UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICIA

ENTROPIA DE CADEIAS MONODISPERSAS SOBRE UMA REDE DIAMANTE DE QUATRO VÉRTICES

Bolsista: Bruna Bandeira do Nascimento, CNPq

MANAUS
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICIA

RELATÓRIO FINAL
PIB-E/0008/2015

ENTROPIA DE CADEIAS MONODISPERSAS SOBRE UMA REDE DIAMANTE DE QUATRO VÉRTICES

Bolsista: Bruna Bandeira do Nascimento, CNPQ
Orientador: Prof.º Dr.º Minos Martins Adão Neto.

MANAUS
2016

RESUMO

Os polímeros são uma classe de materiais que estão presentes em grande parte do nosso cotidiano, estes apresentam características muito interessantes como baixa densidade, diversas e distintas possibilidade de aplicabilidade, dentre muitas outras que possibilitaram essa enorme presença no dia-a-dia, tais propriedades e características peculiares à esses materiais despertaram grande interesse em pesquisas e estudos relacionado à mecânica estática de polímeros e cálculos das suas propriedades termodinâmicas, como entropia. Estes cálculos muitas vezes englobam problemas complexo de contagem, como por exemplo, o problema tratado no presente trabalho em que se busca encontrar um equação geral (equação a qual até o presente momento de elaboração do estudo ainda não foi obtida, nem encontrada em outras referências) que permita calcular o número de maneiras de dispor uma cadeia de M-meros em uma rede de diamantes de quatro vértices. Através de estudos de análises combinatórias levando em conta uma caminhada auto e mutuamente excluída, onde um sítio vazio pode ser ocupado apenas por um único mero partindo de casos particulares para posteriormente obter-se a equação geral foi possível chegar a uma equação (para um caso particular) que nos permite calcular este número de maneiras bem como a densidade, entropia e potencial químico para esse caso citado .

Palavras-chave: polímeros, análise combinatória, entropia, diamantes de quatro vértices.

Sumário

1. INTRODUÇÃO

A palavra polímero vem do grego em que *Poli*= *muitos* e *meros*= *unidades de repetição*, sendo assim, pode-se definir polímero como uma macromolécula composta por inúmeras unidades repetidas, unidades estas denominadas meros que são ligadas covalentemente. Para produção de um polímero utiliza-se como matéria prima um monômero que nada mais é que uma unidade básica fundamental com uma unidade de repetição. [1]

Os polímeros apresentam características fascinantes, o que veio a despertar grande interesse em estudos e atividades de pesquisa relacionada à mecânica estatística de polímeros. Um dos motivos principais pela qual essa área gera tanto interesse reside na enorme importância que os polímeros têm para a tecnologia e ciência modernas, indo desde materiais com propriedades mecânicas e de transportes interessantes até o DNA demonstrado na figura 1, macromolécula na qual está codificada a herança genética dos seres vivos, inúmeros estudos descrevem o DNA como um polímero que contém quatro principais distas formas química: adenina (A), guanina (G), citosina (c) e timina (T) [1-4-5].

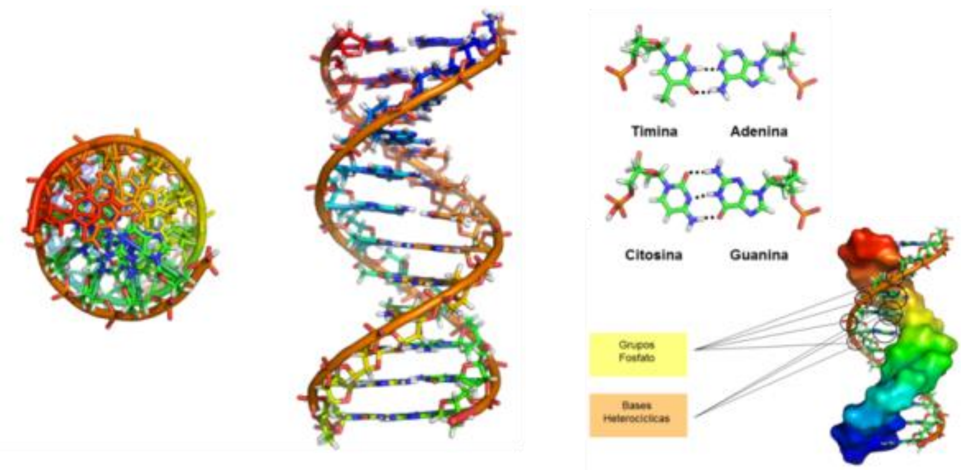

Figura 1:Figura 1: Estrutura em dupla hélice da molécula de DNA. Fonte: Química Biológica

A física de polímeros não se detém apenas à isso, apresentando também diversos desafios quando observados de um ponto de vista mais fundamental. Com frequência o comportamento termodinâmico de um polímero vem sendo estudado através de um modelo de caminhada auto e mutuamente excludentes, numa rede regular. Com base nisso, pode-se determinar o número de cofigurações em que as cadeias podem ser dispotas em uma rede, neste caso em uma rede diamante de quarto vertices com as condições de contorno fixadas. Onde consideramos N_p: número de cadeias, M-meros: tamanho da cadeia e N: número de diamantes presentes na rede.

Para melhor compreensão do problema aqui proposto podemos utilizar um exemplo bem simples onde, consideremos um tabuleiro de xadrez com 64 casas e um conjunto de dominó de 32 peças, associando as peças de dominós a um dímero. Considerando que cada peça do domino irá ocupar duas casas contígua do tabuleiro, pode-se dispor estas peças 12.988.816 vezes no tabuleiro de xadrez. Este resultado está relacionado com os trabalhos pioneiros de Fisher e Temperley [7] e Kasteleyn[8].

Problemas desta natureza tem sido aplicado para obter a entropia de cadeias polidispersas [8] e de dímeros com ***q***-estados [9] sobre uma rede unidimensional.

2. METODOLOGIA

Por meio de estudos de análise combinatória calculou-se o número de maneiras de dispor a cadeia de M-meros em uma rede de diamantes de quatro vértices. Primeiramente foram feitos desenhos dos diamantes e dispôs-se sobre os mesmo a cadeia de tamanho M-meros, onde M varia de uma em uma unidade, como exemplificado no esquema na figura 2 a seguir.

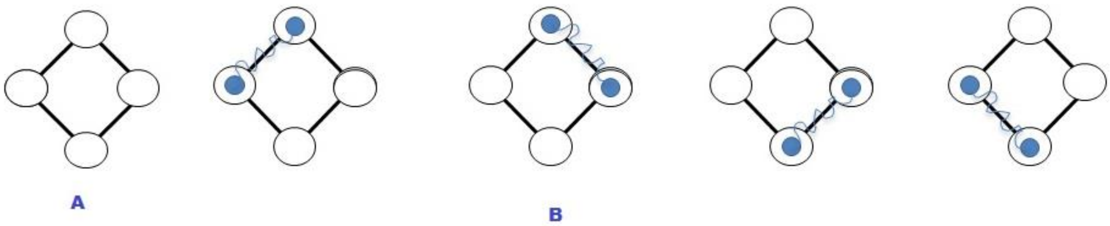

Figura 2: Esquema rede diamantes N=1 (a) um único diamante. (b) formas de dispor as cadeias M=2

Os estudos de análise combinatória, pelo método acima exemplificado foram iniciados com um único diamante e sobre o mesmo dispôs-se as cadeias de tamanho M=2.

Ao ser alcançada todas as maneiras de se dispor a cadeia sobre a rede diamantes aumentou-se o tamanho da rede de diamantes (N) em uma unidade (FIGURA 3) repetindo-se o procedimento até se obter uma periodicidade a qual ocorreu para N=5 e M=4, sendo N (número de diamantes) e M (tamanho da cadeia).

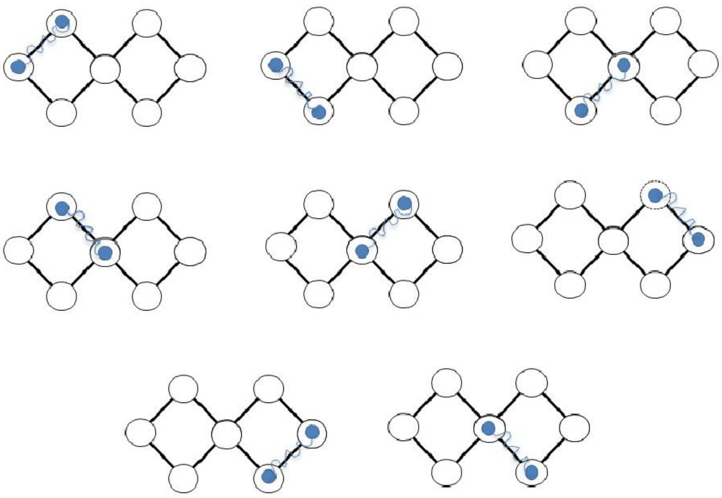

Figura 3: Esquema representativo disposição de M=2 meros em uma rede de N=2 diamantes.

Após os estudos por meio de análise combinatória, buscou a equação desejada de forma empírica através da equação 1, representada mais adiante, onde alternou-se os valores de seus termos até que encontra-se uma equação que viesse satisfazer o caso particular desejado.

Para este caso em particular foi definido então a entropia a qual é uma medida do desordenamento das partículas, bem como densidade máxima e potencial químico.

3. RESULTADOS

Sendo N_p o número de cadeias a se dispor e N o número de diamantes constituintes da rede e M= meros, o número de possibilidades foi contabilizado através de desenhos da rede diamante de quatro vértices onde nos quais a cadeia M-mero foi disposta até que todas as possibilidades fossem colocadas, como explicado anteriormente. Com as cadeias já dispostas em todas as possibilidades contabilizadas, elaborou-se a tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Número de vezes de se dispor uma cadeia em uma rede de diamantes de quatro vértices.

M	N_P	N	Nº de vezes
2	1	1	4
2	1	2	8
2	1	3	12
2	1	4	16
2	1	5	20
3	1	1	4
3	1	2	12
3	1	3	20
3	1	4	28
3	1	5	36
4	1	1	4
4	1	2	16
4	1	3	28
4	1	4	40
4	1	5	52

A partir desses dados, foi observado que há um crescimento periódico no número de possibilidades, quando aumentamos N (número de diamantes) em uma unidade, temos:

- Para M=2, as possibilidades crescem em uma progressão de 4 em 4;
- Para M=3, as possibilidades crescem em uma progressão de 8 em 8;
- Para M=4, as possibilidades crescem em uma progressão de 12 em 12.

Observa-se também que ao aumentarmos M em uma unidade o número de possibilidades cresce em 4 unidades de uma rede para outra. Por exemplo, ao ter M=2 as possibilidades de dispor na rede crescem de 4 em 4, no entanto quando aumentamos M em uma unidade, ou seja M=3, o número de possibilidades aumenta em 4, 4+4=8, então para M=3 temos o número de formas de dispor as cadeias poliméricas na rede serão acrescidas de 8 em 8. Fato que está demostrado na tabela 1 e comprovado no esboço feito

Com isso, iniciando por casos particulares, para posteriormente chegar à um caso geral, as tentativas de se encontrar a fórmula que nos indica o número de maneiras de se dispor a cadeia polimérica foram realizadas empiricamente. Foi tomada como ponto de partida a equação 1, onde através desta alguns termos foram alterados a fim de chegarmos a uma equação que compreenda o caso para uma rede de diamantes de quatro vértices.

$$\Gamma = \frac{(\mathrm{Np}+\mathrm{L}-\mathrm{MNp})!}{\mathrm{Np}!(\mathrm{L}-\mathrm{MNp})!} \tag{1}$$

Primeiramente substitui-se o valor de L por 4N + 1, como a equação 2 a seguir :

$$\Gamma = \frac{(\mathrm{Np}+(4\mathrm{N}+1)-\mathrm{MNp})!}{\mathrm{Np}!(4\mathrm{N}+1-\mathrm{MNp})!} \tag{2}$$

onde, L foi tomado como sendo L= 4N + 1.

A equação, foi então testada para os casos e a mesma apresentou os resultados esperados onde o valor de Γ obtido pela equação descrita condiz com os valores encontrados nos esboços de desenho das redes de diamante. No entanto, como já dito esta equação aplica-se apenas para o caso particular M=2 descrito, não podendo ser usada par os demais casos.

No limite termodinâmico, sendo $N \to \infty$, definimos a fração de diamantes ocupados por monômeros de cadeias por $\rho = {}^{N_p M}/_{N}$, a entropia é definida como

$$Sm\ (\rho) = \left(\frac{\rho}{M} + 4 + \rho\right) \ln\left(\frac{\rho}{M} + 4 + \rho\right) - \frac{\rho}{M} \ln\frac{\rho}{M} - (\,4 - \rho\,)\ \ln\ (\,4 - \rho\,) \quad (3)$$

Ao derivarmos a entropia em função de ρ e igualarmos a zero,

$$\frac{\partial S_M}{\partial \rho} = 0$$

$$\left(\frac{1}{M} - 1\right) \ln\left(\frac{\rho}{M} + 4 - \rho\right) - \frac{1}{M} \ln\left(\frac{\rho}{M}\right) + \ln(4 - \rho) = 0 \quad (4)$$

Assumindo M=2 e desenvolvendo a equação 4, a densidade máxima é dada como

$$\left(4 - \frac{\rho_m}{2}\right)\left(\frac{\rho_m}{2}\right) = (4 - \rho_m)^2 \qquad (5)$$

Podemos definir o potencial químico, a partir da seguinte equação

$$\frac{\mu}{K_{BT}} = - \frac{\partial s_m(\rho)}{\partial \rho}$$

$$\frac{\mu}{K_{BT}} = \ln\left(\frac{\rho}{M}\right) - \ln\left(\frac{\rho}{M} + 4 - \rho\right) - \ln(4 - \rho) \qquad (6)$$

4. CONCLUSÃO

O uso de polímeros e a presença deste em nossas vidas é mais comum do que se imagina, entender como este se comporta estruturalmente nos permite compreender muitas de suas propriedades físicas e químicas até mesmo formas de alterá-las afim de se obter um material com uma caraterística especifica desejada.

O intuito principal neste momento do projeto é encontrar uma equação geral que permita calcular o número de maneiras de se dispor uma cadeia polimérica de M-meros em uma rede de diamantes de quatro vértices. O que infelizmente não foi alcançado, vale ressaltar que para alcançar a equação geral foi definido a estratégia de se encontrar casos particulares que nos indicassem o caminho para a equação geral.

O estudo desta equação para casos específicos foi alcançada para o caso onde M=2 onde a mesma satisfaz os valores encontrados. A fórmula é buscada, como já citada, de forma empírica onde alternou-se algumas varáveis a fim de que com isso pudesse, com a fórmula, alcanças o número de maneiras de dispor o qual tinha sido encontrado nos desenhos de análise combinatória. Esta mesma tentativa empírica foi realizada para os demais casos particulares, no entanto não obteve-se êxito uma vez que as mudanças nas variáveis nos casos diferentes de M=2 não levava aos resultados esperados.

Apesar de não ter encontrado o caso geral como objetivado incialmente, a equação para o caso particular encontrada e descriminada no presente relatório, permite ter uma ideia e indica o caminho a trilhar a fim de chegar na equação geral. Premissas como as encontradas, por exemplo, para M=2 o número de possibilidades irá crescer de 4 em 4 unidades ao se acrescer N-diamantes em uma unidade. Além de se saber que ao aumentar M em uma unidade a progressão de crescimento das possiblidades será acrescida em 4 unidades. Ou seja, se para M=2 as possibilidades crescem de 4 em 4 para M=3 as possibilidades crescerão de 8 em 8 e assim sucessivamente.

Sabe-se que alcançar a equação geral desejada que pode ser encontrada através das premissas e conclusões encontradas durante os estudos dos casos particulares no trabalho realizado. Aconselha-se a quem deseja prosseguir com o estudo para o desafio proposto, que busque uma forma de adequar as progressões de crescimento de maneiras de se dispor as cadeias que foram encontradas, na equação para o caso particular aqui descrita, o que até o presente momento acredita-se que leva a equação geral. Ressaltando que esta não é a única maneira de se alcançar a equação desejada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Otavio Henrique Thiemann, A descoberta da estrutura do DNa: de Mendel a Watson e Crick, Quimica nova na Escola , n 17 , 2003.

[3] R. H. Fowler, G. S. Rushbrooke, *Transactions of the Faraday Society* **33**, 1272 (1937); T. S. Chang, *Proceeding of Royal Society. (London)* **A169**, 512 (1939); *Proceeding of the Cambridge Philosophical Society*} **35**, 265 (1939); J. K. Roberts, A. R. Miller, *Proceeding of the Cambridge Philosophical Society* **35**, 293 (1939); G. S. Rushbrooke, H. I. Scoins, A. J. Wakefield, *Discussions Faraday Society* **No. 15**, 57 (1953); H. S. Green, R. Leipnik, *Reviews of Modern Physics*, **32**, 129 (1960), ver referência 11.

[4] D. Napper, *Polymeric Stabilization of Colloidal Dispersions*, New York Academic (1983).

[5] P. G. de Gennes, *Scaling Concepts in Polymer Physics*, Cornell Unniversity Press (1979). [2] P. J. Flory, *Principles of Polymer Chemistry, Cornell University Press*, Ithaca, NY, (1953).

[6] J. F. Stilck, W. G. Dantas, *Revista Brasileira do Ensino de Física* **26**, 407-414 (2004).

[7] M. Fisher, *Physical Review* **124**, 1664 (1961); H. N. V. Temperley, M. Fisher, *Philosophal Magazine* **6**, 1061 (1961).

[8] P. W. Kasteleyn, *Physica* **29**, 1329 (1961).

[9] J. F. Stilck, Minos A. Neto, W. G. Dantas, *Physica A* **368**, 442-448 (2006).

[10] Denise A. do Nascimento, Minos A. Neto, J. Ricardo de Sousa, Octavio D. Salmon, F. Dinóla Neto, J. Nunes da Silva, Physica A **424**, 19-24 (2015).

[11] Willian D. Callister, Ciência e Engenharia de Materiais uma introdução. 8º Edição. Ed. LTC

[12] Sebastião V. Canevaloro, Ciências dos Polímeros. 2º edição , Ed. Artliber

Apêndice A:

Obtenção da entropia

Temos que,

$$\mathrm{r} = \frac{(\mathrm{Np} + (4\mathrm{N} + 1) - \mathrm{MNp})!}{\mathrm{Np}!\,(4\mathrm{N} + 1\ - \mathrm{MNp})!} \qquad (2)$$

Considerando as seguintes propriedades,

a) *Stirling* $\ln N! \approx N \ln N - N$
b) $\ln\left(\frac{A}{B}\right) = \ln A - \ln B$
c) $\ln(A.B\ ) = \ln A - \ln B$

Expandindo (2) aplicando propriedade logaritmo b,

$$ln[(N_P +\ (4n + 1\ ) - MN_P)!] - \ln[N_P\,!\,(4N + 1 - MN_P)!]$$

Aplicando Stirling

$$\ln N! =\ \left(N_p +\ (4N + 1\ ) - MN_p\right) ln\left(N_p +\ (4N + 1\ ) - MN_p\right) -\ \left(N_p +\ (4N + 1\ ) - MN_p\right)$$

$$-N_P \ln(N_P) - N_P - \left[\left((4N + 1\ ) - MN_p\right) \ln\left((4N + 1\ ) - MN_p\right) -\ \left((4N + 1\ ) - MN_p\right)\right]$$

Para encontrar $S_m(\rho)$, dividimos a equação a cima por N

$$S_m(\rho) =\ \left(\frac{N_p}{N} +\ 4 + \frac{1}{N} - \frac{MN_P}{N}\right) ln\left(\frac{N_p}{N} +\ 4 + \frac{1}{N} - \frac{MN_P}{N}\right) -\ \left(\frac{N_p}{N} +\ 4 + \frac{1}{N} - \frac{MN_P}{N}\right)$$

$$- \frac{N_P}{N} ln\left(\frac{N_P}{N}\right) - \frac{N_P}{N} -\ \left(4 + \frac{1}{N} - \frac{MN_p}{N} \ln\left(4 + \frac{1}{N} - \frac{MN_p}{N}\right) -\ 4 + \frac{1}{N} - \frac{MN_p}{N}\right)$$

Assumindo $\rho = \frac{MN_P}{N}$ e $\frac{\rho}{M} = \frac{N_p}{N}$

$$S_m(\rho) = \left(\frac{\rho}{M} + 4 + \frac{1}{N} - \rho\right) ln\left(\frac{\rho}{M} + 4 + \frac{1}{N} - \rho\right) - \left(\frac{\rho}{M} + 4 + \frac{1}{N} - \rho\right) -$$

$$\frac{\rho}{M} ln\left(\frac{\rho}{M}\right) - \frac{\rho}{M} - \left(\left(4 + \frac{1}{N} - \rho\right) \ln\left(4 + \frac{1}{N} - \rho\right) - 4 + \frac{1}{N} - \rho\right)$$

Realizando algumas manipulações algébricas necessárias e aplicando as propriedades logarítmicas (b) e (c) , chegamos em

$$S_m(\rho) = -\frac{\rho}{M}\left(\ln N_p - \ln N\right) + \left(\frac{\rho}{M} + 4 + \frac{1}{N} - \rho\right) ln\left(\frac{\rho}{M} + 4 + \frac{1}{N} - \rho\right) -$$

$$\left(4 + \frac{1}{N} - \rho\right) \ln\left(4 + \frac{1}{N} - \rho\right)$$

Sendo, para o nosso caso específico M=2 e tomando o limite termodinâmico $N \rightarrow \infty$

$$\frac{S}{NK_B} = \lim_{N\to\infty} \frac{ln \uparrow}{N} = -\frac{\rho}{2}\ln\left(\frac{\rho}{2}\right) + \left(\frac{\rho}{2} + 4 - \rho\right) ln\left(\frac{\rho}{2} + 4 - \rho\right) - (4-\rho)\ln(4-\rho)$$

Organizando a equação, tem-se

$$S_m(\rho) = \left(\frac{\rho}{2} + 4 - \rho\right) ln\left(\frac{\rho}{2} + 4 - \rho\right) - \frac{\rho}{2} \ln\left(\frac{\rho}{2}\right) - (4-\rho)\ln(4-\rho)$$

Apêndice B:

Obtenção da densidade máxima através da derivada da entropia em função de ρ.

Sendo a entropia para nosso caso específico para M=2, dada por

$$Sm\ (\rho) = \left(\frac{\rho}{M} + 4 + \rho \right) \ln \left(\frac{\rho}{M} + 4 + \rho \right) - \frac{\rho}{M} \ln \frac{\rho}{M} - (\, 4 - \rho\,) \ln\ (\, 4 - \rho\,) \quad (3)$$

Podemos obter a densidade máxima, através $\frac{\partial S_m}{\partial \rho}$

$$\frac{\partial S_m(\rho)}{\partial \rho} = 0$$

Derivando a entropia com respeito a ρ, tem-se

$$\left(\frac{\rho}{M} + 4 + \rho \right) \ln \left(\frac{\rho}{M} + 4 + \rho \right) - \frac{\rho}{M} \ln \frac{\rho}{M} - (\, 4 - \rho\,) \ln\ (\, 4 - \rho\,) = 0$$

$$\left(\frac{1}{M} - 1 \right) \ln \left(\frac{\rho}{M} + 4 - \rho \right) + \left(\frac{1}{M} - 1 \right) - \frac{1}{M} \ln \left(\frac{\rho}{M} \right) - \frac{1}{M} + \ln(4 - \rho) + 1 = 0$$

Tomando algumas manipulações algébricas,

$$\left(\frac{1}{M} - 1 \right) \ln \left(\frac{\rho}{M} + 4 - \rho \right) - \frac{1}{M} \ln \left(\frac{\rho}{M} \right) + \ln(4 - \rho) = 0$$

Assumindo M=2

$$-\frac{1}{2} \ln \left(4 - \frac{\rho}{2} \right) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\rho}{2} \right) + \ln(4 - \rho) = 0$$

$$-\frac{1}{2} \left[\ln \left(4 - \frac{\rho}{2} \right) + \ln \left(\frac{\rho}{2} \right) \right] + \ln(4 - \rho) = 0$$

aplicando a propriedade de logaritmo, *ln A+ ln B = ln A.B*

$$-\frac{1}{2}\left[\ln\left(4-\frac{\rho}{2}\right)\left(\frac{\rho}{2}\right)\right]+\ln(4-\rho)=0$$

$$\frac{1}{2}\left[\ln\left(4-\frac{\rho}{2}\right)\left(\frac{\rho}{2}\right)\right]=\ln(4-\rho)$$

$$\left[\ln\left(4-\frac{\rho}{2}\right)\left(\frac{\rho}{2}\right)\right]=\ln(4-\rho)^2$$

Aplicando-se exponencial , chegamos à

$$\left(4-\frac{\rho_m}{2}\right)\left(\frac{\rho_m}{2}\right)= (4-\rho_m)^2 \qquad (5)$$

Apêndice C:

POTENCIAL QUÍMICO

Temos que

$$\frac{\mu}{T} = -\frac{\partial S}{\partial N_m} = -\left(\frac{\partial s_{m(\rho)}}{\partial \rho}\right)\frac{\partial \rho}{\partial N_m}$$

Sendo

$$\frac{\partial \rho}{\partial N_m} = \frac{1}{N}$$

$$\frac{\mu}{T} = -\left(\frac{\partial}{\partial \rho}\ (SK_{BT}N)\right)\frac{1}{N}$$

$$\frac{\mu}{K_{BT}} = -\frac{\partial S}{\partial \rho}$$

Substituindo

$$\frac{\mu}{K_{BT}} = -\left(\frac{1}{M} - 1\right)\ln\left(\frac{\rho}{M} + 4 - \rho\right) + \frac{1}{M}\ln\left(\frac{\rho}{M}\right) - \ln(4 - \rho)$$

$$\frac{\mu}{K_{BT}} = -\ln\left(\frac{\rho}{M} + 4 - \rho\right) + \ln\left(\frac{\rho}{M}\right) - \ln(4 - \rho)$$

Organizando a equação

$$\frac{\mu}{K_{BT}} = \ln\left(\frac{\rho}{M}\right) - \ln\left(\frac{\rho}{M} + 4 - \rho\right) - \ln(4 - \rho)\ (6)$$

Apêndice D:

Pressão em função da ρ

Assumindo

$$\frac{p}{T} = \frac{\partial S}{\partial L} = \frac{\mu}{T} = \left(\frac{\partial s_{m(\rho)}}{\partial \rho}\right)\frac{\partial \rho}{\partial L}$$

Tem-se que, L= N . a

$$\frac{p}{T} = \left(\frac{\partial s_{m(\rho)}}{\partial \rho}\right)\left(\frac{\partial \rho}{\partial (Na)}\right)$$

$$\frac{p}{T} = \left(\frac{\partial s_{m(\rho)}}{\partial \rho}\right)\left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)\frac{1}{a}$$

$$\frac{pa}{T} = \left(\frac{\partial s_{m(\rho)}}{\partial \rho}\right)\left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)$$

Continuando as manipulações algébricas

$$\frac{pa}{T} = \left(\frac{\partial}{\partial \rho}\ (SK_{BT}N)\right)\left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)$$

$$\frac{pa}{T} = N\left(\frac{\partial s}{\partial \rho}\right)\left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)$$

6. CRONOGRAMA

Nº	Descrição	Ago 2015	Set	Out	Nov	Dez	Jan 2016	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	Levantamento bibliográfico	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Estudo das leis da termodinâmica		X	x									
3	Estudo de análise combinatória		X										
4	Estudo do conceito de fundamental da entropia e conexão com a mecânica estatística		X	x	x	x	x						
5	Estudo do modelo de gás de rede			x	x	x	x						
6	Estudo da linguagem de programação Fortran		X	x	x	x	x	x	x	x			
7	Obtenção da entropia de cadeias monodispersas sobre uma rede diamante de 4 vértices						x	x	x	x	x		
5	Elaboração do Resumo e Relatório Final (atividade obrigatória)											x	
6	Preparação da Apresentação Final para o Congresso (atividade obrigatória)												x