1,29588	1,06506	95,63
		1,10005	1,05657	95,55
		0,89898	1,04749	95,49
		0,69999	1,03821	95,37
		0,49567	1,02825	95,29
		0,30027	1,01838	95,11
		0,10032	1,00782	94,89
298,15	0,100	1,69549	1,07962	96,23
		1,49606	1,07169	96,13
		1,29588	1,06340	96,05
		1,10005	1,05497	95,97
		0,89898	1,04595	95,94
		0,69999	1,03674	95,81
		0,49567	1,02685	95,74
		0,30027	1,01705	95,57
		0,10032	1,00657	95,41
303,15	0,100	1,69549	1,07768	96,62
		1,49606	1,06980	96,52
		1,29588	1,06157	96,43
		1,10005	1,05319	96,37
		0,89898	1,04422	96,34
		0,69999	1,03508	96,21

Tabela C.1 - Resultados experimentais do sistema contendo xilose (Conclusão)

***T* / K**	***m* (NaCl) / mol·kg^{-1}**	***m* (sacarídeo) / mol·kg^{-1}**	***ρ* / g·cm^{-3}**	$V_{\square s}$ **/ cm^3·mol^{-1}**
		0,49567	1,02525	96,15
		0,30027	1,01551	96,01
		0,10032	1,00510	95,86

As incertezas referentes aos valores da tabela são $u(T)$ = 0,01K, $u(m)$ = 0,0001 mol·kg^{-1}, $u(\rho)$ = 0,00001 g·cm^{-3}, $u(V_{\square})$ = 0,01 cm^3·mol^{-1}

Fonte: Autor

APÊNDICE D – Tabela – Sistema Glicose

A tabela D.1 apresenta os valores das densidades e volumes molares aparentes, do sistema contendo glicose a diferentes concentrações e temperaturas.

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Continua)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
283,15	0,000	1,68191	1,09738	111,21
		1,49530	1,08821	111,12
		1,29820	1,07819	110,98
		1,10286	1,06772	110,92
		0,89708	1,05631	110,76
		0,70115	1,04499	110,53
		0,48499	1,03178	110,40
		0,29819	1,01986	110,23
		0,10264	1,00679	109,99
		0,01498	1,00072	109,76
288,15	0,000	1,68191	1,09600	111,75
		1,49530	1,08690	111,67
		1,29820	1,07695	111,54
		1,10286	1,06656	111,49
		0,89708	1,05524	111,35
		0,70115	1,04401	111,14
		0,48499	1,03091	111,03
		0,29819	1,01909	110,86
		0,10264	1,00614	110,66
		0,01498	1,00012	110,45
293,15	0,000	1,68191	1,09437	112,27
		1,49530	1,08534	112,19
		1,29820	1,07548	112,05
		1,10286	1,06517	112,00
		0,89708	1,05393	111,88
		0,70115	1,04278	111,67

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,48499	1,02978	111,57
		0,29819	1,01805	111,41
		0,10264	1,00519	111,23
		0,01498	0,99922	110,93
298,15	0,000	1,68191	1,09257	112,74
		1,49530	1,08357	112,69
		1,29820	1,07382	112,52
		1,10286	1,06356	112,50
		0,89708	1,05239	112,38
		0,70115	1,04132	112,16
		0,48499	1,02841	112,08
		0,29819	1,01675	111,94
		0,10264	1,00398	111,73
		0,01498	0,99806	111,43
303,15	0,000	1,68191	1,09061	113,18
		1,49530	1,08166	113,14
		1,29820	1,07196	112,98
		1,10286	1,06175	112,97
		0,89708	1,05066	112,83
		0,70115	1,03965	112,64
		0,48499	1,02682	112,55
		0,29819	1,01523	112,43
		0,10264	1,00254	112,25
		0,01498	0,99666	112,16
283,15	0,025	1,68350	1,09817	111,40
		1,49851	1,08913	111,30
		1,28534	1,07834	111,13
		1,11538	1,06920	111,14

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,90127	1,05739	111,00
		0,69193	1,04534	110,75
		0,49208	1,03313	110,74
		0,30487	1,02130	110,46
		0,10123	1,00775	110,17
		0,01562	1,00185	110,00
288,15	0,025	1,68350	1,09678	111,93
		1,49851	1,08780	111,85
		1,28534	1,07710	111,69
		1,11538	1,06802	111,72
		0,90127	1,05624	111,65
		0,69193	1,04435	111,34
		0,49208	1,03224	111,36
		0,30487	1,02051	111,10
		0,10123	1,00709	110,69
		0,01562	1,00123	111,09
293,15	0,025	1,68350	1,09525	112,38
		1,49851	1,08626	112,35
		1,28534	1,07563	112,19
		1,11538	1,06661	112,23
		0,90127	1,05487	112,23
		0,69193	1,04308	111,93
		0,49208	1,03109	111,90
		0,30487	1,01945	111,64
		0,10123	1,00612	111,39
		0,01562	1,00031	111,56
298,15	0,025	1,68350	1,09347	112,83
		1,49851	1,08454	112,80

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,28534	1,07396	112,66
		1,11538	1,06501	112,70
		0,90127	1,05341	112,62
		0,69193	1,04164	112,39
		0,49208	1,02971	112,39
		0,30487	1,01815	112,14
		0,10123	1,00492	111,84
		0,01562	0,99913	112,04
303,15	0,025	1,68350	1,09151	113,26
		1,49851	1,08263	113,24
		1,28534	1,07210	113,12
		1,11538	1,06321	113,15
		0,90127	1,05169	113,06
		0,69193	1,03997	112,85
		0,49208	1,02811	112,87
		0,30487	1,01662	112,62
		0,10123	1,00347	112,33
		0,01562	0,99772	112,53
283,15	0,050	1,69320	1,09997	111,19
		1,48941	1,08980	111,22
		1,30339	1,08029	111,15
		1,07003	1,06791	110,97
		0,90176	1,05856	110,86
		0,70326	1,04707	110,73
		0,49322	1,03431	110,62
		0,29698	1,02184	110,48
		0,10137	1,00882	110,38
		0,01567	1,00293	110,18
288,15	0,050	1,69320	1,09856	111,71

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,48941	1,08847	111,75
		1,30339	1,07902	111,70
		1,07003	1,06674	111,54
		0,90176	1,05746	111,44
		0,70326	1,04606	111,32
		0,49322	1,03341	111,22
		0,29698	1,02104	111,09
		0,10137	1,00813	111,00
		0,01567	1,00229	110,63
293,15	0,050	1,69320	1,09695	112,20
		1,48941	1,08692	112,25
		1,30339	1,07753	112,20
		1,07003	1,06532	112,07
		0,90176	1,05612	111,97
		0,70326	1,04481	111,84
		0,49322	1,03225	111,76
		0,29698	1,01997	111,64
		0,10137	1,00716	111,54
		0,01567	1,00136	111,09
298,15	0,050	1,69320	1,09514	112,66
		1,48941	1,08518	112,71
		1,30339	1,07585	112,67
		1,07003	1,06372	112,54
		0,90176	1,05457	112,44
		0,70326	1,04333	112,33
		0,49322	1,03085	112,25
		0,29698	1,01866	112,13
		0,10137	1,00593	112,05
		0,01567	1,00017	111,78

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
303,15	0,050	1,69320	1,09318	113,08
		1,48941	1,08326	113,14
		1,30339	1,07398	113,11
		1,07003	1,06192	112,98
		0,90176	1,05283	112,89
		0,70326	1,04166	112,77
		0,49322	1,02924	112,72
		0,29698	1,01713	112,58
		0,10137	1,00447	112,48
		0,01567	0,99875	112,05
283,15	0,075	1,67348	1,09967	111,39
		1,50878	1,09162	111,32
		1,29134	1,08060	111,19
		1,08638	1,06962	111,17
		0,89503	1,05906	111,03
		0,70335	1,04802	110,86
		0,49916	1,03570	110,67
		0,30330	1,02328	110,56
		0,10149	1,00991	110,06
		0,01468	1,00392	109,76
288,15	0,075	1,67348	1,09827	111,91
		1,50878	1,09027	111,85
		1,29134	1,07934	111,73
		1,08638	1,06843	111,73
		0,89503	1,05796	111,59
		0,70335	1,04700	111,44
		0,49916	1,03478	111,27
		0,30330	1,02245	111,21
		0,10149	1,00920	110,78

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,01468	1,00327	110,47
293,15	0,075	1,67348	1,09663	112,41
		1,50878	1,08869	112,36
		1,29134	1,07785	112,23
		1,08638	1,06701	112,24
		0,89503	1,05662	112,10
		0,70335	1,04574	111,95
		0,49916	1,03360	111,80
		0,30330	1,02137	111,73
		0,10149	1,00821	111,34
		0,01468	1,00232	111,18
298,15	0,075	1,67348	1,09482	112,87
		1,50878	1,08694	112,81
		1,29134	1,07616	112,69
		1,08638	1,06539	112,72
		0,89503	1,05506	112,58
		0,70335	1,04425	112,44
		0,49916	1,03219	112,29
		0,30330	1,02004	112,24
		0,10149	1,00697	111,82
		0,01468	1,00112	111,46
303,15	0,075	1,67348	1,09245	113,56
		1,50878	1,08502	113,23
		1,29134	1,07429	113,13
		1,08638	1,06357	113,16
		0,89503	1,05332	113,01
		0,70335	1,04257	112,88
		0,49916	1,03057	112,76

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,30330	1,01849	112,70
		0,10149	1,00550	112,32
		0,01468	0,99969	111,98
283,15	0,100	1,70317	1,10210	111,40
		1,50111	1,09233	111,26
		1,31245	1,08272	111,21
		1,08198	1,07052	111,05
		0,88754	1,05969	110,99
		0,71490	1,04977	110,82
		0,49626	1,03654	110,77
		0,30402	1,02440	110,50
		0,09916	1,01082	110,26
		0,01531	1,00505	109,97
288,15	0,100	1,70317	1,10067	111,92
		1,50111	1,09097	111,79
		1,31245	1,08137	111,79
		1,08198	1,06932	111,59
		0,88754	1,05857	111,54
		0,71490	1,04873	111,38
		0,49626	1,03560	111,35
		0,30402	1,02356	111,04
		0,09916	1,01010	110,89
		0,01531	1,00438	110,43
293,15	0,100	1,70317	1,09901	112,42
		1,50111	1,08937	112,29
		1,31245	1,07988	112,27
		1,08198	1,06789	112,11
		0,88754	1,05722	112,06

Tabela D.1 - Resultados experimentais do sistema contendo glicose (Conclusão)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,71490	1,04745	111,90
		0,49626	1,03441	111,89
		0,30402	1,02246	111,66
		0,09916	1,00909	111,47
		0,01531	1,00342	111,12
298,15	0,100	1,70317	1,09718	112,87
		1,50111	1,08761	112,75
		1,31245	1,07818	112,72
		1,08198	1,06626	112,57
		0,88754	1,05564	112,54
		0,71490	1,04595	112,37
		0,49626	1,03300	112,34
		0,30402	1,02112	112,18
		0,09916	1,00784	111,86
		0,01531	1,00220	111,61
303,15	0,100	1,70317	1,09520	113,29
		1,50111	1,08567	113,18
		1,31245	1,07630	113,15
		1,08198	1,06442	113,02
		0,88754	1,05390	112,97
		0,71490	1,04425	112,80
		0,49626	1,03138	112,79
		0,30402	1,01956	112,53
		0,09916	1,00637	112,39
		0,01531	1,00076	112,10

As incertezas referentes aos valores da tabela são $u(T)$ = 0,01K, $u(m)$ = 0,0001 mol·kg^{-1}, $u(\rho)$ = 0,00001 g·cm^{-3}, $u(V_{\square})$ = 0,01 cm^3·mol^{-1}

Fonte: Autor

APÊNDICE E – Tabela – Sistema Frutose

A tabela E.1 apresenta os valores das densidades e volumes molares aparentes, do sistema contendo frutose a diferentes concentrações e temperaturas.

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continua)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
283,15	0,000	1,69928	1,10042	109,78
		1,49764	1,09019	109,76
		1,29775	1,07978	109,62
		1,09497	1,06873	109,50
		0,89959	1,05760	109,39
		0,69948	1,04574	109,23
		0,49949	1,03334	109,04
		0,30026	1,02045	108,67
		0,09951	1,00671	108,58
		0,01525	1,00076	108,31
288,15	0,000	1,69928	1,09898	110,35
		1,49764	1,08885	110,32
		1,29775	1,07856	110,16
		1,09497	1,06760	110,05
		0,89959	1,05655	109,96
		0,69948	1,04480	109,78
		0,49949	1,03245	109,68
		0,30026	1,01965	109,40
		0,09951	1,00604	109,42
		0,01525	1,00016	109,21
293,15	0,000	1,69928	1,09720	110,96
		1,49764	1,08709	110,98
		1,29775	1,07695	110,79
		1,09497	1,06602	110,74
		0,89959	1,05514	110,59
		0,69948	1,04350	110,41

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,49949	1,03125	110,35
		0,30026	1,01859	110,01
		0,09951	1,00508	110,13
		0,01525	0,99925	110,12
298,15	0,000	1,69928	1,09516	111,58
		1,49764	1,08524	111,54
		1,29775	1,07510	111,42
		1,09497	1,06433	111,31
		0,89959	1,05347	111,24
		0,69948	1,04194	111,07
		0,49949	1,02979	111,02
		0,30026	1,01725	110,68
		0,09951	1,00386	110,81
		0,01525	0,99809	110,61
303,15	0,000	1,69928	1,09295	112,17
		1,49764	1,08314	112,12
		1,29775	1,07307	112,00
		1,09497	1,06242	111,88
		0,89959	1,05161	111,85
		0,69948	1,04017	111,69
		0,49949	1,02815	111,60
		0,30026	1,01568	111,32
		0,09951	1,00241	111,42
		0,01525	0,99669	111,10
283,15	0,025	1,69581	1,10114	109,85
		1,49976	1,09130	109,77
		1,29785	1,08073	109,69
		1,10005	1,07007	109,49

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,89798	1,05856	109,38
		0,69953	1,04687	109,13
		0,50064	1,03450	109,00
		0,29941	1,02138	108,96
		0,10014	1,00784	108,52
		0,01504	1,00182	108,38
288,15	0,025	1,69581	1,09959	110,48
		1,49976	1,08997	110,31
		1,29785	1,07950	110,22
		1,10005	1,06870	110,23
		0,89798	1,05749	109,95
		0,69953	1,04582	109,79
		0,50064	1,03358	109,66
		0,29941	1,02060	109,56
		0,10014	1,00716	109,21
		0,01504	1,00120	109,29
293,15	0,025	1,69581	1,09792	111,01
		1,49976	1,08815	111,00
		1,29785	1,07789	110,83
		1,10005	1,06724	110,80
		0,89798	1,05607	110,57
		0,69953	1,04448	110,48
		0,50064	1,03236	110,34
		0,29941	1,01950	110,23
		0,10014	1,00619	109,92
		0,01504	1,00029	109,77
298,15	0,025	1,69581	1,09591	111,61
		1,49976	1,08629	111,56

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,29785	1,07603	111,46
		1,10005	1,06549	111,42
		0,89798	1,05439	111,22
		0,69953	1,04289	111,14
		0,50064	1,03087	111,05
		0,29941	1,01814	110,95
		0,10014	1,00495	110,64
		0,01504	0,99911	110,49
303,15	0,025	1,69581	1,09370	112,19
		1,49976	1,08419	112,12
		1,29785	1,07398	112,06
		1,10005	1,06352	112,02
		0,89798	1,05252	111,84
		0,69953	1,04111	111,77
		0,50064	1,02919	111,67
		0,29941	1,01658	111,53
		0,10014	1,00349	111,30
		0,01504	0,99769	111,21
283,15	0,050	1,69755	1,10192	110,04
		1,49804	1,09209	109,86
		1,30066	1,08204	109,57
		1,09963	1,07094	109,60
		0,89757	1,05952	109,44
		0,69779	1,04767	109,33
		0,49734	1,03520	109,28
		0,29788	1,02441	109,08
		0,10014	1,00888	108,81
		0,01505	1,00290	108,61

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
288,15	0,050	1,69755	1,10044	110,62
		1,49804	1,09073	110,41
		1,30066	1,08065	110,22
		1,09963	1,06977	110,15
		0,89757	1,05838	110,06
		0,69779	1,04665	109,94
		0,49734	1,03431	109,86
		0,29788	1,02358	109,66
		0,10014	1,00819	109,54
		0,01505	1,00226	109,52
293,15	0,050	1,69755	1,09859	111,25
		1,49804	1,08905	110,99
		1,30066	1,07897	110,88
		1,09963	1,06824	110,77
		0,89757	1,05692	110,72
		0,69779	1,04532	110,58
		0,49734	1,03309	110,50
		0,29788	1,02246	110,29
		0,10014	1,00720	110,21
		0,01505	1,00133	109,99
298,15	0,050	1,69755	1,09679	111,70
		1,49804	1,08709	111,60
		1,30066	1,07706	111,52
		1,09963	1,06646	111,39
		0,89757	1,05522	111,38
		0,69779	1,04373	111,24
		0,49734	1,03161	111,17
		0,29788	1,02107	110,94
		0,10014	1,00595	110,89

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,01505	1,00014	110,71
303,15	0,050	1,69755	1,09458	112,28
		1,49804	1,08495	112,20
		1,30066	1,07500	112,12
		1,09963	1,06449	111,99
		0,89757	1,05334	111,98
		0,69779	1,04194	111,86
		0,49734	1,02992	111,79
		0,29788	1,01947	111,57
		0,10014	1,00448	111,52
		0,01505	0,99872	111,21
283,15	0,075	1,70022	1,10304	110,04
		1,49859	1,09319	109,80
		1,30200	1,08305	109,63
		1,10137	1,07197	109,68
		0,89076	1,06014	109,45
		0,69745	1,04870	109,30
		0,49971	1,03647	109,13
		0,30030	1,02353	109,02
		0,10105	1,01002	108,64
		0,01509	1,00397	108,32
288,15	0,075	1,70022	1,10151	110,64
		1,49859	1,09179	110,37
		1,30200	1,08171	110,22
		1,10137	1,07081	110,20
		0,89076	1,05902	110,04
		0,69745	1,04769	109,87
		0,49971	1,03554	109,74

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,30030	1,02269	109,70
		0,10105	1,00932	109,26
		0,01509	1,00332	108,78
293,15	0,075	1,70022	1,09983	111,15
		1,49859	1,09005	110,99
		1,30200	1,08006	110,84
		1,10137	1,06928	110,81
		0,89076	1,05757	110,67
		0,69745	1,04631	110,55
		0,49971	1,03430	110,39
		0,30030	1,02155	110,41
		0,10105	1,00831	109,99
		0,01509	1,00237	109,70
298,15	0,075	1,70022	1,09782	111,73
		1,49859	1,08806	111,61
		1,30200	1,07816	111,47
		1,10137	1,06749	111,43
		0,89076	1,05588	111,30
		0,69745	1,04471	111,21
		0,49971	1,03282	111,04
		0,30030	1,02017	111,09
		0,10105	1,00705	110,67
		0,01509	1,00117	109,97
303,15	0,075	1,70022	1,09558	112,32
		1,49859	1,08591	112,20
		1,30200	1,07609	112,06
		1,10137	1,06551	112,03
		0,89076	1,05400	111,90

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,69745	1,04291	111,84
		0,49971	1,03111	111,67
		0,30030	1,01858	111,72
		0,10105	1,00557	111,29
		0,01509	0,99973	111,13
283,15	0,100	1,69885	1,10418	109,91
		1,49866	1,09404	109,91
		1,29940	1,08406	109,51
		1,09811	1,07302	109,49
		0,90259	1,06178	109,54
		0,70069	1,04980	109,50
		0,50032	1,03758	109,07
		0,29788	1,02441	109,08
		0,10009	1,01099	108,96
		0,01487	1,00502	108,79
288,15	0,100	1,69885	1,10236	110,67
		1,49866	1,09267	110,44
		1,29940	1,08232	110,42
		1,09811	1,07166	110,18
		0,90259	1,06067	110,09
		0,70069	1,04868	110,20
		0,50032	1,03661	109,75
		0,29788	1,02358	109,66
		0,10009	1,01026	109,65
		0,01487	1,00435	109,48
293,15	0,100	1,69885	1,10060	111,23
		1,49866	1,09106	110,96
		1,29940	1,08074	110,97

Tabela E.1 - Resultados experimentais do sistema contendo frutose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,09811	1,07007	110,83
		0,90259	1,05924	110,68
		0,70069	1,04735	110,80
		0,50032	1,03534	110,43
		0,29788	1,02246	110,29
		0,10009	1,00925	110,22
		0,01487	1,00338	110,19
298,15	0,100	1,69885	1,09873	111,71
		1,49866	1,08909	111,56
		1,29940	1,07887	111,57
		1,09811	1,06825	111,46
		0,90259	1,05753	111,32
		0,70069	1,04574	111,44
		0,50032	1,03384	111,09
		0,29788	1,02107	110,94
		0,10009	1,00798	110,94
		0,01487	1,00217	110,91
303,15	0,100	1,69885	1,09649	112,29
		1,49866	1,08711	112,02
		1,29940	1,07680	112,15
		1,09811	1,06626	112,07
		0,90259	1,05566	111,88
		0,70069	1,04393	112,06
		0,50032	1,03212	111,73
		0,29788	1,01947	111,57
		0,10009	1,00649	111,57
		0,01487	1,00072	111,42

As incertezas referentes aos valores da tabela são $u(T)$ = 0,01K, $u(m)$ = 0,0001 mol·kg^{-1}, $u(\rho)$ = 0,00001 g·cm^{-3}, $u(V_{\square})$ = 0,01 cm^3·mol^{-1}

Fonte: Autor

APÊNDICE F – Tabela – Sistema Sacarose

A tabela F.1 apresenta os valores das densidades e volumes molares aparentes, do sistema contendo sacarose a diferentes concentrações e temperaturas.

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose (Continua)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
283,15	0,000	1,70164	1,16398	211,09
		1,50008	1,14937	210,95
		1,29959	1,13394	210,72
		1,10181	1,11759	210,48
		0,89257	1,09904	210,12
		0,69978	1,08053	209,81
		0,49900	1,05969	209,47
		0,29979	1,03728	209,00
		0,10019	1,01281	208,36
		0,01525	1,00171	207,88
288,15	0,000	1,70164	1,16231	211,89
		1,50008	1,14778	211,78
		1,29959	1,13245	211,56
		1,10181	1,11619	211,35
		0,89257	1,09777	211,00
		0,69978	1,07937	210,72
		0,49900	1,05867	210,42
		0,29979	1,03642	209,97
		0,10019	1,01213	209,38
		0,01525	1,00110	209,24
293,15	0,000	1,70164	1,16046	212,64
		1,50008	1,14602	212,53
		1,29959	1,13076	212,33
		1,10181	1,11460	212,14
		0,89257	1,09628	211,80
		0,69978	1,07799	211,54

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,49900	1,05741	211,26
		0,29979	1,03530	210,83
		0,10019	1,01116	210,26
		0,01525	1,00020	210,19
298,15	0,000	1,70164	1,15848	213,33
		1,50008	1,14410	213,24
		1,29959	1,12891	213,05
		1,10181	1,11283	212,87
		0,89257	1,09460	212,55
		0,69978	1,07641	212,30
		0,49900	1,05594	212,03
		0,29979	1,03394	211,63
		0,10019	1,00993	211,06
		0,01525	0,99903	210,72
303,15	0,000	1,70164	1,15632	214,00
		1,50008	1,14204	213,89
		1,29959	1,12691	213,71
		1,10181	1,11090	213,54
		0,89257	1,09275	213,24
		0,69978	1,07464	213,00
		0,49900	1,05426	212,75
		0,29979	1,03237	212,36
		0,10019	1,00847	211,82
		0,01525	0,99763	211,71
283,15	0,025	1,69946	1,16456	211,22
		1,49892	1,15018	210,99
		1,29858	1,13484	210,70
		1,09768	1,11823	210,47

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,89808	1,10049	210,20
		0,69886	1,08146	209,80
		0,49882	1,06062	209,65
		0,29954	1,03826	209,16
		0,09974	1,01378	208,88
		0,01486	1,00274	208,14
288,15	0,025	1,69946	1,16289	212,01
		1,49892	1,14858	211,81
		1,29858	1,13334	211,53
		1,09768	1,11682	211,32
		0,89808	1,09921	211,07
		0,69886	1,08029	210,70
		0,49882	1,05959	210,59
		0,29954	1,03738	210,12
		0,09974	1,01308	209,87
		0,01486	1,00212	209,09
293,15	0,025	1,69946	1,16104	212,75
		1,49892	1,14680	212,56
		1,29858	1,13165	212,30
		1,09768	1,11522	212,11
		0,89808	1,09770	211,87
		0,69886	1,07890	211,53
		0,49882	1,05831	211,44
		0,29954	1,03625	210,98
		0,09974	1,01209	210,78
		0,01486	1,00120	210,06
298,15	0,025	1,69946	1,15905	213,44
		1,49892	1,14487	213,27

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,29858	1,12979	213,01
		1,09768	1,11344	212,84
		0,89808	1,09601	212,61
		0,69886	1,07730	212,29
		0,49882	1,05683	212,20
		0,29954	1,03488	211,77
		0,09974	1,01085	211,52
		0,01486	1,00001	210,82
303,15	0,025	1,69946	1,15692	214,09
		1,49892	1,14280	213,92
		1,29858	1,12778	213,68
		1,09768	1,11151	213,51
		0,89808	1,09415	213,29
		0,69886	1,07553	212,98
		0,49882	1,05514	212,92
		0,29954	1,03330	212,50
		0,09974	1,00938	212,31
		0,01486	0,99860	211,61
283,15	0,050	1,70006	1,16540	211,31
		1,49817	1,15100	211,04
		1,29630	1,13557	210,74
		1,09923	1,11926	210,55
		0,89986	1,10160	210,26
		0,69854	1,08231	210,00
		0,49355	1,06113	209,56
		0,29938	1,03926	209,28
		0,09968	1,01485	208,78
		0,01500	1,00383	208,18

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose . (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
288,15	0,050	1,70006	1,16372	212,09
		1,49817	1,14939	211,85
		1,29630	1,13406	211,57
		1,09923	1,11784	211,40
		0,89986	1,10029	211,14
		0,69854	1,08114	210,89
		0,49355	1,06009	210,47
		0,29938	1,03837	210,22
		0,09968	1,01412	209,87
		0,01500	1,00319	209,34
293,15	0,050	1,70006	1,16186	212,83
		1,49817	1,14761	212,60
		1,29630	1,13235	212,34
		1,09923	1,11623	212,18
		0,89986	1,09878	211,93
		0,69854	1,07973	211,71
		0,49355	1,05881	211,30
		0,29938	1,03722	211,08
		0,09968	1,01312	210,75
		0,01500	1,00226	210,08
298,15	0,050	1,70006	1,15986	213,51
		1,49817	1,14567	213,30
		1,29630	1,13049	213,04
		1,09923	1,11444	212,90
		0,89986	1,09708	212,66
		0,69854	1,07813	212,45
		0,49355	1,05731	212,08
		0,29938	1,03584	211,85
		0,09968	1,01187	211,53

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,01500	1,00106	211,06
303,15	0,050	1,70006	1,15773	214,15
		1,49817	1,14360	213,95
		1,29630	1,12847	213,71
		1,09923	1,11250	213,58
		0,89986	1,09521	213,35
		0,69854	1,07635	213,15
		0,49355	1,05563	212,79
		0,29938	1,03425	212,58
		0,09968	1,01039	212,29
		0,01500	0,99964	211,62
283,15	0,075	1,69580	1,16595	211,35
		1,49941	1,15192	211,12
		1,30059	1,13657	211,00
		1,09787	1,11994	210,72
		0,89925	1,10244	210,38
		0,69954	1,08342	210,00
		0,50057	1,06281	209,78
		0,30189	1,04058	209,34
		0,09970	1,01593	208,73
		0,01501	1,00490	208,18
288,15	0,075	1,69580	1,16426	212,13
		1,49941	1,15026	211,96
		1,30059	1,13511	211,76
		1,09787	1,11851	211,57
		0,89925	1,10112	211,24
		0,69954	1,08222	210,90
		0,50057	1,06176	210,68

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,30189	1,03965	210,36
		0,09970	1,01519	209,65
		0,01501	1,00424	209,55
293,15	0,075	1,69580	1,16239	212,87
		1,49941	1,14850	212,68
		1,30059	1,13340	212,52
		1,09787	1,11689	212,34
		0,89925	1,09960	212,03
		0,69954	1,08081	211,71
		0,50057	1,06047	211,51
		0,30189	1,03849	211,20
		0,09970	1,01417	210,60
		0,01501	1,00329	210,51
298,15	0,075	1,69580	1,16039	213,55
		1,49941	1,14658	213,36
		1,30059	1,13153	213,23
		1,09787	1,11510	213,06
		0,89925	1,09789	212,76
		0,69954	1,07920	212,45
		0,50057	1,05896	212,26
		0,30189	1,03711	211,92
		0,09970	1,01291	211,30
		0,01501	1,00209	210,83
303,15	0,075	1,69580	1,15826	214,19
		1,49941	1,14450	214,01
		1,30059	1,12955	213,85
		1,09787	1,11317	213,71
		0,89925	1,09601	213,45

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose (Continuação)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		0,69954	1,07740	213,15
		0,50057	1,05726	212,97
		0,30189	1,03550	212,69
		0,09970	1,01142	212,10
		0,01501	1,00065	211,61
283,15	0,100	1,69808	1,16676	211,53
		1,49880	1,15274	211,18
		1,29466	1,13717	210,89
		1,10164	1,12104	210,90
		0,89100	1,10267	210,33
		0,68498	1,08290	210,08
		0,49965	1,06385	209,51
		0,30014	1,04150	209,00
		0,09996	1,01710	207,78
		0,01487	1,00596	207,58
288,15	0,100	1,69808	1,16505	212,31
		1,49880	1,15112	211,96
		1,29466	1,13563	211,70
		1,10164	1,11960	211,73
		0,89100	1,10135	211,19
		0,68498	1,08170	210,96
		0,49965	1,06277	210,43
		0,30014	1,04058	209,93
		0,09996	1,01634	208,83
		0,01487	1,00528	208,52
293,15	0,100	1,69808	1,16318	213,04
		1,49880	1,14932	212,70
		1,29466	1,13391	212,46

Tabela F.1 - Resultados experimentais do sistema contendo sacarose (Conclusão)

T / K	m (NaCl) / mol·kg^{-1}	m (sacarídeo) / mol·kg^{-1}	ρ / g·cm^{-3}	$V_{\square s}$ / cm^3·mol^{-1}
		1,10164	1,11797	212,50
		0,89100	1,09982	211,97
		0,68498	1,08028	211,76
		0,49965	1,06146	211,25
		0,30014	1,03940	210,77
		0,09996	1,01531	209,67
		0,01487	1,00431	209,49
298,15	0,100	1,69808	1,16115	213,73
		1,49880	1,14737	213,39
		1,29466	1,13204	213,16
		1,10164	1,11617	213,22
		0,89100	1,09811	212,70
		0,68498	1,07867	212,51
		0,49965	1,05995	212,00
		0,30014	1,03800	211,54
		0,09996	1,01403	210,51
		0,01487	1,00309	210,25
303,15	0,100	1,69808	1,15917	214,25
		1,49880	1,14529	214,04
		1,29466	1,13001	213,82
		1,10164	1,11421	213,88
		0,89100	1,09623	213,38
		0,68498	1,07688	213,20
		0,49965	1,05824	212,71
		0,30014	1,03639	212,27
		0,09996	1,01254	211,23
		0,01487	1,00165	211,04

As incertezas referentes aos valores da tabela são $u(T)$ = 0,01K, $u(m)$ = 0,0001 mol·kg^{-1}, $u(\rho)$ = 0,00001 g·cm^{-3}, $u(V_{\square})$ = 0,01 cm^3·mol^{-1}

Fonte: Autor