



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO
LICENCIATURA EM FÍSICA

**AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO
NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE MODELOS
ALEATÓRIOS: PERCOLAÇÃO E MODELO DE ISING**

Desiane Maiara Gomes dos Santos

*Física
Física - Mecânica Clássica
Física - Mecânica Quântica
Física - Eletrodinâmica
Física - Termodinâmica
Física - Óptica
Física - Acústica*

Cuité-PB

2011

*CE
53
22-7*

Desiane Maiara Gomes dos Santos

**AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO
NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE MODELOS
ALEATÓRIOS: PERCOLAÇÃO E MODELO DE ISING**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Licenciatura em Física da
Universidade Federal de Campina Grande, como
um dos requisitos para obtenção de título de
Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Msc. Jair Stefanini P. de Ataíde

Co-Orientador: Prof. Dr. Danyel Judson B. Soares

Cuité-PB

2011



S237t Santos, Desiane Maiara Gomes dos.
As tecnologias da informação e comunicação no ensino e aprendizagem de modelos aleatórios: percolação e modelos de Ising. / Desiane Maiara Gomes dos Santos. - Cuité: [s. n.], 2011.
63fl. : il. color. tab. fig. graf.

Orientador Prof. Msc. Jair Stefanini P. de Ataíde.
Co-orientador Prof. Dr. Danyel Judson B. Soares.
Monografia do Curso de Licenciatura em Física.
Não disponível em CD.

1. Física. 2. Física - ensino e aprendizagem. 3. Física - tecnologia da informação e comunicação. 4. Percolação. 5. Modelo de Ising-bi -dimensional. 6. Percolação - simulação. I. Ataíde, Jair Stefanini P. de. II. Soares, Danyel Judson B. (co-orientador). III. Universidade Federal de Campina Grande. IV. Centro de Educação e Saúde. V. Título

Desiane Maiara Gomes dos Santos

**AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO
NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE MODELOS
ALEATÓRIOS: PERCOLAÇÃO E MODELO DE ISING**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Campina Grande, como um dos requisitos para obtenção de título de Licenciada em Física.

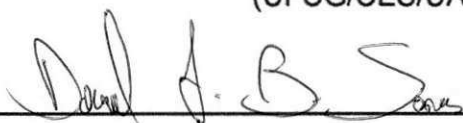
Aprovada em 06 de 12 de 2011

BANCA EXAMINADORA



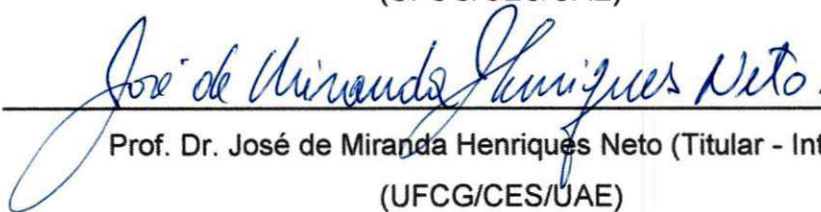
Prof. Msc. Jair Stefanini Pereira de Ataíde (Orientador)

(UFCG/CES/UAE)



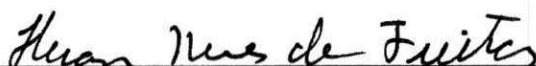
Prof. Dr. Danyel Judson Bezerra Soares (Co-Orientador)

(UFCG/CES/UAE)



Prof. Dr. José de Miranda Henriques Neto (Titular - Interno)

(UFCG/CES/UAE)



Prof. Dr. Heron Neves de Freitas (Suplente)

(UFCG/CES/UAE)

UFCG - BIBLIOTECA

Dedicatória

Ao meu Senhor Jesus Cristo, pois sem Ele eu não sei para onde irei e o que serei. Sua palavra e o Seu Espírito são o sustento do meu viver. A minha mãe, Ivonete Gomes dos Santos, a bem-aventurada e verdadeira mulher abençoada, que me amou, me fez crer que fui escolhida por Deus desde o seu ventre, me auxiliou, me ouviu e me ajudou a suportar a rebordosa que a vida me impôs. Ao meu pai, Luiz Romão dos Santos, por ter me amado sempre e por ter me ensinado mesmo sem saber, o que significa valorizar os gestos simples da vida, como um simples "oi". O Sr. me ajudou a crer que sentirias orgulho de mim. A minha irmã Yvana Maria Gomes dos Santos pelo amor, pelos incentivos, pela distância que me fez ter cuidados por ti e por ter sempre crido em meu potencial. Ao meu irmão Diego Franklin Gomes dos Santos por ter sido um super irmão, um grande amigo e durante esses anos um grande pai. Aos meus avós, Maria Romão dos Santos, Severino Matias dos Santos, Maria Avelino Dantas e Manoel Gomes da Silva (in memoriam) por terem me passado os valiosos exemplos da perseverança e da honestidade. A toda família Gomes e Romão, que se tornaram muito mais importantes em minha vida, sendo evidenciado com o simples olhar do meu primo Otávio Augusto Romão dos Santos Silva demonstrando o brilho e sinceridade de criança, com a vontade de viver da minha prima e melhor amiga Mirele Barros dos Santos (in memoriam) que me deixou com saudades e com a responsabilidade e caráter da minha prima Janoacelli Martins da Silva.

“Não tenho palavras pra agradecer tua bondade

Dia após dia me cercas com fidelidade

Nunca me deixes esquecer

Que tudo o que tenho

Tudo o que sou

O que vier a ser

Vem de Ti Senhor

Dependo de Ti

Preciso de Ti

Sozinho, nada posso fazer.

Descanso em Ti

Espero em Ti

Sozinho, nada posso fazer.

Tudo o que tenho

Tudo o que sou

O que vier a ser

Vem de Ti Senhor.”

(Hino Vem De Ti, Senhor por Diante do Trono)

Agradecimentos

Ao término deste trabalho só me resta agradecer às pessoas que fizeram parte desta trajetória, algumas que foram legais e outras que jamais esquecerei. Os mencionados aqui serão inesquecíveis, uma vez que suas vidas significam algo único para mim por terem feito realmente a diferença em minha vida.

As minhas primeiras companhias em Cuité, Gracilene Aquino, Thacyana Lenise e Vitória Régia Barbosa de Medeiros, que me receberam com muito carinho e atenção e a Mayara Eunice de Macedo Gomes pela amizade.

As amigas e irmãs Acássia Dafyne Silva Oliveira, Dulcilene Lopes de Vasconcelos, Heliara Pereira da Silva, Janaína Fabiana de Lima Dantas, Maria da Conceição de Lima Dantas e Maria Mislene de Lima de Dantas que estiveram ao meu lado por alguns anos. Foram vocês que deram um bom suporte para que eu continuasse até aqui, pois nos momentos mais difíceis que vivi em Cuité vocês sempre estiveram comigo. A nossa amizade foi construída em tempo de paz, mas foi em minha angústia que ela foi provada e aprovada.

Aos amigos da minha turma, Noélia Maria de Medeiros, Teodomiro Félix de Macedo e Priscila da Silva Santos. Noélia foi uma grande companheira, que me dedicou muita atenção e carinho em Cuité; Téó um grande amigo que me fez durante estes anos estar mais perto do meu pai e do meu irmão, uma vez que eles possuem semelhanças impressionantes. Se quisesse escrever em várias linhas o que significou e significa a presença de Priscila em minha vida, por mais que dedicasse muitas linhas, estas nunca seriam suficientes para expressar a sua amizade por mim. És uma amiga sensacional que levarei para sempre comigo.

Ao meu amigo Acácio Silveira de Melo, meu companheiro de história de vida semelhante e que representa muito em minha vida. É em seu nome que agradeço aos meus colegas do curso de Licenciatura em Física e do CES.

Aos amigos da Câmara Municipal de Bananeiras, em especial a minha amiga Vanderleia Maria Aguiar de Oliveira e aos amigos Edgard Santa Cruz Neto e Edson Ricardo Tavares de Moura, que me deram excelente suporte nessa jornada.

A minha segunda família, a família Universal, composta por Homens e Mulheres de Deus, que me ajudaram, apoiaram e continuam orando por mim e por minha família.

A amiga Ana Beatriz Macêdo Venâncio dos Santos, incentivadora, ouvinte, conselheira e acima de tudo, pessoa escolhida por Deus para me levantar nos momentos de dificuldade com suas palavras sábias. Bia me ajudou a sorrir, não apenas nos momentos maravilhosos, mas também nas adversidades da vida. Guardarei para sempre a sua simplicidade, a meiguice e a amizade. Sempre vou interceder a Deus por você, porque a tua vitória também é minha.

A amiga Joana Paula Santos Rodrigues, pessoa de uma sensibilidade incrível e que só consigo mencionar quem és quando me coloco em seu lugar, pois é assim que sei a diferença de quem sabe ser amiga de verdade.

Aos amigos que fiz na UFCG, dentre os quais cito Renato Cristiano Barreto de Lima, Jimmy Felipe dos Santos, Renalle Aparecida de Jesus, Samuel Andrade do Nascimento, Francinildo Macedo, Pedro Evanilson, Jessica Carla Felizardo Theotônio, Mikaelle Albuquerque, Jessyka Veríssimo e Ozanilde Lidiane Lima Silva. Vocês foram peças fundamentais para a construção e molde do meu caráter pessoal e o de amiga de verdade.

Aos queridos amigos Laura Emília M. Venâncio dos Santos, Matheus Alves e Silvana Ribeiro da Silva, que em pouco tempo se mostraram excelentes amigos, tementes a Deus e um pouco de vocês já significa muito para mim.

Aos professores que tive no Ensino Infantil (O Grãozinho), no Ensino Fundamental (Xavier Júnior e Educandário Imaculada Conceição) e no Ensino Médio (José Rocha Sobrinho).

Aos professores do Curso de Licenciatura em Física do CES, Fábio Ferreira, Rafael Rodrigues, Vera Solange, Pedro Segundo e em especial aos professores Joseclécio Dutra, João Batista, José de Miranda, Heron Neves e Luiz Alberto que sempre me ajudaram com suas palavras sábias.

Ao professor Jair Stefanini P. de Ataíde, pelo incentivo, orientação e amizade.

Ao professor Danyel Judson Bezerra Soares pela orientação e incentivo para a realização deste trabalho.

A professora e amiga Maria de Jesus Rodrigues da Silva, que foi um exemplo para mim. Exemplo este não apenas como professora, mas um ser humano incrível.

Aos Professores Flávia Lins, Lauro Pires Xavier Neto, Marta Maria da Conceição e Leticia Carpolíngua Giesta que contribuíram não apenas em minha formação profissional, mas também pessoal e dessa forma agradeço a todos os professores do CES.

Aos professores Rodrigo Ronelli D. Andrade e Ailton Vicente Barbosa do Colégio Agrícola Vidal de Negreiros (CAVN) pelas supervisões nos Estágios, bem como também aos alunos do CAVN.

Aos funcionários do CES, em especial a Lídia Souto Gomes e Sílvia Santos de Azevedo.

Ao povo cuitense, que me recebeu muito bem.

SANTOS, Desiane Maiara Gomes dos. **As Tecnologias da Informação e Comunicação no ensino-aprendizagem de Modelos Aleatórios: percolação e modelo de Ising.** Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal de Campina Grande. UFCG, Cuité/PB.

RESUMO

Muitas das maneiras de ensinar atualmente não se justificam mais, pois perde-se muito tempo, aprende-se muito pouco e desmotiva-se continuamente. Ensinar e aprender exige muito mais flexibilidade de espaço, tempo, pessoal, grupos e de processos mais abertos de pesquisa e de comunicação. A educação de qualidade é o mais novo desafio, pois tem como meta a formação de um cidadão crítico e reflexivo. Diante desses espaços mais abertos, apresentamos as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) como ferramentas de apoio ao processo de ensino e aprendizagem, permitindo a realização de atividades inovadoras na educação. No meio das TICs, abordaremos de maneira mais intensa a utilização das simulações computacionais em linguagem JAVA como ferramenta de mediação do processo de ensino e aprendizagem de Modelos Aleatórios: percolação e modelo de Ising. Para a compreensão desses modelos, abordamos a teoria, evidenciando os conceitos e comportamentos. As simulações utilizadas neste trabalho são essenciais para compreensão de percolação e modelo de Ising, uma vez que não se tem soluções analíticas. Baseado nestes aspectos e ainda no interesse de utilizarmos uma ferramenta das TICs, apropriamos e utilizamos as simulações como "experimentos", visando comparar os valores teóricos com os obtidos nas simulações, bem como o seu comportamento, frisando de maneira mais intensa que sem as simulações computacionais não obtém-se resultados. Antes da utilização deste "experimento", os conhecimentos sobre percolação e modelo de Ising eram simples e teóricos, não conseguindo assegurar o processo de ensino e aprendizagem da teoria como caráter isolado deste processo. Assim, a união de teoria e prática "experimental" puderam proporcionar através deste trabalho, aspectos relevantes na construção do conhecimento e de um processo de ensino e aprendizagem eficiente.

Palavras-chave: ensino e aprendizagem, simulação, percolação, modelo de Ising.

SANTOS, Desiane Maiara Gomes dos. **The Information and Communication Technologies in the teaching and learning Models Random: percolation and Ising model.** Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal de Campina Grande. UFCG, Cuité/PB.

ABSTRACT

Many ways to teach today are no longer justified. This is because a long time is wasted, one learns very little, and people are continuously discouraged. Teaching and learning demands much more flexibility of space, time, personnel, groups and a more opened process of research and communication. Quality education is the newest challenge; it has as its goal the formation of a critical and reflective citizen. Within these more opened spaces, we present the Information and Communication Technologies (ICTs) as tools to support the teaching and learning process, allowing innovative activities in education. In the ICTs we approach more intensively the use of computer simulations in the Java language as a tool to mediate the process of teaching and learning of Random Models: percolation and Ising model. To understand these models, we discuss the theory, showing the concepts and behavior. The simulations used in this work are essential to the comprehension of percolation and Ising model, since there are no analytical solutions. Based on these aspects and also in the interest of using an ICT tool, we appropriate and use the simulations as "experiments" in order to compare the theoretical values with those obtained in the simulations, as well as their behavior, emphasizing that without the computational simulations, results are not obtained. Before using this "experiment", the knowledge of percolation and Ising model were simple and theoretical, failing to ensure the process of teaching and learning of this theory as an isolated character of this process. Thus, the union of theory and 'experimental' practice were able to provide through this work relevant aspects in the construction of knowledge and of a process of effective teaching and learning.

Keywords: teaching and learning, simulation, percolation, Ising model

Sumário

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	iv
Lista de Tabelas	vi
Lista de Figuras	vii
1. Introdução	1
1.1 Os recursos tecnológicos na Sociedade.....	2
1.2 Propostas das Tecnologias da Informação e Comunicação previstas nos PCN	4
1.3 Aprendizagem Significativa e Crítica.....	7
1.4 Objetivos.....	9
1.5 Metodologia.....	9
1.6 O contexto deste trabalho.....	9
2. Tecnologia da Informação e Comunicação no Ensino de Física	11
2.1 O uso do Computador no Ensino.....	13
2.2 Internet como Ferramenta Pedagógica.....	15
2.3 Simulações como recurso para o Ensino de Física.....	17
2.4 TIC inovando o Ensino e a aprendizagem.....	20
3. Percolação	23
3.1 Percolação por Sítios.....	24
3.2 Transição de Fase e Fenômenos Críticos.....	27
3.3 Expoente Crítico.....	28
4. Modelo de Ising Bi-dimensional	31
4.1 Algoritmo de Metropolis.....	33
4.2 Diamagnetismo.....	36
4.3 Paramagnetismo.....	36
4.3 Ferromagnetismo.....	37
4.4 Antiferromagnetismo.....	38
5. Utilização de Simulações como ferramenta para Compreensão de Modelos Aleatório: Percolação e Modelo de Ising Bi-dimensional	39
5.1 Simulação de Percolação.....	40
5.2 Simulação de Modelo de Ising Bi-dimensional.....	49
6. Considerações Finais	58
Bibliografias	60

Lista de Tabelas

Tabela 1: Limiar de Percolação para diferentes tipos de rede.....	24
Tabela 2: Valores dos expoentes críticos para a percolação com $d=2$ e $3..$	30

Lista de Figuras

Figura 1: Quadro dos princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa crítica desenvolvido por Moreira. FONTE: Moreira, 2005, p. 13.....	7
Figura 2: a) rede triangular, b) rede hexagonal e c) rede quadrada.....	25
Figura 3: Exemplos de percolação em uma rede quadrada de tamanho 100x100 para vários valores de p. Os sítios azuis são ilhas finitas e os sítios verdes pertencem ao aglomerado infinito. a)p=0.2, b) p=0.5, c)p=pc=0.593..., d)p=0.7.....	26
Figura 4: Diagrama de fluxo para o algoritmo de Metropolis.....	35
Figura 5: Alinhamento dos spins em um material ferromagnético em uma rede bidimensional.....	37
Figura 6: Spins alinhados antiparalelamente em um material antiferromagnético em uma rede bidimensional.....	38
Figura 7: À medida que se aumenta em a),b) e c) o valor de p temos o aumento do número de sítios ocupados o que provoca o aumento do tamanho dos aglomerados.....	41
Figura 8: Algoritmo de Newman-Ziff usado para identificar os aglomerados em L=128.....	43
Figura 9: Algoritmo de Newman-Ziff usado para identificar os aglomerados em L=256.....	43
Figura 10: Distribuição do tamanho dos aglomerados finitos no limiar de percolação p=0.5927.....	46
Figura 11: Tamanho médio dos aglomerados.....	47
Figura 12: Observação dos aglomerados percolante de acordo com a probabilidade P_{∞}	48
Figura 13: Curva de uma função de Heaviside.....	49
Figura 14: Spins emparelhados com $T_0 = 0$ e $H = 0$	51
Figura 15: A energia e a magnetização com $T_0 = 0$ e $H = 0$, sendo a Energia (azul) e do Campo Magnético (preto).....	51
Figura 16: Spins desemparelhados com $T_1 > T_0$ e $H = 0$	52
Figura 17: A energia e a magnetização com $T_1 > T_0$ e $H = 0$	52

Figura 18: Spins para cima é próximo a quantidade de spins para baixo	53
Figura 19: A energia e a magnetização com $T_2 > T_1$ e $H = 0$	53
Figura 20: Quantidade de spins para cima e para baixo são iguais.....	54
Figura 21: A energia e a magnetização com $T_3 = T_c > t_2$ e $H = 0$, sendo zero a magnetização média.....	55
Figura 22: Emparelhamento forçado dos spins.....	56
Figura 23: A energia e a magnetização com $T_3 = T_c$ e $H_1 \neq 0$, surgindo um valor médio de magnetização.....	56
Figura 24: Emparelhamento de Spins devido à presença do campo.....	57
Figura 25: A energia e a magnetização com $T_3 = T_c$, H_3 um valor elevado.....	58

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
 INSTITUTO DE FÍSICA
 CAIXA DE CORREIO 20539-900
 RIO DE JANEIRO, RJ, BRASIL

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As perspectivas geradas e construídas no mundo atual, no âmbito tecnológico, estão levando a sociedade para um dos mais fantásticos momentos que é a era digital. E o desenvolvimento tecnológico tem sido utilizado em sua maioria nas grandes multinacionais e até mesmo nas escolas (Moran, 2011). Reconhecer o momento certo de investir em tecnologia tem sido o desafio, pois várias das questões sociais e econômicas implicam em fatores preponderantes nesta utilização. Segundo Moran (2011, a), *“Cada tecnologia modifica algumas dimensões da nossa inter-relação com o mundo, da percepção da realidade, da interação com o tempo e o espaço”*.

De forma precisa e coerente, tentaremos conduzir a exposição das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) desde a utilização pela sociedade de maneira geral até a almejada e bem falada aprendizagem significativa que os mediadores das interações sociais requerem.

De acordo com Moran (2011, a), as tecnologias têm funcionado como ferramentas de apoio, nos permitindo realizar atividades que envolvem uma educação inovadora, sendo estas atividades objetivadas em sala de aula ou em laboratório, com a utilização ou não da Internet, tendo em vista que as tecnologias conseguem modificar algumas das funções do professor. A educação de qualidade em nosso país é um desafio, uma vez que se trata da formação de um cidadão crítico e reflexivo. De forma geral, a educação atual associa-se de maneira direta com tecnologias cada vez mais avançadas e, por mais esforços que se faça para garantir esta educação de qualidade ainda serão mínimos (MORAN, 2009).

Neste capítulo, apresentaremos alguns conceitos importantes para o entendimento deste trabalho. Associaremos à importância de termos cada vez mais presentes, a interligação entre as tecnologias e a educação, abordando de maneira mais intensa a associação entre ambas.

1.1 OS RECURSOS TECNOLÓGICOS NA SOCIEDADE

As tecnologias presentes no século XXI vêm surpreendendo o mundo no tocante as inovações e facilidades, permitindo e influenciando o cotidiano da sociedade, mas precisamente com relação a utilização das redes sociais que a sociedade tem aderido. A evolução da tecnologia tem surpreendido tanto quanto a evolução da humanidade, mostrando de forma sutil que os conhecimentos científicos estão em sua maioria servindo e atendendo os anseios da sociedade, mesmo estando inseridos em uma sociedade “excludente” como menciona Lévy (2008):

“A questão da exclusão [...] não deve nos impedir de contemplar as implicações culturais da cibercultura em todas as suas dimensões. Aliás, não são os pobres que se opõem a Internet – são aqueles cujas posições de poder, os privilégios (sobretudo os privilégios culturais) e os monopólios encontram-se ameaçados pela emergência dessa nova configuração de comunicação”. (LÉVY, 2008, p.13)

De maneira independente e para muitos satisfatória, o ser humano tem conseguido utilizar os mais distintos avanços dos recursos tecnológicos da informação e comunicação, chegando até mesmo a promover alterações em nossos segmentos sociais, basicamente em setores das indústrias, da saúde, dos transportes e de telecomunicações. Encontramos cada vez mais presentes nessas indústrias e em nosso cotidiano a utilização dos recursos para buscarmos solucionar problemas de maneira mais dinâmica, chegando até mesmo a potencializar a produção e a excelência nos serviços prestados.

Se analisarmos um pouco a história mundial, conseguimos perceber que após o fim da Guerra Fria (1989) começou ocorrer novas maneiras de se governar surgindo e elevando aspectos competitivos em todo o mundo. São, no tocante ao desenvolvimento tecnológico que percebemos grande avanço, basicamente ou principalmente se destacando as telecomunicações e a Internet, sendo notório ao menos neste âmbito que partíamos para uma nova vivência mundial, a globalização.

Com o advento da globalização mundial, chegamos a perceber momentos marcantes na economia, na política e na sociedade sendo extremamente discutido e pensado, pois tem apontado e direcionado de maneira indutiva o caminho que deverá ser seguido pelos mais distintos segmentos. O apelo da globalização tem

sido marcante, uma vez que nos tem mostrado um caminho agradável para o desenvolvimento das novas tecnologias (MNEMOSYNE *et al.*, 2011).

A medida que os avanços tecnológicos estão sendo cada vez mais significativos, o processo no qual estamos inseridos tem acionado o nosso raciocínio crítico quanto a utilização destes recursos tecnológicos, pois consegue influenciar diretamente o estilo de vida das pessoas e temos que ter cada vez mais o preparo profissional e o uso consciente dessas tecnologias. (MORAN, 2011)

O acesso aos recursos tecnológicos está sendo cada vez mais democratizado através das políticas de inclusão digital, sendo possíveis acessos a novas tecnologias e a Internet. Nesse sentido, os aspectos excludentes da informação ainda são marcantes, mesmo se tendo uma acessibilidade cada vez mais debatida e até implantada, buscando trazer aspectos relevantes a sociedade como mencionado nos Parâmetros Curriculares Nacionais.

“Embora a realidade nacional esteja longe de corresponder a uma sociedade tecnológica, é inegável o fato de que se vive um processo irreversível de acelerado desenvolvimento tecnológico, que traz consigo mudanças substanciais para a vida em sociedade e nas formas de trabalho humano” (BRASIL, 1998, p. 137).

Esta inclusão não se resume apenas ao fato de termos tais equipamentos no ambiente escolar, mas tem o papel de ir além e quebrar paradigmas com respeito à própria inclusão social, pois a entendemos em sua praticidade quando de fato existe uma interação com a comunidade, baseados no ponto de partida em que a inclusão social busca melhorar as condições de vida da população, visando uma significativa redução das desigualdades sociais.

Dessa forma, a inclusão social e ainda digital buscam equacionar os problemas que permeiam a sociedade, permitindo a igualdade de oportunidades para todos os cidadãos.

1.2 PROPOSTAS DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO PREVISTAS NOS PCNs

O Ministério da Educação (MEC), através dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) propõe a inserção e a necessidade de utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) no processo de ensino e aprendizagem em todos os níveis da educação como uma ferramenta facilitadora, visto que

"O desenvolvimento das tecnologias da informação permite que a aprendizagem ocorra em diferentes lugares e por diferentes meios. Portanto, cada vez mais as capacidades para criar, inovar, imaginar, questionar, encontrar soluções e tomar decisões com autonomia assumem importância. A escola tem um importante papel a desempenhar ao contribuir para a formação de indivíduos ativos e agentes criadores de novas formas culturais". (BRASIL, 1998, p. 138).

Baseado no texto acima e ainda na cuidadosa inserção das TICs notamos de maneira sucinta que sua utilização no Ensino tem que ter o sentido de contribuição significativa na Aprendizagem, pois o fato de apenas termos recursos tecnológicos na sociedade e na escola não implica em uma boa utilização destes para a obtenção de bons resultados.

Mediante uma proposta de uma abordagem diferenciada para o Ensino, presenciamos a necessidade de planejamento por parte do professor, devendo este estar preparado para atividades diversas com foco e desafios múltiplos. A presença única e exclusiva desses aparatos não consegue garantir melhorias no ensino e aprendizagem, uma vez que muitos dos recursos não se encontram sendo utilizados para enriquecer o ambiente educacional (MORAN, 2011 - b).

No âmbito do Brasil, existe de forma pontual uma preocupação real com respeito à inserção das TICs em nosso sistema educacional, pois tem sido tamanha a desigualdade social, nos levando a refletir com respeito às práticas educacionais diferenciadas para cada localidade no país, uma vez que devemos levar em consideração que serão abordagens e realidades distintas.

A proposta de inserção das TICs se torna intencionalmente provocada pelos desenvolvimentos na área tecnológica, possuindo estas, influências diretas no

modo de agir e pensar da sociedade. As ferramentas educacionais ou ainda as novidades nessa área estão surgindo como “salvadoras” do Ensino, quando na verdade percebemos que são instrumentos que podem auxiliar e potencializar a qualidade do Ensino, como disse Moran (2011 B):

“Mesmo com tecnologias de ponta, ainda temos grandes dificuldades no gerenciamento emocional, tanto no pessoal como no organizacional, o que dificulta o aprendizado rápido. As mudanças na educação dependem, mais do que das novas tecnologias, de termos educadores, gestores e alunos maduros intelectual, emocional e eticamente; pessoas curiosas, entusiasmadas, abertas, que saibam motivar e dialogar; pessoas com as quais valha a pena entrar em contato, porque dele saímos enriquecidos. São poucos os educadores que integram teoria e prática e que aproximam o pensar do viver.” (Moran, 2011, B).

Desse ponto de vista e ainda da ótica de que os professores são os agentes diretamente relacionados com as interações sociais e que a educação tem permitido a relação direta ou ao menos tem tentado permitir essa relação de interação humana, percebemos o relevante papel do profissional criativo e competente, não apenas para garantir ao aluno um assento na sala de aula, mas de fato prepará-lo para os desafios do processo ensino e aprendizagem.

Com os processos de ensino e aprendizagem atuais, logo conseguimos nos lembrar das conhecidas aulas tradicionais. E porque nos lembramos dessas aulas? Simples. Lembramos porque mesmo a escola possuindo instrumentos e ferramentas inovadoras, os professores se encontram “prisioneiros” e ainda sendo os centralizadores do conhecimento, sendo isto proporcionado pelo que diz Moran (2011):

“Os alunos estão prontos para a multimídia, os professores, em geral, não. Os professores sentem cada vez mais claro o descompasso no domínio das tecnologias e, em geral, tentam segurar o máximo que podem, fazendo pequenas concessões, sem mudar o essencial. (MORAN, 2011, p. 1).

O essencial citado por Moran (2011), nos leva justamente a ideia central, porém ampla, de que o Ensino tem que buscar uma proximidade íntima e real entre o raciocínio e o viver, não nos levando a aparente modernização do ensino tradicional de uma forma melhorada, mas recolocando-o em seu papel elementar que é justamente o desenvolvimento social.

As propostas expostas nos PCNs apresentam características marcantes e úteis para uma dimensão cognitiva do ensino, porém o caráter de termos inserções no ensino que nos está proposto não garante a homogeneidade das oportunidades sociais tendo em vista do que é mostrado quanto ao sentido das tecnologias no ensino:

"A incorporação das inovações tecnológicas só tem sentido se contribuir para a melhoria da qualidade do ensino. A simples presença de novas tecnologias na escola não é, por si só, garantia de maior qualidade na educação, pois a aparente modernidade pode mascarar um ensino tradicional baseado na recepção e na memorização de informações." (BRASIL, 1998 p.140).

As potencialidades educacionais por meio de textos, televisão, câmeras, computador, Internet e simulações representam um grande leque de propostas, tanto que estão sendo contempladas nos PCNs.

Dessa forma, não podemos mais postergar o uso das TICs no Ensino, mas garantir que a superação da escola ocorra, tendo em vista que estas tem se deixado tornar um elemento que contribui para a exclusão do cidadão. A implantação e a utilização das TICs hão de ser estruturadas, pois a imposição de modelos e de ferramentas neste ensino se torna equivocada, uma vez que a postura do tradicional retorna e penaliza mais uma vez as mudanças sociais, mas precisamente no aspecto escolar.

Assim, a simples introdução dos meios de comunicação e das tecnologias não pode continuar sendo a forma de ocultar os problemas da educação, pois o desafio maior é a maneira como inserirmos no ensino e que contemple o real e perfeito encantamento na proposta que é educar.

1.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E CRÍTICA

Uma vez interessados na teoria da aprendizagem, necessitamos de uma abordagem um pouco ampla no que diz respeito ao processo de captação, ou ainda, de modificação na forma de se obter o conhecimento. Assim, nos lembramos do que David Ausubel (1982) cita com respeito a esta teoria que é justamente valorizar os conhecimentos prévios dos alunos, os levando a representações mentais que possibilitem (re)descobertas de outros conhecimentos, gerando uma aprendizagem prazerosa e atrativa.

Nos restringimos ao caráter abordado por Pelizzari (2011), uma vez que existem duas maneiras de se obter a aprendizagem significativa baseada nas concepções de Ausubel (1982), que são:

“Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrária e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Em segundo, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, e o significado psicológico é uma experiência que cada indivíduo tem.” (Pelizzari *et al.*, 2011, p. 38)

Diretamente relacionado com esta visão, porém nos remetendo a uma mais contemporânea no âmbito da aprendizagem significativa atentamos para a importância de que esta seja ao mesmo tempo crítica, uma vez que os novos conhecimentos adquiridos serão permitidos baseados na aquisição crítica. Essa obtenção crítica de conhecimentos tem que ser estritamente relacionada com o mundo social vivido pelo cidadão, uma vez que se torna necessário ter o olhar crítico do mesmo (MOREIRA, 2011).

Para isto, necessitamos compreender os princípios facilitadores da Aprendizagem Significativa Crítica (ASC) defendidos por Moreira (2005), pois estes norteiam o caminho a ser seguido (figura 1) que encontra-se objetivado em um processo diferenciado no que diz respeito à interação social e esta por sua vez nos permite uma aprendizagem significativa, o fato exposto consegue quebrar alguns paradigmas impostos nas salas de aula durante vários anos no ensino.

<p>Perguntas ao invés de respostas (estimular o questionamento ao invés de dar respostas prontas)</p> <p>Diversidade de materiais (abandono do manual único)</p> <p>Aprendizagem pelo erro (é normal errar; aprende-se corrigindo os erros)</p> <p>Aluno como perceptor representador (o aluno representa tudo o que percebe)</p> <p>Consciência semântica (o significado está nas pessoas, não nas palavras)</p> <p>Incerteza do conhecimento (o conhecimento humano é incerto, evolutivo)</p> <p>Desaprendizagem (às vezes o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico)</p> <p>Conhecimento como linguagem (tudo o que chamamos de conhecimento é linguagem)</p> <p>Diversidade de estratégias (abandono do quadro-de-giz)</p>
--

Figura 1: Quadro dos princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa crítica desenvolvido por Moreira. FONTE: Moreira, 2005, p. 13.

Consideramos os nove princípios abordados devidamente essenciais, pois nenhum destes deixam de tornar evidente a importância do conhecimento prévio como implicador direto na aprendizagem. Porém, existe a necessidade de que este conhecimento prévio não seja tratado como agente inibidor para a obtenção de novos conhecimentos.

A abordagem e obtenção da aprendizagem significativa tem sido a meta de muitos profissionais, uma vez que ocorre muito frequentemente a implantação em suas práticas, belíssimas exposições em data show, porém Moreira (2011) nos desperta a atenção quanto ao último princípio da ASC, que diz:

“Modernamente, o quadro-de-giz tem sido substituído por coloridas, e animadas, exposições em power-point. Dá no mesmo. O que o último princípio propõe é a diversificação de estratégias e a participação ativa, e responsável, do aluno na sua aprendizagem.” (Moreira, 2011, p.14)

Dessa forma, observar a aprendizagem significativa sob um olhar crítico se torna extremamente válido para aquisição do conhecimento e esta ainda permite o que David Ausubel propusera; o descobrir e o redescobrir.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma proposta de uma metodologia que torne possível o ensino e aprendizagem de modelos aleatórios, otimizando a utilização de simulação computacional, evidenciando os conceitos e comportamentos da percolação e modelo de Ising. As simulações computacionais são essenciais para a compreensão desses modelos, uma vez que não possuímos soluções analíticas.

1.5 METODOLOGIA

Pode-se definir a metodologia utilizada neste trabalho como os seguintes passos:

- Estudo da teoria e das características da teoria de percolação;
- Estudo da teoria e das características do Modelo de Ising;
- Busca de Simulação Computacional disponível na *Internet* compatível com os Modelos Aleatórios;
- Validar os modelos comparando os resultados teóricos dos mesmos com os obtidos através das TICs (simulações).

1.6 O CONTEXTO DESTE TRABALHO

Buscando expressar de maneira razoável e ainda compreensível temas que necessitam de uma matemática mais elaborada ou ainda de técnicas de programação computacional, nos baseamos nas TICs como ferramenta potencializadora do Ensino, mas precisamente na diversificação de material para a compreensão de Percolação e Modelo de Ising.

Nosso maior objetivo é apresentar uma proposta de inserção planejada e de objetivos definidos, não tratarmos as TICs apenas por modismo, uma vez que desejamos conduzir a construção do conhecimento de forma investigativa e

direcionada, conduzindo os que irão trabalhar com as simulações na proposta de construção do conhecimento e aprendizagem de maneira coletiva ou até mesmo individual.

No capítulo 2, estudaremos as Tecnologias da Informação e Comunicação no Ensino de Física, mas precisamente no tocante a utilização do computador, internet, simulações e os objetos da aprendizagem. No capítulo 3, estudamos o modelo de percolação, abordando aspectos de transição de fase, ponto e expoentes críticos. No capítulo 4, abordamos o modelo de Ising Bidimensional, sendo necessário para a compreensão deste utilizamos o algoritmo de metropolis, bem como dos conceitos de diamagnetismo, ferromagnetismo e antiferromagnetismo. No capítulo 5 mostramos a utilização de TICs como ferramenta para mediação da aprendizagem de percolação e modelo de Ising, mas precisamente do uso das simulações computacionais em cada um dos temas.

Com este trabalho pretendemos mostrar a facilidade de visualização do comportamento físico a percolação e modelo de Ising através da utilização de simulações, uma vez que a abstração que os temas exigem são contemplados nas mesmas, permitindo assim uma possível e melhor aprendizagem. Nessa busca reflexiva da aprendizagem crítica, nos baseamos em vários dos princípios facilitadores da aprendizagem desenvolvida por Moreira (2005). Assim, as simulações nos revelarão contribuições relevantes na elaboração dos conceitos que nos propomos a investigar.

Este estudo levanta questões importantes concernentes à análise comparativa entre teoria e prática, levantando apontamentos de suas potencialidades e ainda apresentando aspectos de união destes dois para esta pesquisa.

Com o uso do experimento podemos ter nas mãos as ferramentas com alto poder de convencimento, porém com as simulações podemos partir delas e obtermos os dados semelhantes aos reais, senão iguais aos do experimento.

As facilidades que destacaremos nesta pesquisa com respeito ao uso de simulações computacionais, dentre outras é, o baixo custo e ainda a repetição em que o "experimento" poderá ser executado, ampliando o entendimento sobre o ensino e aprendizagem de modelos aleatórios.

CAPÍTULO 2

AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

As tecnologias da informação e comunicação têm sido uma das promessas de inserção, objetividade e proximidade da realidade dos mais diversos e variados estudantes, independentes de sua classe social.

A tecnologia da aprendizagem, especificamente a informática tem sido uma alternativa bastante utilizada nos dias atuais no processo de ensino, não apenas como objeto da aprendizagem em uma escola ou universidade, mas ainda em grandes corporações empresariais. A tecnologia da informática tem surgido como um recurso pedagógico poderosíssimo no processo de ensino e aprendizagem, carregando consigo características de interatividade e mediação de ensino. As TICs têm proporcionado uma excelente relação entre o professor e os estudantes (Moran, 2002).

Através do computador, as TICs têm levantado aspectos estruturais que facilitam o tratamento da informação, permitindo entre tantas outras utilidades o acesso a pesquisa e a interatividade. Através das trocas de ideias na construção do conhecimento não de maneira isolada, mas com bases em um conjunto de fatores para o tratamento da informação, como mencionaram Vianna e Alvarenga (2011) com respeito a uma das modalidades destas TICs:

"As mídias nos permitem compreender conceitos mobilizando vários tipos de inteligências que possuímos, estimulando as habilidades potenciais que temos, não só a inteligência lógico-matemática, mas também a lingüística, a espacial, a fisicocinestésica, a interpessoal, a intrapessoal, a musical, a natural e a existencial" (VIANNA e ALVARENGA, 2011, p.2).

As TICs têm concorrido fortemente para o processo de inclusão e redução das dificuldades da aprendizagem do aluno, bem como auxiliando-o para que haja cada vez mais a inserção no universo das tecnologias como percebemos em várias pesquisas sobre as novas metodologias ,principalmente em Vianna e Alvarenga (2011).

Esse processo acontece visando a pretensão de organização dos ambientes de aprendizagem, superando as barreiras e enfrentando novos desafios que acarretam uma mudança na estrutura curricular tradicional, não sendo a aprendizagem feita de maneira única, mas de várias diferentes.

O professor tem sido nesse processo o ator principal da introdução e inovações das TICs na escola, sendo de sua responsabilidade reinventar o ato de educar, sempre analisando criticamente as TICs, criando situações em que a aprendizagem se torne cada vez mais adaptada à realidade dos estudantes. Como afirma Lévy (1993) com respeito à relação entre sujeitos e objetos:

“O estudo das tecnologias intelectuais permite, então, colocar em evidência uma relação de encaixamento fractal e recíproco entre objetos e sujeitos. O sujeito cognitivo só funciona através de uma infinidade de objetos simulados, associados, imbricados, reinterpretados, suportes de memória e pontos de apoio de combinações diversas. Mas estas coisas do mundo, sem as quais o sujeito não pensaria, são em si produto de sujeitos, de coletividades intersubjetivas que as saturaram de humanidade.” (LÉVY, 1993, p.174)

Essa nova fase do ensino tem estado muito ligada com o envolvimento, com o mundo lúdico, nos remetendo a teoria do Piaget (1993), que destaca o desenvolvimento cognitivo nos mais variados aspectos, que são: conhecimento, consciência, inteligência, o pensamento, a imaginação, a criatividade, o raciocínio, a solução de problemas, a classificação, a simbolização e ainda as fantasias e sonhos. Tais aspectos proporcionam a acomodação e assimilação do ensino.

Algumas disciplinas necessitam de uma abstração imensa e utilização de softwares, figuras, simulações e demais alternativas das TICs poderemos proporcionar um pensamento próximo do que esteja sendo proposto naquele problema ou em determinado modelo físico. Assim, são inúmeras as TICs que poderão ser discutidas e utilizadas no Ensino de Física. Concordando com Vianna e Alvarenga (2011) aguçamos a nossa curiosidade, interesse em inserir as TICs, pois citam:

“Cabe ressaltar que o uso das TIC na escola, não pode ser por puro modismo, não deve ser aleatório, não deve ser sem planejamento e objetivos definidos, não deve ter o intuito de treinar o estudante. É preciso ter domínio dos conteúdos, do software, ter os objetivos definidos e conduzir a construção do conhecimento de forma investigativa e direcionada. Lembremos que, muito provavelmente, deixar o aluno assistindo um filme ou em frente ao computador sem um direcionamento não será válido no

auxílio do desenvolvimento do conhecimento." (VIANNA e ALVARENGA, 2011, p.11)

2.1 O USO DO COMPUTADOR NO ENSINO

Na vertente analisada por Lévy (2008) vemos que os primeiros computadores surgiram na Inglaterra e nos Estados Unidos por volta de 1945, sendo o uso disseminado para a sociedade durante os anos 60, surgindo como grandes máquinas de calcular, em salas enormes e refrigeradas, sendo necessária a alimentação destes pelos cientistas com cartões perfurados. No início dos anos 70, ocorre um maior desenvolvimento e a comercialização do microprocessador, deslanchando assim nos serviços de processamento de dados e dos profissionais da programação.

Ainda pelas exposições de Lévy (2008) vemos que no final dos anos 80 e na chegada dos anos 90, surge um novo movimento por parte dos jovens profissionais nas grandes metrópoles e que ele denomina de movimento sócio-cultural mundial, percebendo a importância deste quando diz:

"[...] Sem que nenhuma instância dirigisse esse processo, as diferentes redes de computadores que se formaram desde o final dos anos 70 se juntaram umas às outras enquanto o número de pessoas e de computadores conectados à inter-rede começou a crescer de forma exponencial. Como no caso da invenção do computador pessoal, uma corrente cultural espontânea e imprevisível impôs um novo curso ao desenvolvimento tecno-econômico. As tecnologias digitais surgiram, então, como a infra-estrutura do ciberespaço, novo espaço de comunicação, de sociabilidade, de organização e de transação, mas também novo mercado da informação e do conhecimento." (LÉVY, 2008, p.32).

Após a breve introdução do processo de surgimento do computador, atentaremos para o uso deste no Ensino. Ao utilizarmos o computador na sala de aula, devemos estar interessados no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que temos que realizar atividades planejadas, para que não nos debruçemos em atividades monótonas. A grande questão de se trabalhar com o computador no ensino é que devemos valorizar o pensamento crítico e subjetivo do aluno, pois estes poderão desencadear novos saberes e habilidades.

A disciplina de Física tem se encontrado entre as que estão causando certo susto para os alunos, uma vez que os conteúdos trabalhados são

considerados como difíceis de serem compreendidos. Mediante esta visão, reiteramos a ideia de utilizarmos o computador como forma de diversificar as estratégias de ensino.

A nova geração que se encontra presente nas escolas produz nos professores a ideia e a expectativa da inovação, baseados na atração que os alunos sentem pelo mundo da computação, mesmo este fascínio ocorrendo às vezes de maneira compulsiva e aleatória.

O encantamento computacional tem permitido de forma prática e viável a simulação de modelos físicos, sendo esta praticidade acionada não como garantia oficial da melhoria e qualidade do ensino, mas como ferramenta que facilita a aproximação e tratamento de modelos.

Freitas e Vital (2011), apontam claramente a utilidade do computador, quando dizem:

“O uso do computador pode auxiliar na solução desses cálculos, oferecendo também a possibilidade de visualizar, refletir sobre os dados e modelos e analisá-los. Atividades bem estruturadas e o ensino assistido por computador constituem um meio didático que pode levar os alunos a conhecerem o papel estruturador da matemática na Física.” (FREITAS e VITAL, 2011, p.2).

O protagonista principal de uma ação planejada na prática pedagógica com a utilização do computador não é a máquina ou as suas várias e possíveis utilidades, mas o professor necessariamente se torna o ator principal, pois caberá a ele instigar o aluno para a construção coletiva do conhecimento, bem como o interesse pela pesquisa, imaginação e criatividade.

A educação tem encontrado um novo modelo e não se pode permitir que os alunos continuem atuando como ouvintes no processo de ensino e aprendizagem. A necessidade de alcançarmos resultados duradouros com relação ao conhecimento não pode excitar os professores, permitindo que o processo de inserção do uso do computador no ensino ocorra de maneira desenfreada, mas que estes aconteçam pautando o enriquecimento da formação do aluno-cidadão.

Realizando um apanhado mais geral com respeito à utilização do computador, que de acordo com Fiolhais e Trindade (2011), vale distinguir dois momentos de sua utilização na educação, que são o antes e o depois do surgimento dos computadores pessoais.

De acordo com esta nova realidade, percebemos que, de maneira um tanto geral, referente à necessidade de viabilizar mudanças na educação, pois o quadro presente antes do advento do surgimento desses computadores percebia aulas teóricas puramente tradicionais. Grande parte da população educacional vivenciou e vivencia tais técnicas desde épocas remotas, porém o momento pós-surgimento trás consigo novas expectativas e tendências para sua utilização.

O momento pós-surgimento não implica no abandono das práticas antigas, nem muito menos na adequação pura e natural das inovações sem que se tenha a utilização do que ainda se encontra definido como sendo o tradicional. Viabilizar implantações e mudanças no sistema educacional não é um processo simples, mas se trata do processo do criar e do recriar esta utilização na sala de aula se trata de uma fase recente.

2.2 INTERNET COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA

A disseminação da Internet tem ocorrido de forma ampla, uma vez que esta se associa a muitas redes interconectadas coletivamente, como o ocorrido na década de 70 nos Estados Unidos, onde estudantes construíram através de vários testes e invenções a rede de computadores ligados uns aos outros.

No final da década de 80, mas precisamente no final desta, foi desenvolvida a Internet, bem como a *World Wide Web (WWW)* ganhando popularidade apenas na década de 90 segundo Fiolhais e Trindadei (2011). A utilização da Internet tem expandido a nível mundial e principalmente entre os jovens estudantes. O impacto da internet foi percebido por um dos maiores teóricos nesta área, Lévy (1993), pensador Francês, que tem sido considerado como o mais

otimista dos filósofos europeus contemporâneos e que sempre mencionou a utilização da Internet para a construção do saber.

A sociedade em geral se surpreendeu com o sucesso da Internet, pois tem se transformado em uma das mais diversificadas bibliotecas do mundo, se relacionando diretamente com a utilização do computador no ensino como já nos referimos antes e ainda se encontra reforçado em Lévy (2008) com respeito à navegação na WWW:

"[...] assim que penetramos no universo da Web, descobrimos que ele constitui não apenas um imenso 'território' em expansão acelerada, mas que também oferece inúmeros "mapas", filtros, seleções para ajudar o navegante a orientar-se. O melhor guia para a Web é a própria Web. Ainda que seja preciso ter paciência de explorá-la. Ainda que seja preciso arriscar-se a ficar perdido, aceitar a "perda de tempo" para familiarizar-se com esta terra estranha." (LÉVY, 2008, p. 85).

A navegação na Web traz consigo o prazer da descoberta, mas esta deve estar associada com os interesses da Internet como ferramenta pedagógica que pretendemos neste trabalho. Através da utilização dos computadores e das redes sociais, as pessoas estão buscando cada vez mais interações, e estas muitas das vezes estão sendo deixadas de lado no mundo real e sendo intensificadas no virtual.

De acordo com Lévy (2008) temos uma importante discussão com respeito ao otimismo em se utilizar a Internet, que diz:

"... Meu otimismo, contudo, não promete que a Internet resolverá, em um passe de mágica, todos os problemas sociais e culturais do planeta. Consiste apenas em reconhecer dois fatos. Em primeiro lugar, que o crescimento do ciberespaço resulta de um movimento internacional de jovens ávidos para experimentar, coletivamente, formas de comunicação diferentes daquelas que as mídias clássicas nos propõem. Em segundo lugar, que estamos vivendo a abertura de um novo espaço de comunicação, e cabe apenas a nós explorar as potencialidades mais positivas deste espaço nos planos econômico, político, cultural e humano." (LÉVY, 2008, p.11).

A ferramenta Internet tem se tornado indispensável no processo de ensino e aprendizagem, pois tem aberto caminhos que possibilitam uma maior interação nas propostas, uma vez que surge como sendo um elo entre o ambiente escolar e o mundo. Com este advento, podemos utilizar textos, imagens, vídeos, softwares que possibilitem a cooperação para a prática docente, facilitando a motivação do aluno.

Diante desses fatos, percebemos que a Internet começou a ser utilizada como ferramenta educacional no início da década de 90 e tem de fato se tornado potencialmente agregada às práticas. Mas, devemos que atentar que a mesma tem conseguido modificar as relações pessoais, cabendo ao professor a missão de percepção quanto ao momento de utilização.

Segundo o pensador da cibercultura, Lévy (2008), percebemos que as perspectivas não de influenciar nessa utilização, pois:

“Não quero que de forma alguma dar a impressão de que tudo o que é feito com as redes digitais seja “bom”. Isso seria tão absurdo quanto supor que todos os filmes sejam excelentes. Peço apenas que permaneçamos abertos, benevolentes, receptivos em relação à novidade. Que tentemos compreendê-la, pois a verdadeira questão não é ser contra, mas sim reconhecer as mudanças significativas na ecologia dos signos, o ambiente inédito que resulta da extensão das novas redes de comunicação para a vida social e cultural. Apenas dessa forma seremos capazes de desenvolver estas novas tecnologias dentro de uma perspectiva humanista.” (LÉVY, 2008, p.12).

As perspectivas humanistas podem ser desenvolvidas, que em nosso pensar, se implantadas na sala de aula, o professor encontra-se possuidor de um importante papel, pois as exigências vindas com a informação são contínuas e o contexto social no qual a realidade escolar está inserida exige adaptações.

2.4 SIMULAÇÕES COMO RECURSO PARA O ENSINO DE FÍSICA

O avanço da tecnologia em nossa sociedade tem conseguido atingir a educação, não apenas no âmbito de inserção nas escolas, mas pela necessidade prática de termos novas maneiras de ensinar e aprender. No tocante a essa tecnologia, temos os softwares e simulações computacionais, que estão sendo trabalhados e cada vez mais elaborados visando um melhoramento do Ensino.

As simulações que aqui utilizaremos estarão em linguagem de programação Java, que é rápida e estável, sendo utilizada pela primeira vez pela Sun Microsystems em 1995. Java é uma tecnologia que capacita muitos programas da mais alta qualidade, como utilitários, jogos e aplicativos corporativos, entre muitos

outros. Basicamente, constitui-se de uma linguagem de programação e um programa para execução chamado de máquina virtual ou *virtual machine*.

O Java é executado em mais de 850 milhões de computadores pessoais e em bilhões de dispositivos em todo o mundo, inclusive telefones celulares e dispositivos de televisão. Existem muitos aplicativos e sites que funcionam somente com o Java instalado, e muitos outros aplicativos e sites são desenvolvidos e disponibilizados com o suporte dessa tecnologia todos os dias. O Java é rápido, seguro, confiável e está em todo lugar, sendo disponibilizado na Internet de maneira gratuita no endereço <http://java.com>.

A fase de utilização de simulações como recurso para o Ensino tem se desenvolvido visando proporcionar conhecimentos e um melhor entendimento do tema trabalhado, uma vez que boa parte desses softwares se baseia em métodos experimentais. Pais (2008) refere-se à importância da simulação como antecipação do conhecimento:

"Na realidade, a simulação é uma noção já existente nas situações clássicas de aprendizagem. Entretanto, o interesse por ela assume um estatuto diferenciado a partir de programas educativos criados para desenvolver esse tipo de aprendizagem, a qual torna-se mais significativa para a compreensão do aluno". (PAIS, 2008, p. 152).

As simulações consistem em modelos matemáticos ou na aproximação bem perto do real de fenômenos naturais que exigem uma grande abstração. Geralmente, essas simulações exigem dos alunos uma boa habilidade intelectual dos mesmos, pois aborda modelos teóricos sofisticados, sendo necessária uma reflexão mais aprofundada. Como cita Pais (2008):

"A simulação não substitui nenhuma exigência das tarefas tradicionais de compreensão do saber, apenas dinamiza o processo de aprendizagem. Para destacar esta tendência conceitual, do ponto de vista pedagógico, indagamos a propósito da simulação no contexto mais específico da aprendizagem escolar, onde o aluno é levado a manipular variáveis, analisar casos particulares, fazer experiências, cálculos e estimativas. Entretanto, mesmo que tais experimentações possam, porventura, serem feitas num ritmo mais dinâmico pelos suportes digitais, onde imperam precisão, rapidez e eficiência, nos parece provável a necessidade de manter, em paralelo, o tempo de reflexão sobre essas ações. Por certo, o resultado do uso da tecnologia tende a ser positivo para a aprendizagem, mas é preciso destacar esse aspecto de complementar entre a potência da máquina e a intensificação do raciocínio humano." (PAIS, 2008, p. 156).

No âmbito do Ensino de Física, encontramos disponíveis na rede vários sites que disponibilizam simulações desde a Mecânica Clássica até a Física Quântica, tentando se aproximar do experimento real realizado apenas em laboratórios. Em vários casos, esta ferramenta se torna indispensável, pois consegue expressar numericamente o que as equações ainda não possibilitaram, sem contar que o atrativo visual muito encanta os adeptos de tal sofisticação no ensino, acreditando que as simulações têm um potencial se adaptarmos a sua utilização na educação, como cita Pais (2008): “[...] através da simulação, essas representações estáticas podem ser ampliadas e, assim, melhor contribuir na elaboração conceitual.” (PAIS, 2008, 156.p).

No que se refere à aprendizagem, a utilização desta ferramenta surge para o aluno como sendo um auxílio na elaboração do conhecimento. Como enfatiza Pais (2008):

“[...] observa-se que a aprendizagem de um conceito torna-se mais significativa na medida em que o aluno é capaz de reconhecê-lo numa diversidade de situações, ou seja, de simular o conhecimento nessa diversidade. Assim, a simulação enriquece a dinâmica de aprendizagem e a referência aos casos experimentados contribui na formação do significado do saber.” (PAIS, 2008, p. 153).

Em relação ao Ensino de Física, estamos interessados em softwares livres disponíveis na rede e não apenas por esta característica, mas também que seja de linguagem fácil, uma vez que o público que os utiliza deverá ao menos ter domínio sobre estas ferramentas. Ao realizarmos buscas, encontramos materiais muito bons, porém em sua grande maioria elaborados em língua inglesa, sendo esta uma das possíveis limitações da utilização das simulações.

Segundo Pais (2008), o conhecimento proporcionado pela simulação traz consigo características intermediárias entre a natureza teórica e a natureza experimental, permitindo assim uma dinâmica maior entre os conceitos e atividades práticas, sendo estas atividades relacionadas diretamente com a ideia de interatividade, pois proporciona a dinamização no processo de aprendizagem.

As simulações são bem tratadas por Pierre Lévy (2008), quando expõe o seu caráter de visualização. Ele propõe sua utilização de modo que possamos atuar em tempo real e perceber as transformações resultantes:

"Tais simulações podem servir para testar fenômenos ou situações em todas as suas variáveis imagináveis, para pensar no conjunto de consequências e de implicações de uma hipótese, para conhecer melhor objetos ou sistemas complexos ou ainda para explorar universos fictícios de forma lúdica. Repetimos que todas as simulações baseiam-se em descrições ou modelos números dos fenômenos simulados e que elas valem tanto quanto as descrições." (LÉVY, 2008, p.67).

Neste contexto do universo virtual, utilizaremos as simulações como um modelo digital e de conjuntos das mensagens emitidas e de entradas fornecidas pelos usuários, como ferramenta facilitadora/potencializadora do Ensino de Física, pois Lévy (2008) intensifica o seu discurso sobre as técnicas de simulação:

"As técnicas de simulação, em particular aquelas que utilizam imagens interativas, não substituem os raciocínios humanos mas prolongam e transformam a capacidade de imaginação e de pensamento. De fato, nossa memória de longo prazo pode armazenar uma enorme quantidade de informações e de conhecimentos. Por outro lado, nossa memória de curto prazo, aquela que contém as representações mentais às quais estamos deliberadamente atentos e conscientes, possui capacidade muito limitada. Não somos capazes, por exemplo, de representar clara e distintamente mais do que uma dezena de objetos interagindo." (LÉVY, 2008, p. 166).

Assim, atentamos para o papel crescente da simulação, sendo o nosso maior interesse nesta pesquisa permitir a formulação e diversidade de abordagens rápidas e bem exploradas desta inserção na realidade, uma vez que o conhecimento simulado abordado por (PAIS, 2008) retrata muito bem o que desejamos esmiuçar:

"O conhecimento simulado não é de natureza teórica e nem chega a ser de natureza experimental; situa-se entre esses dois pólos com a diferença de permitir maior dinâmica na formação de conceitos e na realização da prática. Pertence, portanto, a um território onde se aplica o racionalismo aplicado, onde aspectos básicos de conhecimento, tais como a intuição, a experiência e a teoria, passam de uma configuração estática para uma dinâmica mais autêntica, na qual o movimento contribui na elaboração das idéias." (PAIS, 2008, p. 153).

2.5 TIC INOVANDO O ENSINO E A APRENDIZAGEM

As exposições até aqui mostradas nos possibilitam uma reflexão mais aprofundada e abrangente com respeito à inserção das TICs no Ensino; tendo em vista que, se apresentadas no momento correto chegam a tornarem-se de fato potencializadora para a aprendizagem.

Ao falarmos de inovação, não desejamos dizer que o Ensino tem sido em sua maioria retrógrado, mas que este pode ser (re)inventado e melhor elaborado, sempre baseado em metodologias facilitadora do ensino e aprendizagem. Como reflete Pais (2008), sobre a tendência dessa nova escola:

“A conexão com redes de informação expandirá as condições de comunicação com outras instituições, aumentando ainda a interação entre professores e alunos. Assim, essa nova escola deverá ser concebida como parte integrante do espaço virtual”. (PAIS, 2008, p. 137).

O espaço virtual através das TICs nas aulas, utilizando a Internet, simulações de experimentos e usando o computador promovemos a mediação, contribuindo para a aprendizagem significativa, pois conseguem motivar o alunado (FIOLHAIS e TRINDADEI, 2011). Porém, torna-se necessário que a sua utilização não se transforme em práticas corriqueiras com o uso do computador substituindo a aula tradicional, pois poderemos cair em um ciclo vicioso e, ao invés de estarmos inovando, estamos atropelando esse o novo processo do conhecimento.

Ao mencionarmos a necessidade do conhecer, lembramos do que diz Moran (2011), retratando de maneira sucinta e clara o processo do conhecimento:

“O conhecimento se dá no processo rico de interação externo e interno. Pela comunicação aberta e confiante desenvolvemos contínuos e inesgotáveis processos de aprofundamento dos níveis de conhecimento pessoal, comunitário e social.” (Moran, 2011, p.1).

No âmbito da aprendizagem cooperativa, recorremos a Pierre Lévy (2008), pois relaciona o contato entre os professores e estudantes quanto à partilha de conhecimentos:

“Em novos “campus virtuais”, os professores e os estudantes partilham os recursos materiais e informacionais de que dispõem. Os professores aprendem ao mesmo tempo que os estudantes e atualizam continuamente tanto seus saberes “disciplinares” como suas competências pedagógicas.” (LÉVY, 2008, p. 171).

Assim, acreditamos que o uso da tecnologia tem forte tendência a ser positivo e eficaz para o processo de ensino e aprendizagem, uma vez que destacamos serem importantes os aspectos do raciocínio da mente humana, sendo o professor o mediador das competências no sentido de incentivar e facilitar o pensamento para a aprendizagem.

A validação dos saberes e os processos de aprendizagem não de auxiliarem na qualificação dos indivíduos envolvidos neste processo, pois adotar as TICs na educação sem proporcionar mudanças não significa muita coisa, como reforça Lévy (2008):

“Usar todas as tecnologias na educação e na formação sem mudar em nada os mecanismos de validação das aprendizagens seria o equivalente a inchar os músculos da instituição escolar bloqueando, o desenvolvimento de seus sentidos e de seu cérebro.” (LÉVY, 2008, p.175).

Neste trabalho, não pretendemos mostrar que se devem utilizar as tecnologias a qualquer custo e de qualquer maneira, mas de instigar uma nova cultura dos sistemas educacionais tradicionais, acompanhado os papéis importantes do professor e aluno neste processo (LÉVY, 2008).

Ao mencionarmos nosso grande entusiasmo com respeito à inovação das TICs no Ensino e Aprendizagem nos preocupamos com o que PAIS (2008) reflete, mais precisamente com respeito à difusão social da tecnologia, percebendo que há um preço a ser pago para que possamos inserir na sala de aula, afirmando a medida que:

“Enquanto o acesso a uma tecnologia não é estendido a uma parte mais expressiva da sociedade, permanece o estigma de ser um benefício das classes privilegiadas. Nesses termos, sempre haverá uma parcela de excluídos, como é o caso da escrita, uma das antigas técnicas. Por outro lado, julgar que todas as tecnologias servem para a manutenção do poder econômico é desconsiderar suas potencialidades educacionais.” (PAIS, 2008, p. 92).

Dessa forma, o entendimento dessa potencialidade educacional traz consigo um novo quadro pedagógico com as tecnologias da comunicação, sendo estas particularmente peças que podem contribuir de maneira diferenciada para educação, desde os aspectos técnicos de sua utilização até o acesso social (PAIS, 2008), necessitando de estratégias para

“[...] a caracterização de uma tecnologia como recurso didático depende de estratégias compatíveis com a natureza do instrumento e com a linguagem por ele viabilizada. O próprio computador, mesmo conectado a uma rede de informação, por si só, não oferece nenhuma garantia de ampliação do conhecimento. Assim, a inserção dos novos recursos da informática na educação pressupõe uma competência pedagógica para a estruturação de objetivos, metodologias e conteúdos apropriados a esse novo instrumento, dando origem a uma vasta área de pesquisa educacional.” (PAIS, 2008, p.104).

CAPÍTULO 3

PERCOLAÇÃO

O primeiro trabalho introduzindo o conceito de percolação foi realizado por Flory (1941) e Stockmayer (1943) quando estudavam como pequenas moléculas ramificadas reagem e formavam grandes macromoléculas. Este processo de polimerização pode conduzir à gelação, isto é, a formação de uma rede de monômeros conectados por ligações químicas abrangendo todo o sistema. Flory e Stockmayer não utilizaram o termo percolação para descrever o modelo deles. O termo percolação apareceu pela primeira vez num artigo de Broadbent e Hammersley em 1957 quando estudavam a passagem de um fluido hipotético através de um meio aleatório. O termo "percolação" se origina no latim *percolatio* que significa filtragem.

A percolação está presente de diversas formas na natureza e em dispositivos criados pelo homem. Na biologia o conceito aplica-se, por exemplo, na disseminação de epidemias. A questão importante que esse conceito ajuda a responder é: qual a concentração crítica de indivíduos sadios numa determinada rede para que a doença não se propague? Na química o conceito aplica-se ao fenômeno de polimerização, onde pequenas moléculas podem formar moléculas maiores através da ativação de ligações entre elas. Se a probabilidade de ativação p é maior que a probabilidade crítica, uma rede de ligações, que se espalha por todo o sistema, é obtida. Isto acontece, por exemplo, no cozimento do ovo. Ao fornecermos calor, aumentarmos o valor de p e, portanto as ligações vão se formando até que exista uma grande estrutura conectada que atravessa todo o sistema. O ovo torna-se um gel com propriedades elásticas semelhantes às das gelatinas.

A percolação é um modelo matemático que apesar de ter uma definição muito simples, apresenta comportamentos que não são triviais e extremamente ricos, tais como: efeitos não lineares, transições de fase, fractalidade, entre outros.

3.1 PERCOLAÇÃO POR SÍTIOS

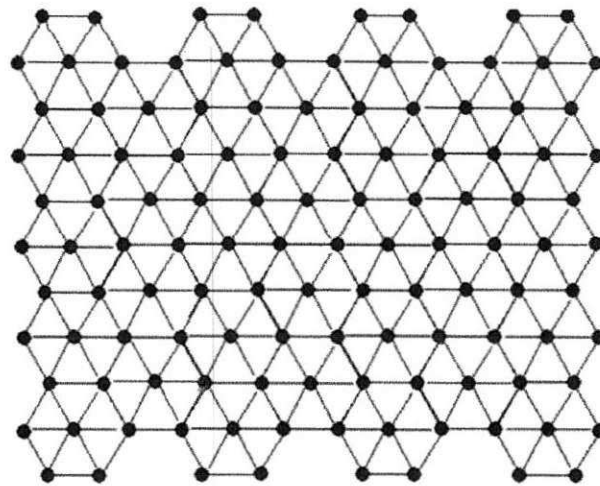
Vamos agora, descrever o modelo da percolação. Considere uma rede qualquer d -dimensional, onde cada sítio da rede pode estar em dois estados, ocupado ou vazio. Cada sítio é ocupado aleatoriamente com probabilidade p , que é interpretada como a concentração de sítios ocupados, ou torna-se vazio com probabilidade $q = 1 - p$. A figura 3 mostra alguns tipos de rede.

Para valores pequenos da concentração p , os sítios estão isolados ou formam pequenos aglomerados (ver figura 3-a) e não existirá um aglomerado que ligue os lados opostos da rede. Se mais sítios forem colocados na rede, o tamanho médio dos aglomerados aumenta (ver figura 3-b) até surgir um aglomerado que conecte os lados opostos da rede.

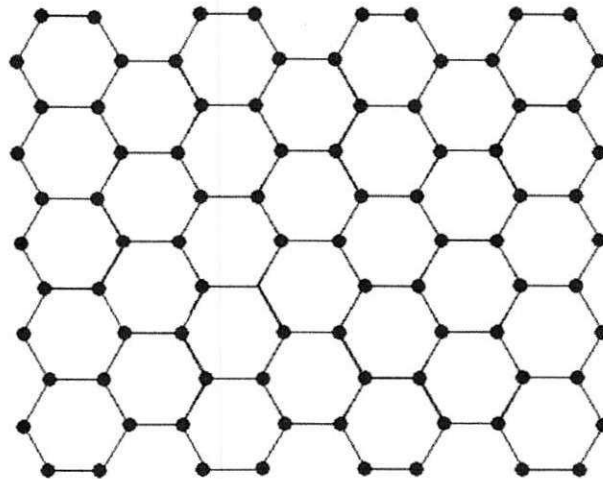
Se houver um aglomerado conectante, dizemos que o sistema percolou e esse aglomerado é chamado aglomerado infinito (ver figura 3-c). No limite termodinâmico (tamanhos tendendo ao infinito) a concentração mínima p para a qual o sistema começa a percolar tem um valor bem definido que é chamado limiar de percolação. Visto que este limiar separa duas fases diferentes, ele também é chamado de concentração crítica p_c . Para valores de p maiores que p_c , o tamanho das ilhas finitas começa a diminuir (ver figura 3-d), pois, as ilhas finitas começarão a fazer parte do aglomerado infinito. A tabela 1 mostra o limiar de percolação para vários tipos de rede. Observando os valores dessa tabela, concluímos que o valor do limiar de percolação depende do número de vizinhos Z e da dimensão d da rede. Quanto maior for o número de vizinhos e a dimensão, menor será o limiar de percolação.

Tipo de rede	Z	d	p_c
Quadrada	4	2	0.592746
Triangular	6	2	$\frac{1}{2}$
Hexagonal	3	2	0.6962
Cúbica Simples	3	3	0.3116
Cúbica corpo centrado	8	3	0.246
Cúbica face centrada	12	3	0.198

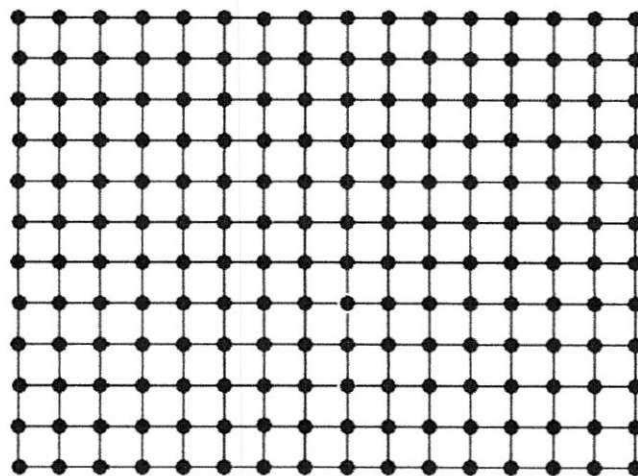
Tabela 1: Limiar de Percolação para diferentes tipos de rede.



a)



b)



c)

Figura 2: a) rede triangular, b) rede hexagonal e c) rede quadrada

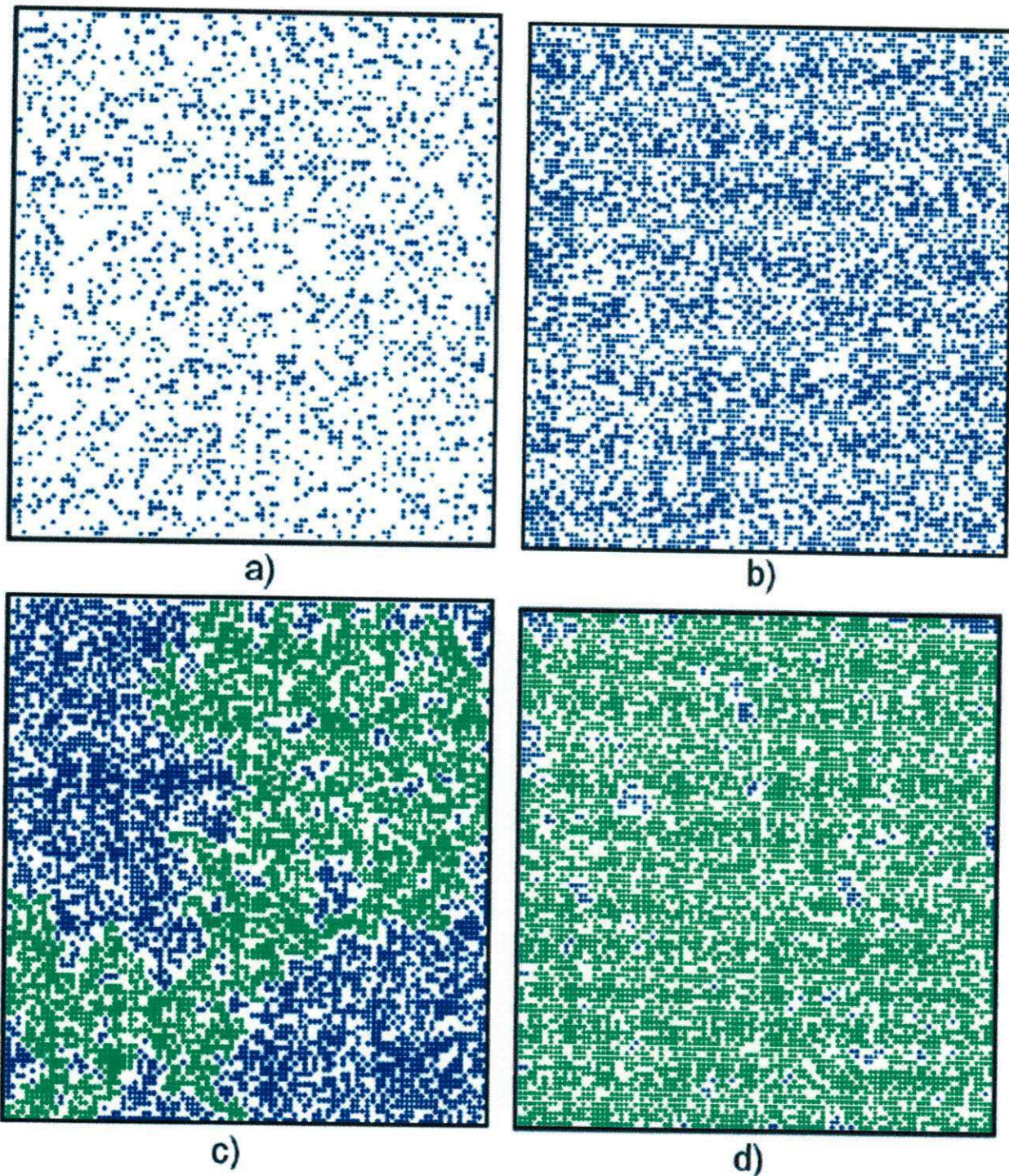


Figura 3: Exemplos de percolação em uma rede quadrada de tamanho 100x100 para vários valores de p . Os sítios azuis são ilhas finitas e os sítios verdes pertencem ao aglomerado infinito. a) $p=0.2$, b) $p=0.5$, c) $p=p_c=0.593\dots$, d) $p=0.7$

3.2 TRANSIÇÃO DE FASE E FENÔMENOS CRÍTICOS

A origem da teoria de transição de fase e dos fenômenos críticos é da década de 60, quando os conceitos básicos de classe de universalidade e escala de funções termodinâmicas foram introduzidos. Todos nós já ouvimos falar do fenômeno da transição de fase, sendo o exemplo mais comum a mudança de estado ao mudar a temperatura com pressão constante.

Na descrição das transições de fase, é importante introduzir a noção de parâmetro de ordem, cuja propriedade mais importante é assumir o valor nulo na fase desordenada e o valor não nulo na fase ordenada. Em sistemas que apresentam o ferromagnetismo, por exemplo, o parâmetro de ordem é simplesmente a magnetização do sistema. Para temperaturas acima da temperatura crítica o parâmetro de ordem se anula, ou seja, não há magnetização espontânea.

Sempre que um sistema está na iminência de sofrer uma transição de fase, alguns fenômenos não usuais são observados. Denominamos estes como fenômenos críticos. Aos fenômenos críticos estão associadas leis de escala e a estas expoentes críticos. O estudo dos expoentes críticos de um sistema revela que eles são independentes da maior parte dos parâmetros do modelo, como por exemplo, tipo da rede (depende somente da dimensão da rede). Este fato é chamado de universalidade e todos os sistemas que possuem valor de expoentes críticos em comum são ditos pertencentes a uma mesma classe de universalidade.

Na percolação, ao falarmos em transição de fase, podemos caracterizá-la mediante as propriedades geométricas dos aglomerados na vizinhança do limiar de percolação, sendo suas descrições realizadas por meio de leis de potência e expoentes críticos, onde atentaremos para algumas das leis de potência.

A probabilidade P_{∞} é uma quantidade importante dentro das leis de potência, pois indica a probabilidade de um sítio pertencer ao aglomerado infinito. Logo,

$$P_{\infty} = \frac{\# \text{ de sítios do aglomerado infinito}}{\# \text{ total de sítios ocupados}} \quad (3.1)$$

Para , $p < p_c$, existem aglomerados finitos e $P_{\infty} = 0$. Quando $p \geq p_c$, surge um aglomerado infinito e P_{∞} comporta-se como $P_{\infty} \cong (p - p_c)^{\beta}$.

3.3 EXPOENTE CRÍTICO

Ao estudarmos fenômenos críticos que se encontram longe do equilíbrio necessitamos de informações referentes aos expoentes críticos. No âmbito de percolação os expoentes β, γ e ν conseguem descrever o comportamento crítico associadas à transição de percolação. Estes expoentes não estão sujeitos aos detalhes das redes e muito menos com o tipo de percolação, dependendo apenas da dimensão da rede. Através desses expoentes podemos visualizar os comportamentos das quantidades de percolação quando p se encontra próximo de p_c .

O expoente crítico β descreve como a conectividade do aglomerado infinito vai a zero no limiar de percolação.

Uma vez interessados em obtermos o limiar de percolação, p_c , que será $0 \leq p_c \leq 1$. Para obtermos esse valor precisamos utilizar algumas quantidades e observar o comportamento destas em pontos próximos de p_c , uma vez que estamos tratando com um processo estocástico trabalharemos com médias de configurações.

Para estudarmos o ocorrido no modelo de percolação precisamos de maiores informações que podem ser obtidas a partir do tamanho do aglomerado, que é $n_s(p)$, definido por

$$n_s(p) = \frac{\text{número médio de aglomerados de tamanho } s}{\text{número total de sítios na rede}} \quad (3.2)$$

Uma vez que $\sum_s sn_s$ é o número total de sítios ocupados e sn_s é o número de sítios ocupados nos aglomerados de tamanho s , expressando a quantidade

$$w_s = \frac{sn_s}{\sum_s sn_s} \quad (3.3)$$

que é a probabilidade que um local é ocupado aleatoriamente que faz parte de um aglomerado de sítio-s. Portanto, o tamanho médio S do aglomerado é dado por

$$S = \sum_s sw_s = \frac{\sum_s s^2 n_s}{\sum_s sn_s} \quad (3.4)$$

Podemos ainda determinar a probabilidade $C(r)$ de termos um sítio distante que pertença ao mesmo cluster entre os pontos 1 e $r + 1$ que é dada por:

$$C(r) = p^r \quad (3.5)$$

Para $p < 1$ a probabilidade decai para zero exponencialmente se a distância r vai para o infinito, e temos:

$$C(r) \sim e^{-\frac{r}{\xi}} \quad (3.6)$$

onde $\xi = \frac{1}{|\ln p|}$ é o comprimento de correlação que no ponto próximo de $p = 1$ o comportamento é dado por

$$\xi \sim (1 - p)^{-1} \quad (3.7)$$

que diverge quando p se aproxima de 1.

As quantidades acima têm singularidades a partir das quais, definimos um conjunto de expoentes críticos:

$$P(p) \sim (p - p_c)^\beta \quad (3.8)$$

$$S_{Av}(p) \sim |p - p_c|^{-\gamma} \quad (3.9)$$

$$\xi(p) \sim |p - p_c|^{-\nu} \quad (3.10)$$

Os expoentes críticos dependem unicamente da dimensão da rede, independentemente de sua forma. Na tabela abaixo mostramos alguns valores desses expoentes para $d = 2$ e 3 .

<i>Expoente</i>	$d = 2$	$d = 3$
β	5 / 36	0.42
γ	43 / 18	1.80
ν	4 / 3	0.45

Tabela 2: Valores dos expoentes críticos para a percolação com $d=2$ e 3 .

CAPÍTULO 4

MODELO DE ISING BI-DIMENSIONAL

Um modelo matemático na mecânica estatística foi proposto inicialmente por Wilhelm Lenz em 1920 ao estudante Ernst Ising e tinha como objetivo estudar os fenômenos magnéticos dos materiais, mas precisamente observar se ocorria transição de fase e magnetização espontânea em uma dimensão, sendo mais tarde denominado de Modelo de Ising.

Ising conseguiu observar que em uma dimensão não ocorria à transição de fase e a magnetização espontânea. Já em 1944 Lars Onsager resolveu analiticamente o modelo para duas dimensões na ausência do campo magnético, percebendo ainda que pudesse ocorrer a transição de fase. Neste caso a magnetização foi espontânea. A solução analítica para três dimensões ainda é impossível, porém em baixas temperaturas a magnetização é espontânea.

Assim, o modelo de Ising se trata de uma análise de comportamento dos spins, uma vez que esses modificam suas propriedades mediante alterações em sua vizinhança, ou seja, a temperatura e o campo magnético externo interferem no comportamento dos spins.

Uma substância ferromagnética, ao ser aquecida, perde sua imantação a uma temperatura bem definida, chamada de temperatura de Curie, ocorrendo assim magnetização. A substância na fase paramagnética só adquire magnetização se aplicarmos um campo magnético.

Uma aplicação clássica do Modelo de Ising se dá por meio de simulações em fenômenos magnéticos, considerando basicamente uma rede bidimensional quadrada.

Para estudarmos o modelo de Ising, consideraremos uma rede bi-dimensional, cuja energia total do sistema é expressa da seguinte forma:

UFMG / BIBLIOTECA

$$\mathcal{H} = -J \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j - H \sum_i S_i \quad (4.1)$$

Na equação acima, S_i assume os valores ± 1 , sendo +1 se o spin apontar para cima e -1 se o spin apontar para baixo. O primeiro termo do somatório na equação consideraremos apenas as contribuições entre um determinado átomo e seus primeiros vizinhos, sendo J a constante de vinculação entre os spins e H o campo magnético externo. H se destaca por descrever os materiais diamagnéticos e paramagnéticos, que segue:

- Se $H > 0$, material paramagnético;
- Se $H < 0$, material diamagnético.

Existe também uma relação entre a constante J e os tipos de materiais, como a seguir:

- Se $J > 0$, temos o material ferromagnético;
- Se $J < 0$, material antiferromagnético.

Com o movimento de uma carga elétrica, sabemos que ocorre a criação de um campo magnético e assim podemos inicialmente classificar os materiais em termos de suas propriedades magnéticas, que são:

- **Diamagnéticos** – são materiais que possuem valores negativos de susceptibilidade magnética χ , sendo o campo de magnetização destes, oposto ao campo aplicado; desaparecendo caso o campo aplicado seja retirado. Em termos de orientação dos spins, na presença de um campo χ aplicado ficam em sentidos contrários, diminuindo a intensidade do campo. Exemplos: *Ag, Pb, Hg*.
- **Ferromagnéticos** – são aqueles materiais em que χ é grande e o campo magnético mantém-se quando se remove o campo aplicado. Em termos de orientação dos spins, na presença do campo externo, ficam alinhados ou se

organizam facilmente; aumentando a intensidade do campo. Exemplos: *Fe, Co, Ni*.

- **Paramagnéticos** – são materiais que possuem pequenos valores positivos de χ . Em termos de orientação dos spins, este material possuem spins desemparelhados e na presença de um campo os spins se alinham, aumentando a intensidade do campo magnético. Exemplos: *Al, Ca, Ti*.

4.1 ALGORITMO DE METROPOLIS

Descreveremos nesta seção, de forma objetiva, o algoritmo de Metropolis. Realizar uma média sobre o ensemble distribuído pelos estados acessíveis ao sistema compatíveis com as condições em que o sistema está submetido significa calcular o valor médio de uma quantidade física de um sistema. Porém, nem todos estados acessíveis possuem a mesma probabilidade de ocorrer e visando diminuir o tempo computacional e diminuir a quantidade de erros nos cálculos das médias, não sendo estes realizados de maneira aleatória, utiliza-se de um mecanismo de escolha dos estados acessíveis que estão de acordo com o sistema.

O algoritmo de Metropolis constitui-se num mecanismo de amostragem de importância, estruturado de forma organizada em que a maior parte dos estados acessíveis sejam aqueles com maior probabilidade de ocorrer. Isto é vantajoso, pois considera apenas um pequeno número de estados do sistema que são acessíveis.

Este algoritmo permite que um estado acessível seja aceito ou não, admitindo que a configuração de equilíbrio do sistema se encontre próxima a prevista pela distribuição de probabilidade de Boltzmann. Daí, a escolha do novo estado acessível é feita mediante uma probabilidade, que independe do tempo, mas que se relaciona a característica do estado anterior e ainda do novo estado,

implicando uma dependência do sistema novo do atual estado em que ele se encontra.

Para o caso específico em que desejamos aplicar o algoritmo de Metropolis para uma rede formada por sítios com spins $1/2$, onde em uma determinada configuração aleatória de spins nos sítios, que é o nosso estado antigo, a variação de energia no sistema ocorre mediante a tentativa de virar o spin de um sítio arbitrário, sendo esta modificação um implicador direto na variação da energia total do sistema, baseado na interação do spin do sítio sorteado com os seus primeiros vizinhos.

No caso em que a variação de energia for menor que zero $\Delta E < 0$, a nova configuração será aceita, uma vez que possuirá energia menor que à configuração anterior e ainda favorecerá o equilíbrio. Se a variação de energia for maior ou igual a zero $\Delta E \geq 0$, teremos a probabilidade $e^{\frac{-\Delta E}{kT}}$. Ao sortearmos um número aleatório ξ entre 0 e 1 , e se $\xi < e^{\frac{-\Delta E}{kT}}$, então a configuração atual será mantida ou aceita-se a nova configuração.

O algoritmo assegura que após se atingir a situação de equilíbrio termodinâmico, a média de uma quantidade física é dada por

$$\langle B \rangle = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M A_j \quad (4.2)$$

sendo M o número de configurações totais que o sistema passa, aceitas ou não.

Em uma rede de sítios com spin 1 podemos implementar o algoritmo de Metropolis em uma dada configuração inicial aleatória e um sítio aleatório, escolhendo uma das duas possibilidades do spin e aplica-se o mesmo algoritmo para os sítios com spins $1/2$. Uma maneira de observarmos o que foi dito acima é se em uma rede de spin 1 um sítio possuir spin 0 , escolhe-se de maneira aleatória e com mesma probabilidade para qual das duas possibilidades de spin $+1$ e -1 o sítio poderá ir, sendo de maneira igual para spin $1/2$. Supondo que dentre $+1$ e -1 o spin $+1$ foi sorteado e aplicando o algoritmo de spin $1/2$, existirá a probabilidade do sítio permanecer com a configuração spin 0 ou ir para a configuração spin $+1$.

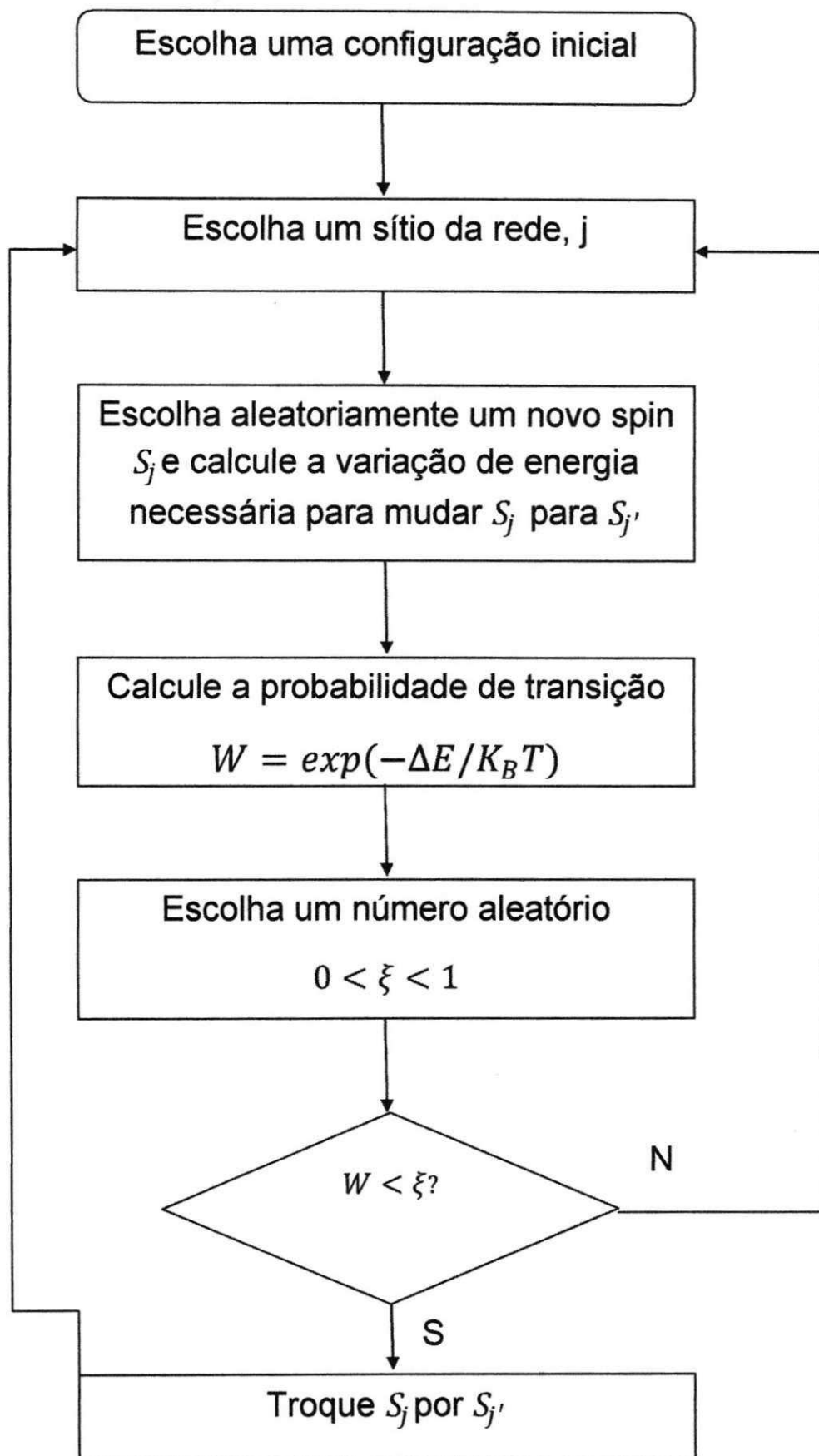


Figura 4: Diagrama de fluxo para o algoritmo de Metropolis

Utilizando o algoritmo de Metropolis na simulação de spins, percebemos que o algoritmo realiza apenas a tentativa de inverter um spin por vez, principalmente quando o sistema entra na região de transição de fase, porque existem grandes flutuações nessa região no que se diz respeito ao equilíbrio do sistema.

4.2 DIAMAGNETISMO

O momento magnético total M , momento de dipolo magnético por unidade de volume, pode ser obtido se multiplicado pelo momento de dipolo total do átomo induzido pelo campo m , sendo m antiparalelo ao campo magnético externo B , e pela quantidade de átomos por unidade de volume N :

$$M = Nm = -N \frac{Ze^2}{6m_e} \langle r^2 \rangle B \quad (4.3)$$

Como $B \approx \mu_0 H$ e $M = \chi_m H$, sendo H um campo, temos:

$$\chi_m = -N \mu_0 \frac{Ze^2}{6m_e} \langle r^2 \rangle \quad (4.4)$$

fórmula de Langevin, sendo o sinal negativo correspondente a Lei de Lenz, mostrando que a magnetização induzida se opõe ao campo B .

4.3 PARAMAGNETISMO

No paramagnetismo um campo externo B tende a alinhar os dipolos, levando o momento magnético total $M \neq 0$, de maneira que $\chi_m > 0$, de forma que a susceptibilidade deve depender da temperatura T :

$$\chi_m = \frac{C}{T} > 0 \quad (4.5)$$

obedecendo a Lei de Curie (Pierre Curie, 1895), sendo C a constante de Curie.

4.4 FERROMAGNETISMO

Podemos caracterizar os materiais ferromagnéticos como sendo aqueles que possuem uma magnetização espontânea, mesmo na ausência de um campo magnético. Ao termos a ideia de magnetização espontânea, lembremos de imediato que os *spins* dos átomos do material tendem a se alinharem. Assim, entendemos que a magnetização passa a ocorrer quando aplicamos um campo magnético e atentamos para as seguintes relações:

- Para altas temperaturas, a magnetização tende a zero quando o campo magnético também tende a zero;
- Para baixas temperaturas a magnetização tende a ser diferente de zero quando o campo tende a zero.
- Há uma temperatura denominada de temperatura crítica abaixo da qual o material é ferromagnético e acima dela é paramagnético.

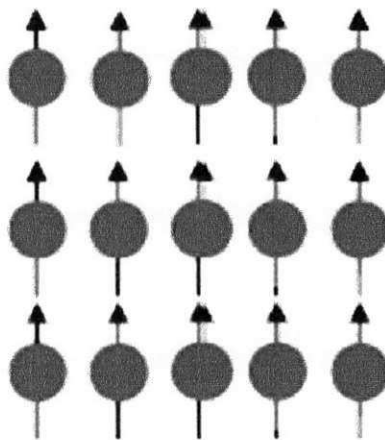


Figura 5: Alinhamento dos spins em um material ferromagnético em uma rede bidimensional

Nos materiais ferromagnéticos o $|M|$ é maior do que em materiais paramagnéticos ou diamagnéticos, sendo a relação entre M e H não-linear. A susceptibilidade magnética desses materiais χ_m possui valores da ordem de 10^2 a 10^3 . E se H cresce, M vai crescendo mais lentamente. Assim, podemos expressar M :

$$M = \frac{C}{T - CW} H \quad (4.6)$$

que é a lei de Curie-Weiss, sendo $\theta = CW$. Uma vez que θ e C são conhecidos podemos determinar W .

Ao aquecermos um material ferromagnético a temperaturas altas a magnetização espontânea será perdida e o comportamento passará a um material paramagnético.

4.5 ANTIFERROMAGNETISMO

O material antiferromagnético é aquele que possui uma tendência natural dos spins se alinharem antiparalelamente, não apresentando neste caso a magnetização espontânea. Este alinhamento se mantém até uma certa temperatura crítica (T_c).

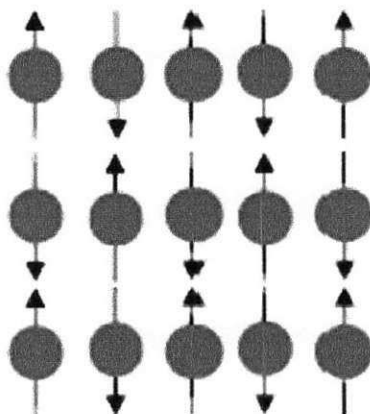


Figura 6: Spins alinhados antiparalelamente em um material antiferromagnético em uma rede bidimensional.

CAPÍTULO 5

AS SIMULAÇÕES COMO FERRAMENTAS PARA A COMPREENSÃO DE MODELOS ALEATÓRIOS: PERCOLAÇÃO E MODELO DE ISING

No Banco Internacional de Objetos Educacionais, encontramos objetos de acesso público e em vários formatos e para todos os níveis de ensino. No nível de Educação Superior, na área de Ciências Exatas e da Terra, na área de Física, encontramos em Animações/Simulações o arquivo *Percolation* que foi publicado na data de 17/06/2008 e disponível no endereço eletrônico (<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/2240>), e tem como título *Java Simulations for Statistical and Thermal Physics*

A linguagem da simulação é em JAVA – Linguagem que roda em todo sistema operacional, sendo esta simulação relacionada a Física estatística e térmica, possuindo como objetivo principal ilustrar alguns dos recursos de mecânica estatística, uma vez que podemos visualizar os processos de equilíbrio e os sistemas mais famosos de estatística.

Este pacote contém simulações de 27 tipos diferentes de sistemas estatísticos e térmico, tais como partículas em uma caixa, passeios aleatórios, sólido de Einstein, gás de Bose, gás de Fermi, fluidos de Lennard-Jones, o modelo de Ising, o modelo XY e percolação, entre outros. É necessária a instalação do *Java Virtual Machine* para que este pacote de simulações venha rodar, sendo o detentor do direito autoral deste pacote a *Open Source Physics*.

Após essa explanação inicial referente à simulação a ser utilizada, percebemos que estas atuam como ferramenta de mediação para a aprendizagem de percolação e modelo de Ising, itens que desejamos abordar mais profundamente com este trabalho, como citado por Pierre Lévy (1993), quando diz:

“Tais simulações podem servir para testar fenômenos ou situações em todas suas variações imagináveis, para pensar no conjunto de conseqüências e de implicações de uma hipótese, para conhecer melhor objetos ou sistemas complexos

UFMG / BIBLIOTECA

*ou ainda para explorar universos fictícios de forma lúdica”.
(LÉVY, 2008, p. 67)*

Dessa forma, desejamos mostrar neste a validade dos modelos, comparando os resultados teóricos com os obtidos nas simulações.

5.1 SIMULAÇÃO DE PERCOLAÇÃO

A percolação se trata de uma transição de fase geométrica onde o parâmetro p sendo mudado continuamente, o sistema mostrará uma mudança qualitativa em p_c , que é bem definido. No caso mostrado a seguir, percolação por sítio, percebe-se que cada sítio da rede estará “ocupado” ou “vazio”, sendo os aglomerados os grupos de sítios vizinhos ocupados.

O intuito de utilizar essa “simulação-experimento” com uma rede quadrada de comprimento L e $p = 0.5927$, onde os sítios são preenchidos de maneira aleatória, destacaremos problemas básicos da percolação, em caráter qualitativo, facilitando assim na determinação de concentração de sítios ocupados para o estado percolativo e ainda as propriedades dos aglomerados.

No processo de percolação, o tamanho dos aglomerados depende da probabilidade p , como segue na figura 7. Na rede infinita temos um ponto crítico $p = p_c$ que indica a transição de fase tal que: para p acima de p_c , existe um aglomerado infinito e para p abaixo de p_c , não existe um aglomerado infinito.

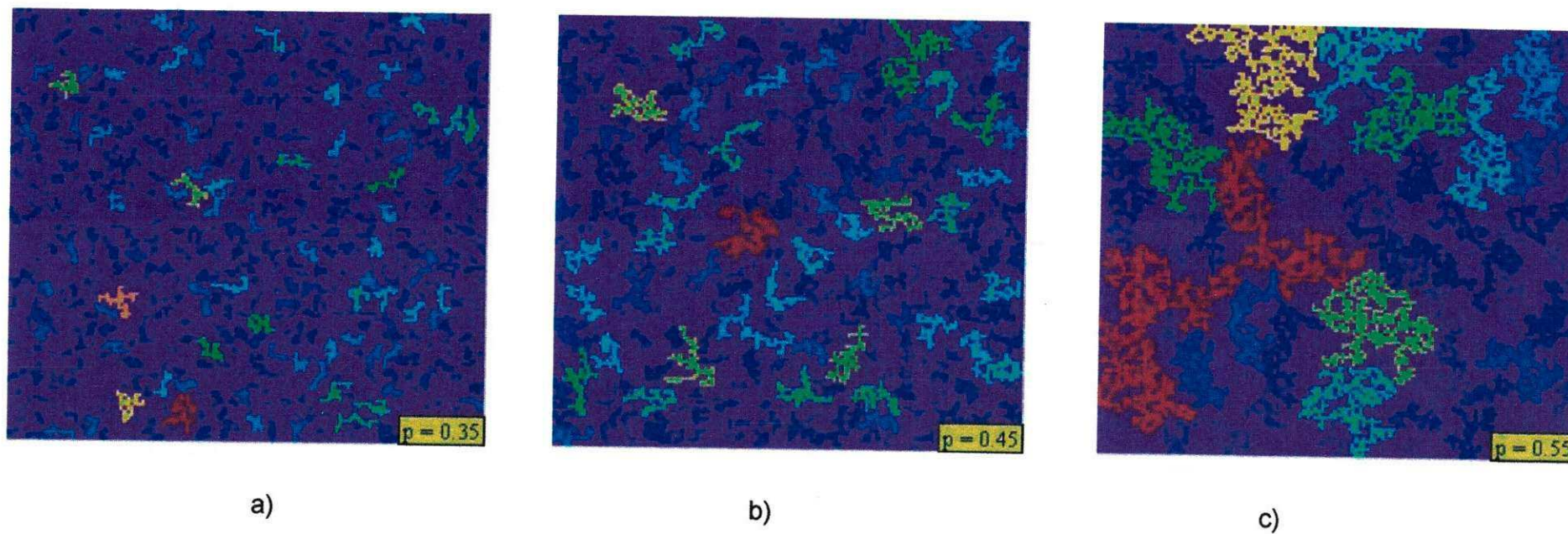


Figura 7: À medida que se aumenta em a), b) e c) o valor de p temos o aumento do número de sítios ocupados o que provoca o aumento do tamanho dos aglomerados.

Com a presente simulação, que estamos tratando como "experimento" demonstraremos algumas das propriedades importantes da percolação, especialmente perto da transição de fase geométrica. A idéia fundamental é a não-existência de um aglomerado percolante de $p < p_c$ e da existência de um aglomerado percolante para $p \geq p_c$, onde p_c é o limiar de percolação.

Uma rede vazia é gerada e sítios serão ocupados com probabilidade p . A ocupação de um determinado sítio é independente da ocupação de todos os outros e o algoritmo de Newman-Ziff (outro algoritmo bastante utilizado é o de Hoshen-Kopelman) é usado para identificar os aglomerados ("clusters"). As propriedades dos aglomerados são computadas como uma função de p e incluem a probabilidade de um sítio que está sendo compreendido no aglomerado, significando assim o seu tamanho. A distribuição de tamanho de aglomerado é calculado de $p = 0,5927 \cong p_c$.

Uma propriedade chave dos sistemas passando por uma transição de fase contínua é que existem aglomerados de sítios ocupados em percolação de todos os tamanhos na transição. Para $p \neq p_c$ existem apenas pequenos aglomerados de fase "desordenada" e pequenos aglomerados na fase "ordenada".

Os pequenos grupos podem ser caracterizado por um comprimento típico (chamado de comprimento de correlação em sistemas térmicos e do comprimento conectividade em problemas de percolação), que diverge como uma lei de potência como a transição se aproxima. Outras quantidades também seguem uma lei de potência, perto da transição.

No modelo de Percolação temos um fenômeno com limiar, pois temos aglomerados muito pequenos e localizados e aglomerados muito grandes que se espalham por toda a rede. As duas fases acima são separadas por um ponto crítico bem definido. O ponto crítico separa fases qualitativamente distintas de um sistema.

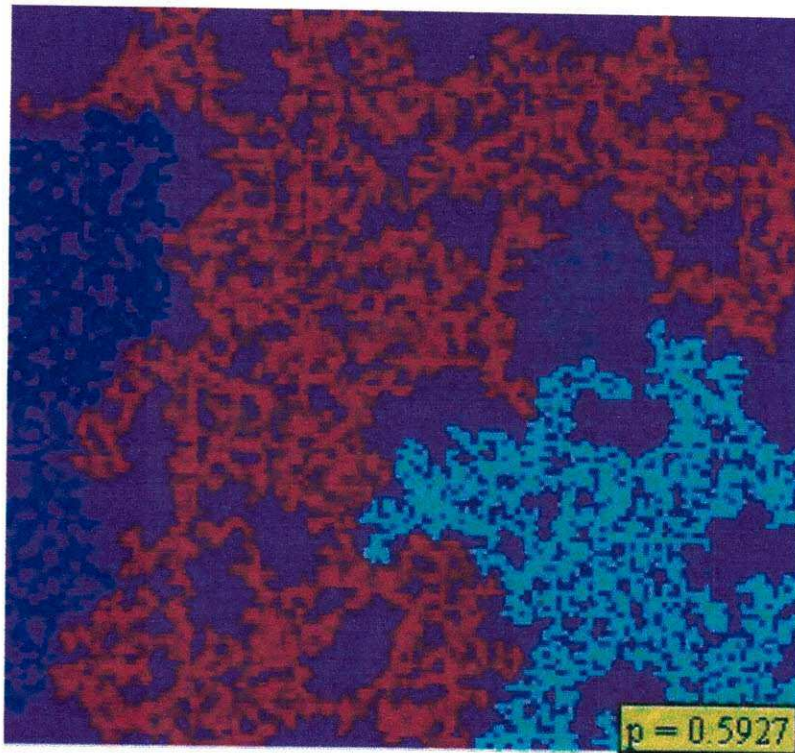


Figura 8: Algoritmo de Newman-Ziff usado para identificar os aglomerados em $L=128$

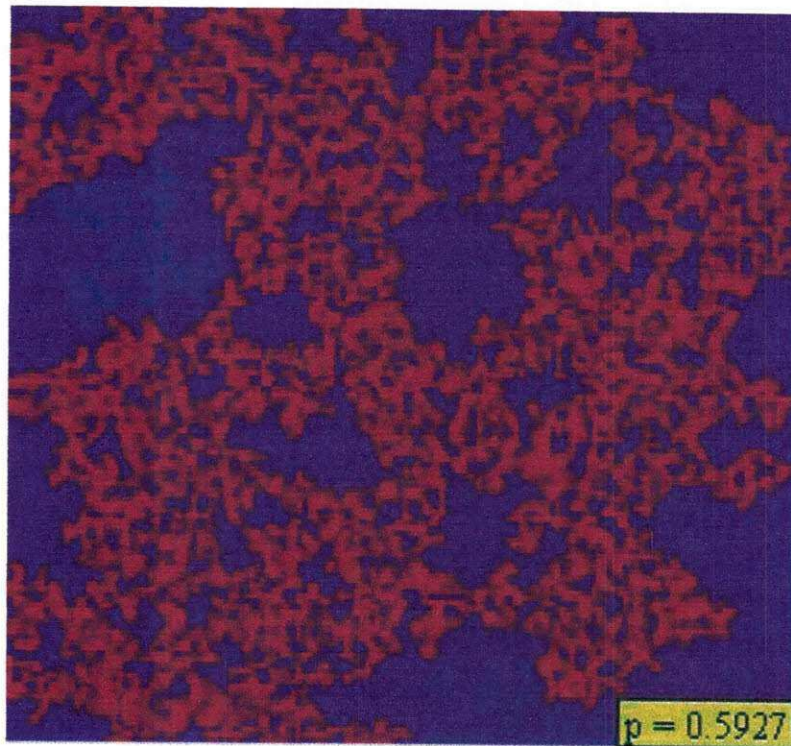


Figura 9: Algoritmo de Newman-Ziff usado para identificar os aglomerados em $L=256$

UFPA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PÁRAMARIBÓ

Executando a simulação e olhando para as configurações de percolação vemos que perto do limiar de percolação, $p_c \cong 0,5927$ os aglomerados aparecem em diferentes tamanhos. Uma vez que o sistema está próximo da transição, às vezes há um aglomerado abrangendo e às vezes não. Ao aumentarmos a estrutura linear de $L = 128$ para $L = 256$ o ensaio se torna mais lento e o tamanho dos aglomerados se tornam maiores.

Quando dizemos que um aglomerado abrange, dizemos que o mesmo toca desde a borda esquerda até a direita da rede. Assim, como um aglomerado pode se estender na horizontal dizemos que há um aglomerado de expansão.

Ainda interessados nas configurações do tamanho médio da distribuição aglomerado (Cluster size Distribution), abordamos uma discussão de percolação onde temos enfatizado a existência de um limiar de percolação p_c e o aparecimento de um caminho gerador ou um aglomerado de $p \geq p_c$. Maiores informações podem ser obtidas no conjunto de distribuição de tamanho médio $n_s(p)$, definido por

$$n_s(p) = \frac{\text{número médio de aglomerados de tamanho } s}{\text{\# total de sítios na rede}} \quad (5.1)$$

O tamanho de um aglomerado refere-se ao número de sítios no aglomerado e não a sua extensão espacial, que no gráfico a seguir mostra exatamente no limiar de percolação a distribuição de tamanhos de aglomerados que segue uma lei de potência.

Ao observarmos a figura 10 percebemos que o gráfico está em na escala log-log, sendo representado por uma reta, indicando assim uma lei de potência. A lei de potência significa dizer que não existe um tamanho característico do tamanho dos aglomerados (diferente de uma distribuição do tipo gaussiana).

Pode-se observar a possibilidade de encontrar aglomerados dos mais diversos tamanhos. Os aglomerados pequenos são muitos frequentes e aglomerados grandes são raros. No final da curva apresenta uma forte flutuação devido ao

tamanho finito da rede para tamanhos maiores, sendo esta flutuação para valores maiores de s .

Na rede infinita essa flutuação tende a zero, sendo o tratamento estatístico realizado utilizando-se da técnica de *Finite Size Scaling*.

No tamanho médio dos aglomerados, estamos considerando os aglomerados que são finitos, onde para valores pequenos de p , o tamanho médio dos aglomerados é pequeno. A medida que p cresce, os tamanhos dos aglomerados irão aumentar até o valor p_c , sendo este aumento devido os sítios que antes estavam isolados agora formam um aglomerado maior (ver figura 11).

Para $p > p_c$ o tamanho vai diminuir, pois o aglomerado infinito vai englobando os outros aglomerados. Para os valores próximos de $p=1$, só haverá basicamente o aglomerado infinito. O pico da curva corresponde exatamente a $p=p_c$.

O sistema apresenta uma transição de fase quando o sistema passa de uma fase para a outra, ou seja, atravessa o ponto crítico. A criticalidade ocorre quando o sistema está no ponto crítico. Ao analisarmos a figura 12 acima em forma de sino que representa a distribuição gaussiana, onde a dinâmica do sistema fora do equilíbrio leva o próprio sistema para o ponto crítico.

De acordo com a figura 12 podemos observar que para valores pequenos de p , não encontramos aglomerados percolantes, sendo que a medida que p vai se aproximando do limiar de percolação, umas poucas amostras, devido ao tamanho finito da rede, apresentam um aglomerado percolante (início da cauda da curva).

Na probabilidade P_∞ , o ponto crítico da transição de fase é o ponto de inflexão da curva ou simplesmente inflexão, sendo um ponto sobre uma curva na qual a curvatura (a derivada de segunda ordem) troca o sinal. A curva muda de ter curvatura côncava para cima (positiva) para concavidade para baixo (curvatura negativa), ou vice-versa.

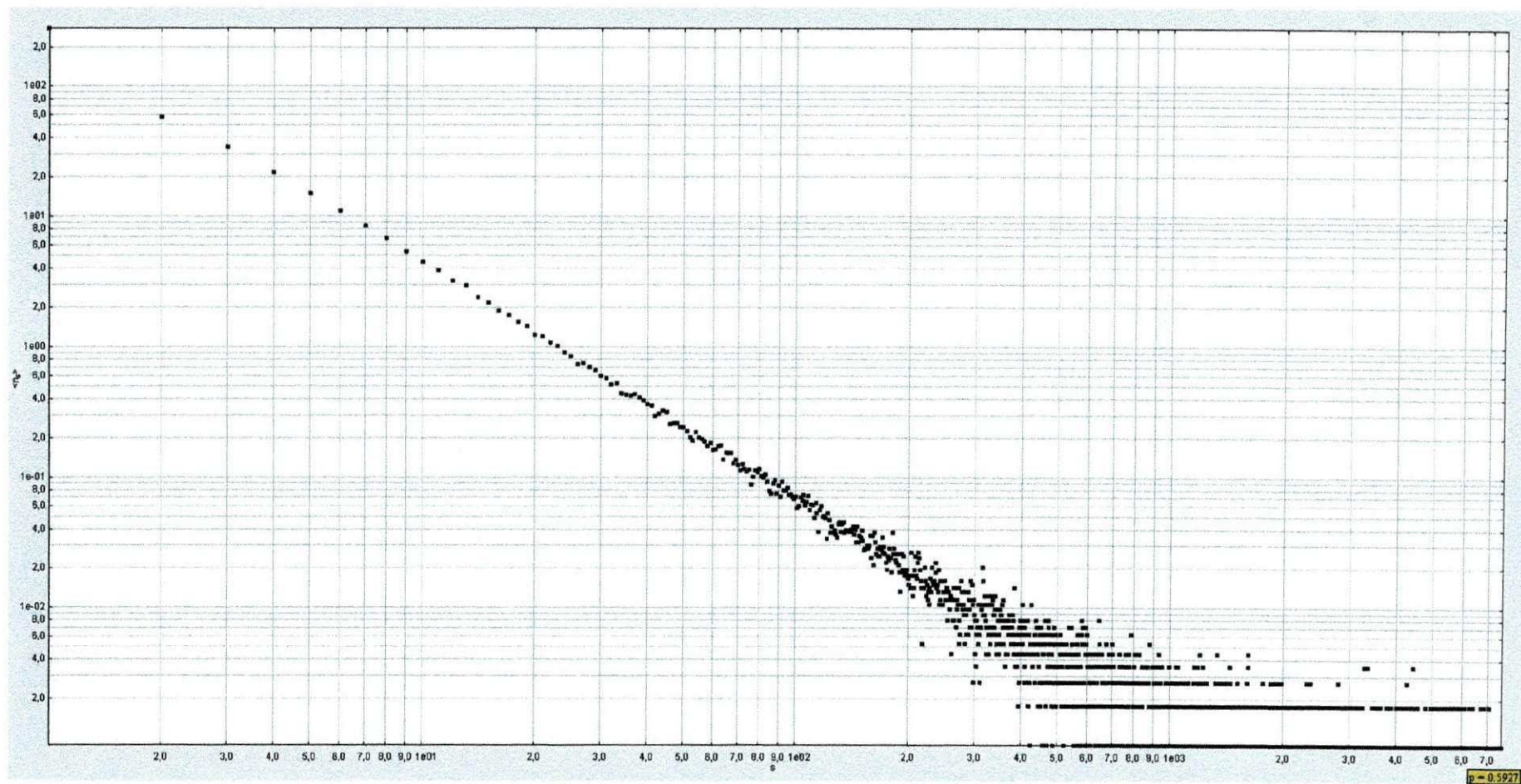


Figura 10: Distribuição do tamanho dos aglomerados finitos no limiar de percolação $p=0.5927$

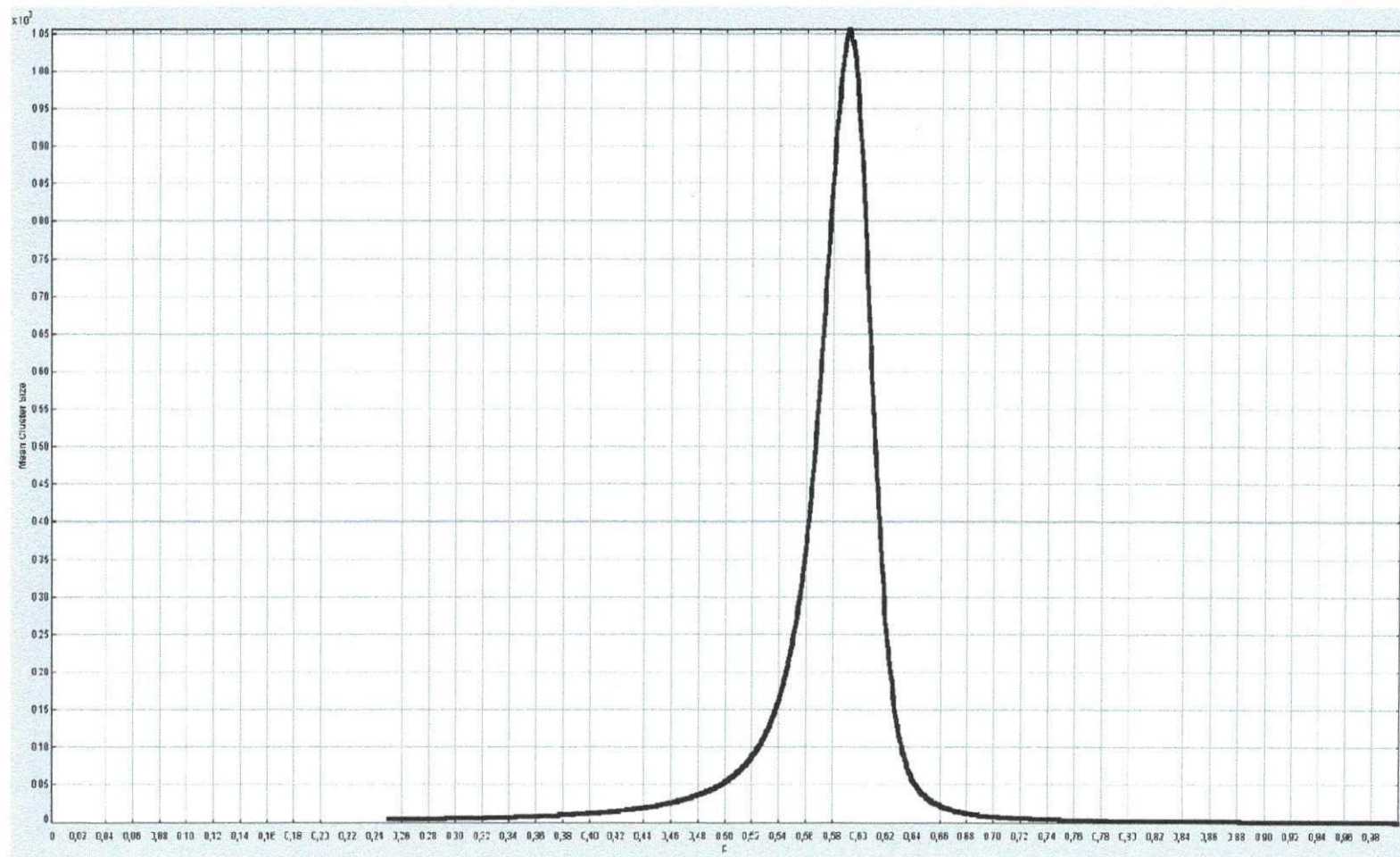


Figura 11: Tamanho médio dos aglomerados.

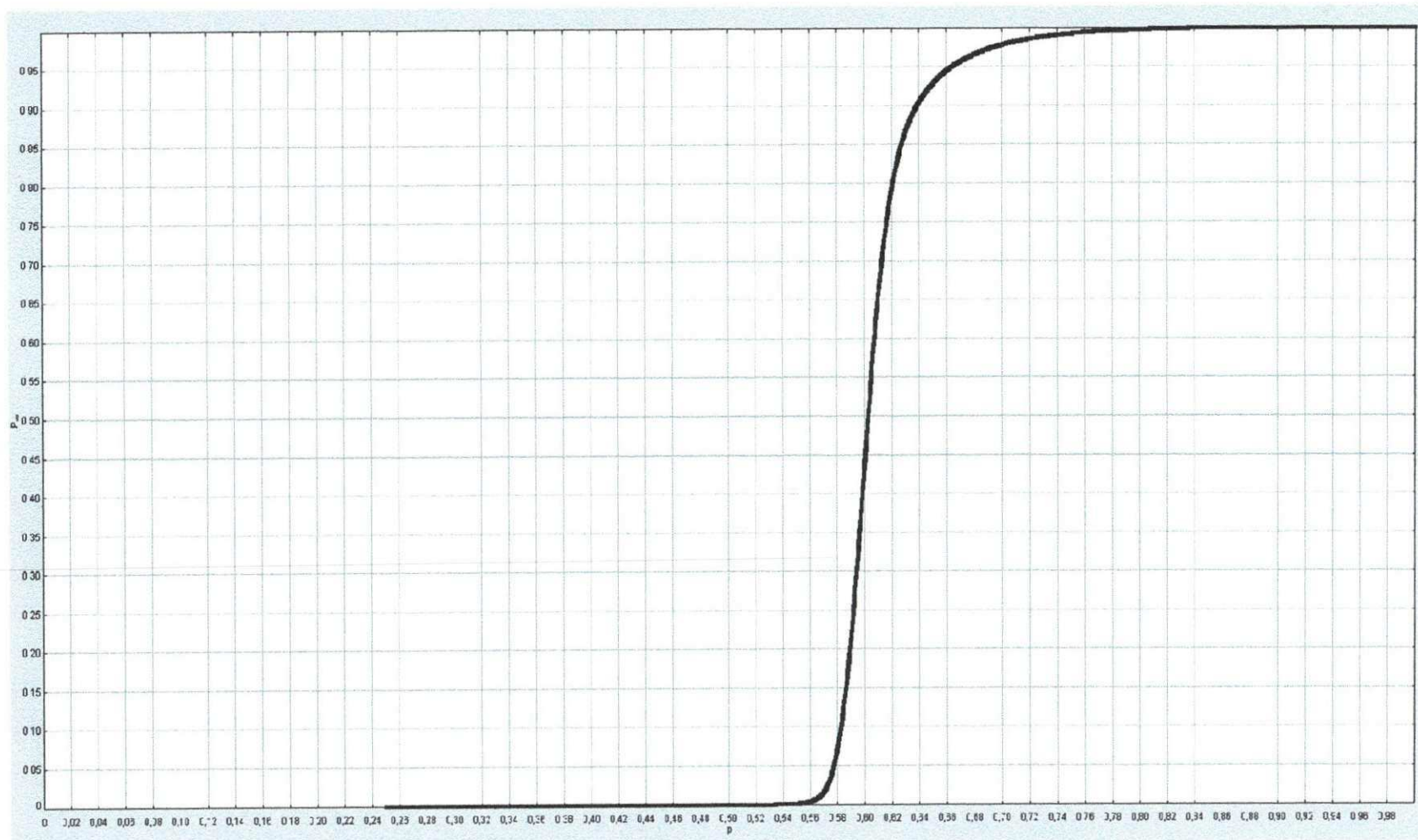


Figura 12: Observação dos aglomerados percolante de acordo com a probabilidade P_c .

Para os valores de $p > p_c$ haverá quase sempre (devido ao tamanho finito) um aglomerado percolante. Se o tamanho da rede for infinito, a curva seria uma função de Heaviside (*função degrau*).

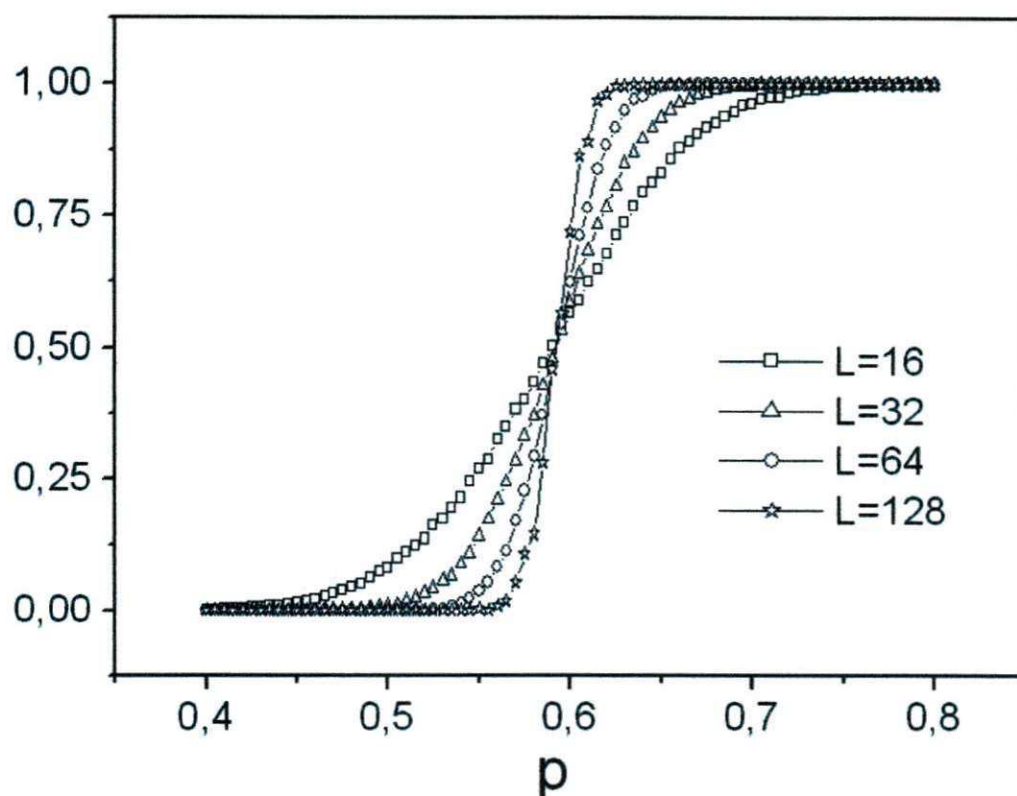


Figura 13: Curva de uma função de Heaviside.

5.3 SIMULAÇÃO MODELO DE ISING

Uma clássica aplicação do modelo de Ising dá-se na simulação de fenômenos magnéticos. Considerando uma rede bidimensional quadrada, de dimensões $L \times L$, ou seja, possuindo $L \times L$ sítios, onde a cada sítio i está associada uma variável i que pode assumir os valores $+1$ ou -1 , representando a orientação magnética de spin na presença (ou não) de um campo magnético externo. Se na rede houver, então, N elementos, o sistema possuirá então $2N$ estados acessíveis, sendo que cada configuração particular do sistema é especificada pelo conjunto de

valores da variável i em cada um dos N elementos da rede, ou seja, especificando-se o conjunto $\{1, 2, \dots, N\}$.

Mais simples do modelo, não trivial, que tem uma transição de fase é o modelo de Ising, um dos mais importantes modelos em mecânica estatística. O modelo consiste de spins localizados em uma rede de tal forma que cada rodada pode assumir um dos dois valores designados como cima e para baixo ou ± 1 .

A energia de interação entre dois spins vizinhos é J se os dois spins estão no mesmo estado e $-J$ se eles estiverem em estados opostos. O modelo de Ising passa por uma fase de transição entre uma ordem e uma fase de desordenados em duas dimensões ou mais. Vamos considerar o modelo de Ising no contexto do magnetismo, mas muitos outros sistemas podem ser entendidos em termos do modelo de Ising. Nenhuma solução exata está disponível em duas dimensões em um campo magnético e arbitrária em três dimensões. Por isso, as simulações do modelo de Ising são essenciais.

A simulação de Monte Carlo do modelo de Ising bi-dimensional será mostrada usando o algoritmo de Metropolis. A saída inclui a energia média, magnetização, susceptibilidade, e a capacidade de calor. A energia instantânea e magnetização são plotadas como uma função do tempo. O algoritmo de Metropolis é utilizado e descrito no contexto do modelo de Ising unidimensional.

Realizaremos a seguir a análise qualitativa do comportamento do modelo de Ising, onde faremos análise para valores de temperaturas diferentes e também com variações no campo externo, percebendo assim uma modificação direta nos valores da energia e da magnetização espontânea com tais modificações.

Na figura 14, encontramos todos os spins alinhados, uma vez que na temperatura $T_0 = 0$ e $H = 0$ e a magnetização é máxima.

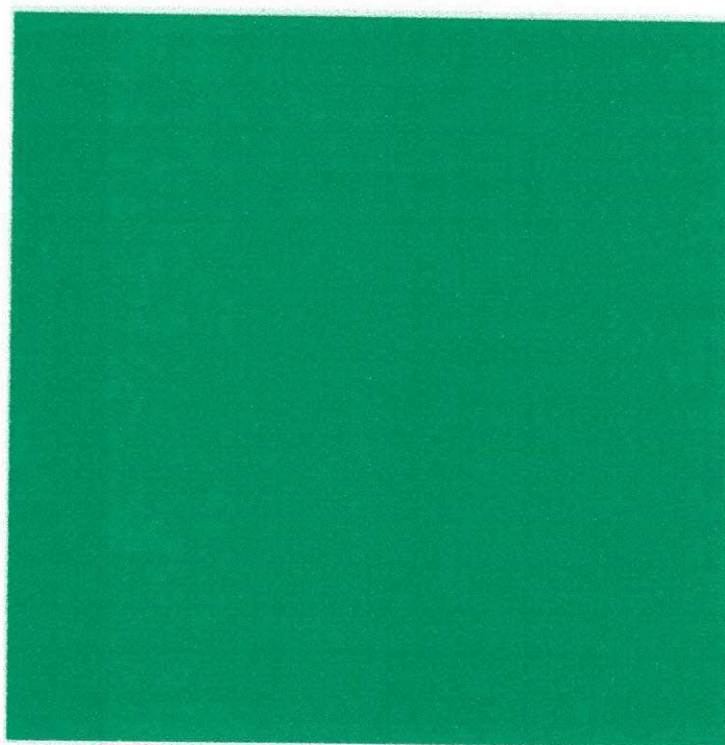


Figura 14: Spins emparelhados com $T_0 = 0$ e $H = 0$

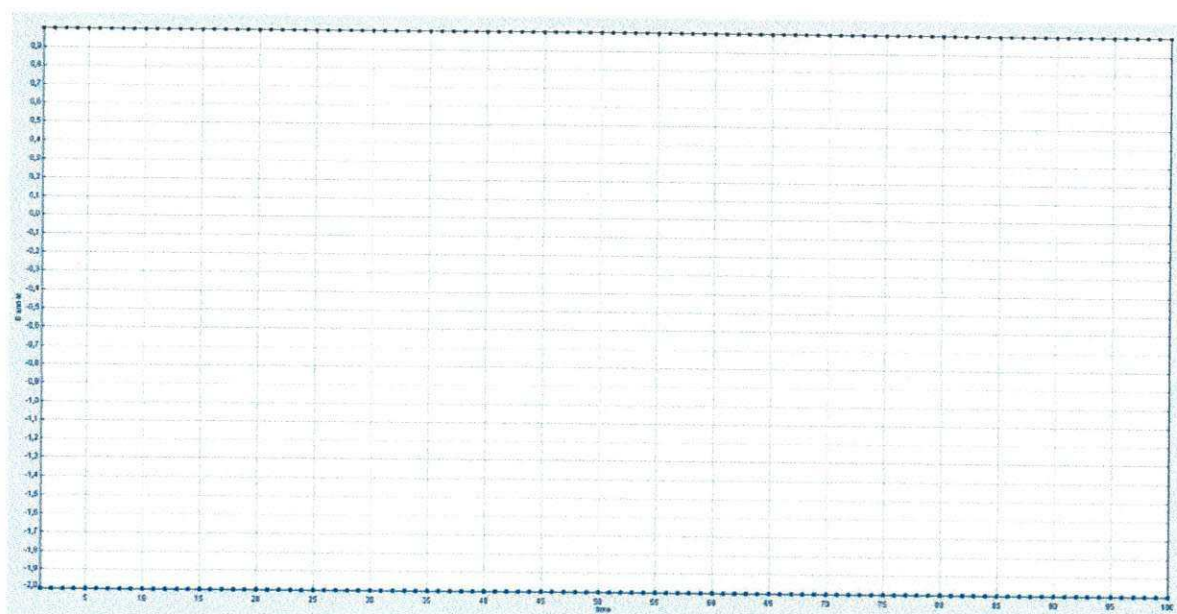


Figura 15: A energia e a magnetização com $T_0 = 0$ e $H = 0$, sendo a Energia (azul) e do Campo Magnético (preto)

Na figura a seguir, consideramos uma temperatura $T_1 > T_0$ e $H = 0$, percebemos que alguns dos spins estão desemparelhados, mas há magnetização. Esse desemparelhamento é devido à agitação térmica, lembrando que isto não é estático, mas é dinâmico.

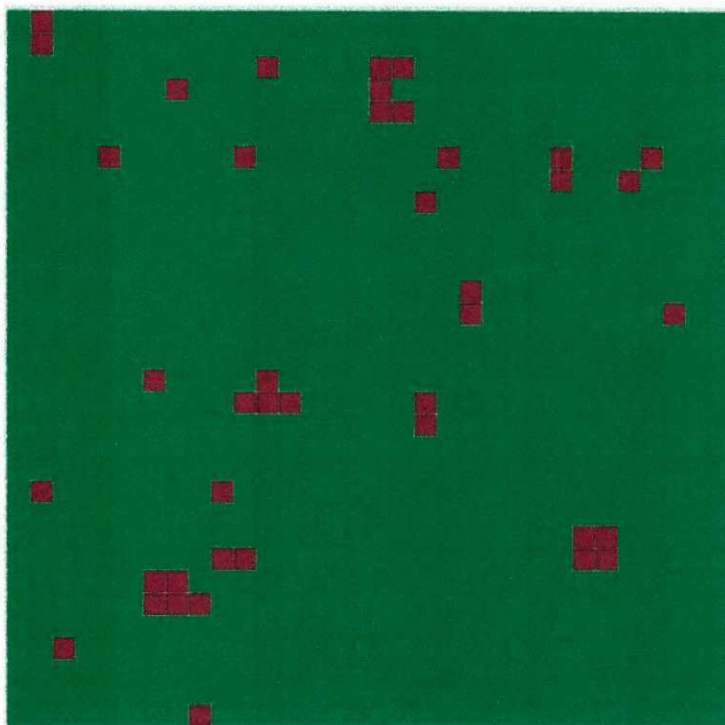


Figura 16: Spins desemparelhados com $T_1 > T_0$ e $H = 0$

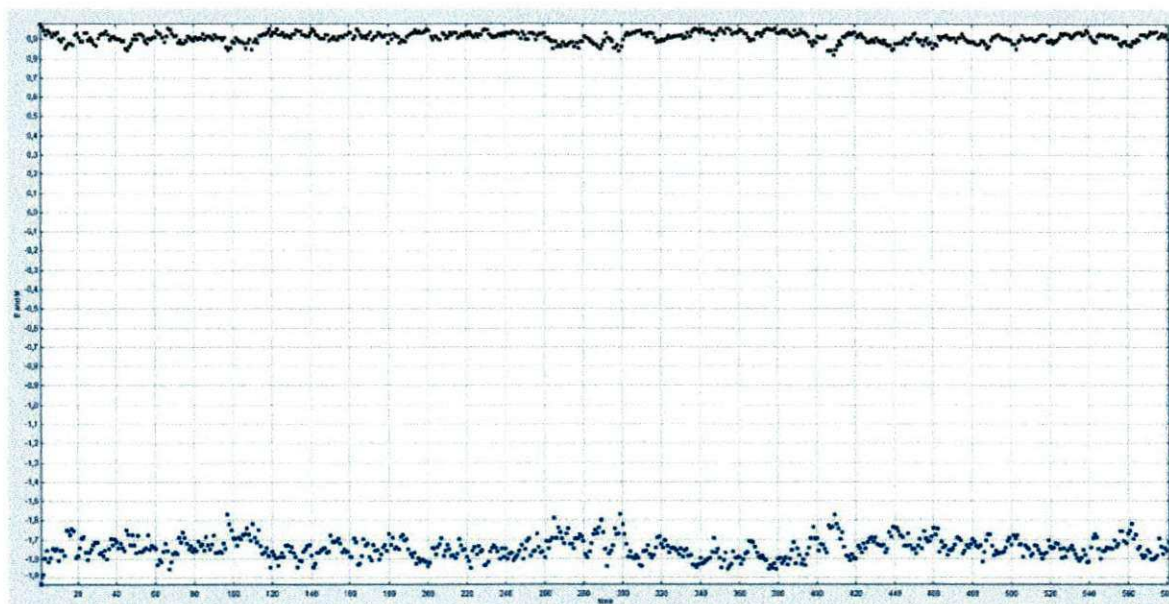


Figura 17: A energia e a magnetização com $T_1 > T_0$ e $H = 0$

Ao escolhermos uma temperatura $T_2 > T_1$ e T_2 próximo a temperatura de Curie e $H = 0$, visualizamos que o número de spins para cima é próximo da quantidade de spins para baixo, havendo ainda magnetização, porém o valor é menor.

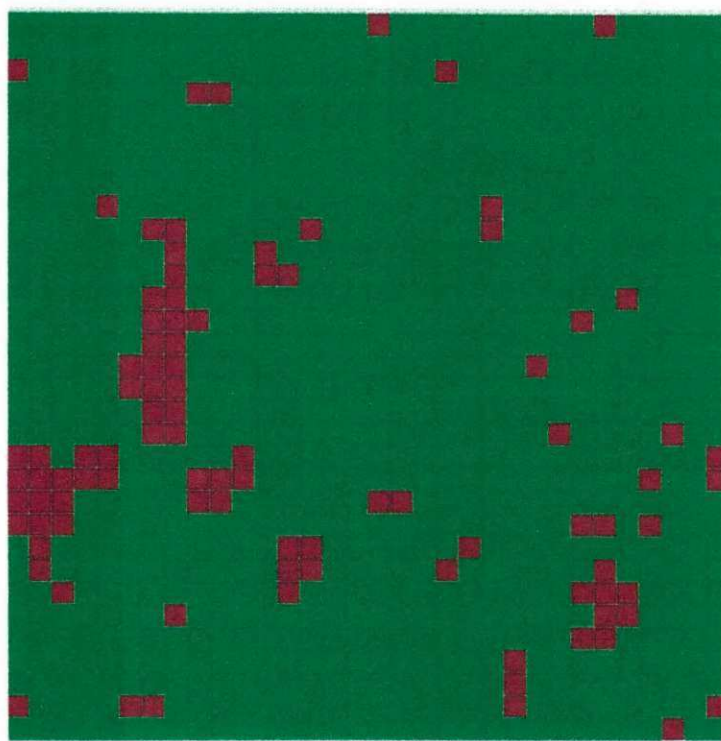


Figura 18: Spins para cima é próximo a quantidade de spins para baixo

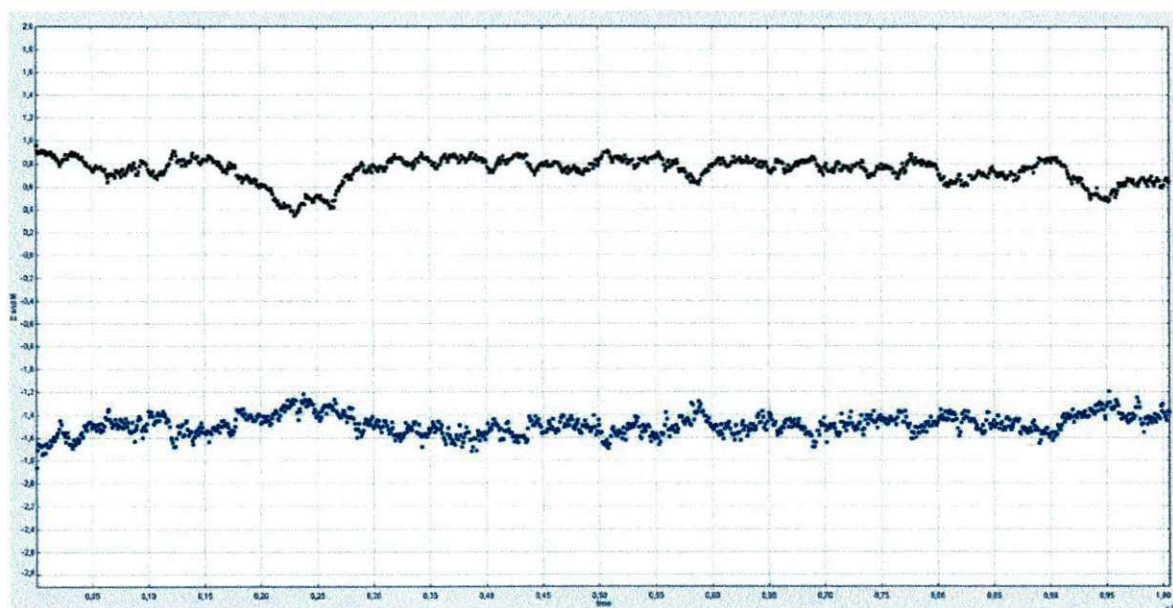


Figura 19: A energia e a magnetização com $T_2 > T_1$ e $H = 0$.

No caso de uma terceira temperatura e esta sendo $T_3 = T_c > t_2$ e $H = 0$, temos que o número médio de spins para cima é igual ao número médio de spins para baixo. A magnetização média é zero e o valor da T_c depende do material. Uma vez que T_c depende do material, iremos utilizar valores genéricos de temperatura, $T_0 < T_1 < T_2 < T_3$.

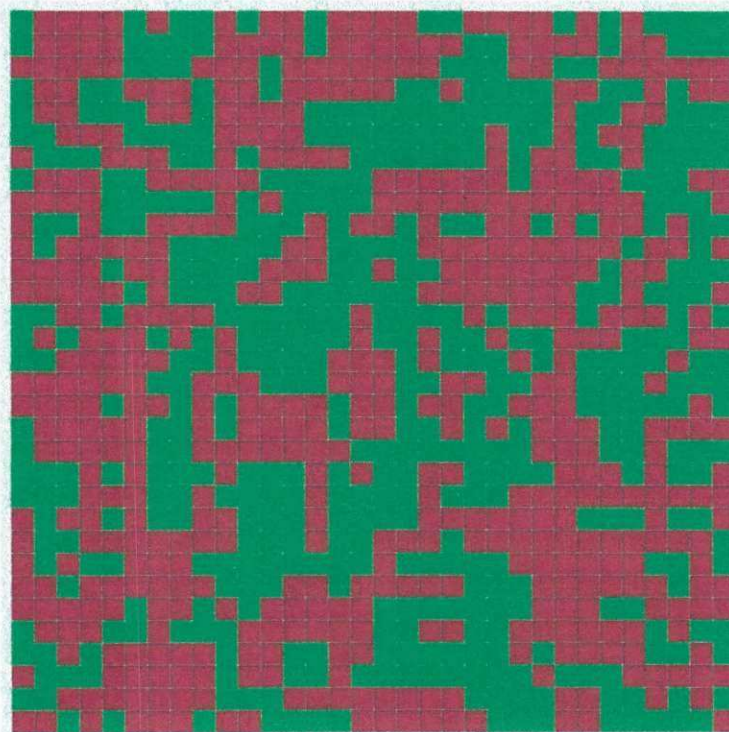


Figura 20: Quantidade de spins para cima e para baixo são iguais.

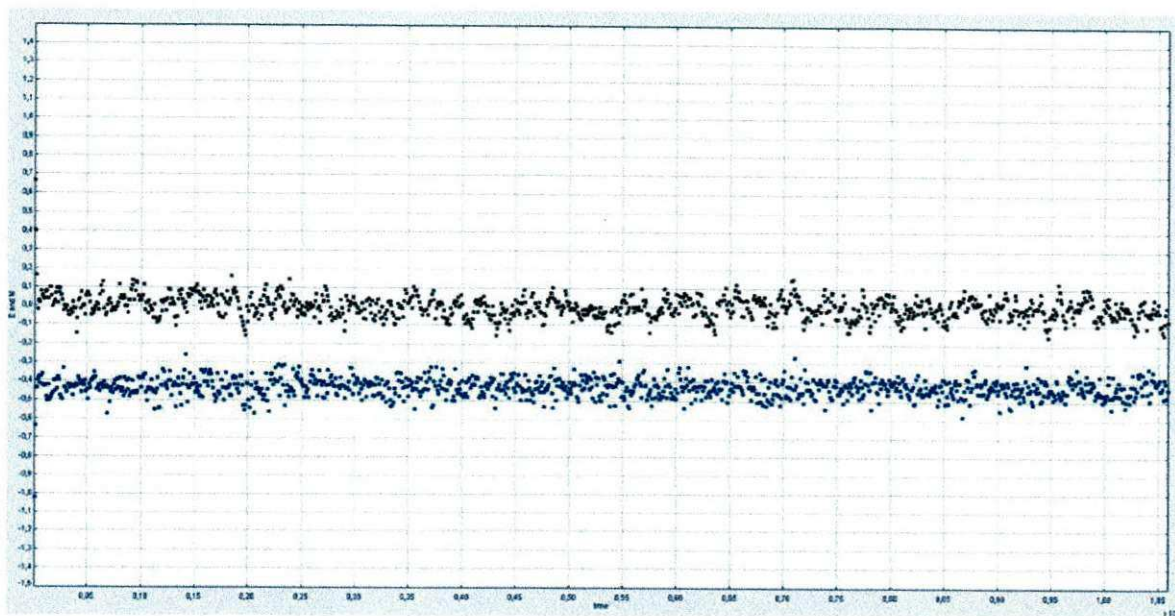


Figura 21: A energia e a magnetização com $T_3 = T_c > t_2$ e $H = 0$, sendo zero a magnetização média.

Ao considerarmos $T_3 = T_c$ e $H_1 \neq 0$, o campo força o emparelhamento dos spins e com isso há um surgimento novamente de um valor médio da magnetização diferente de zero. E escolhendo T_3 e $H_2 > H_1$ reforçando o exposto anteriormente.

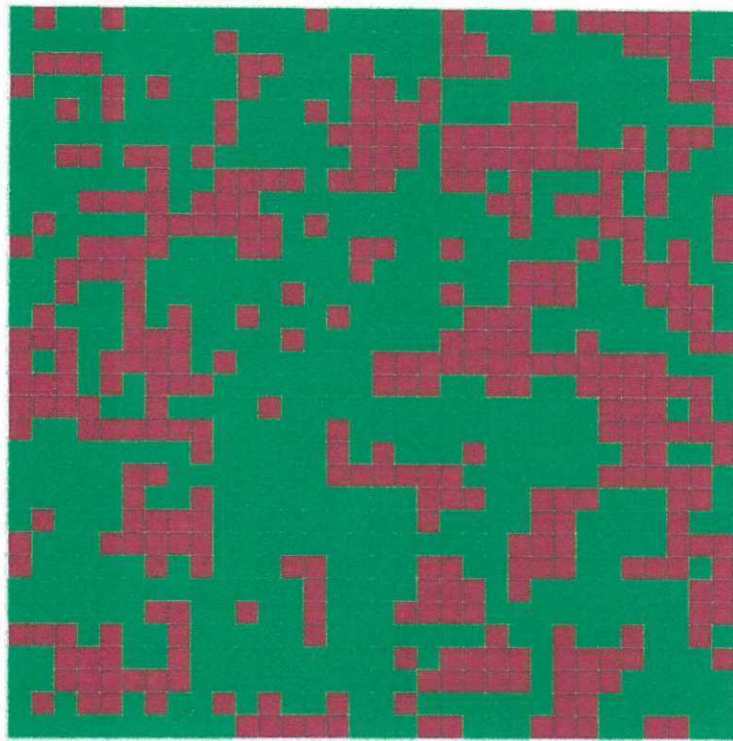


Figura 22: Emparelhamento forçado dos spins

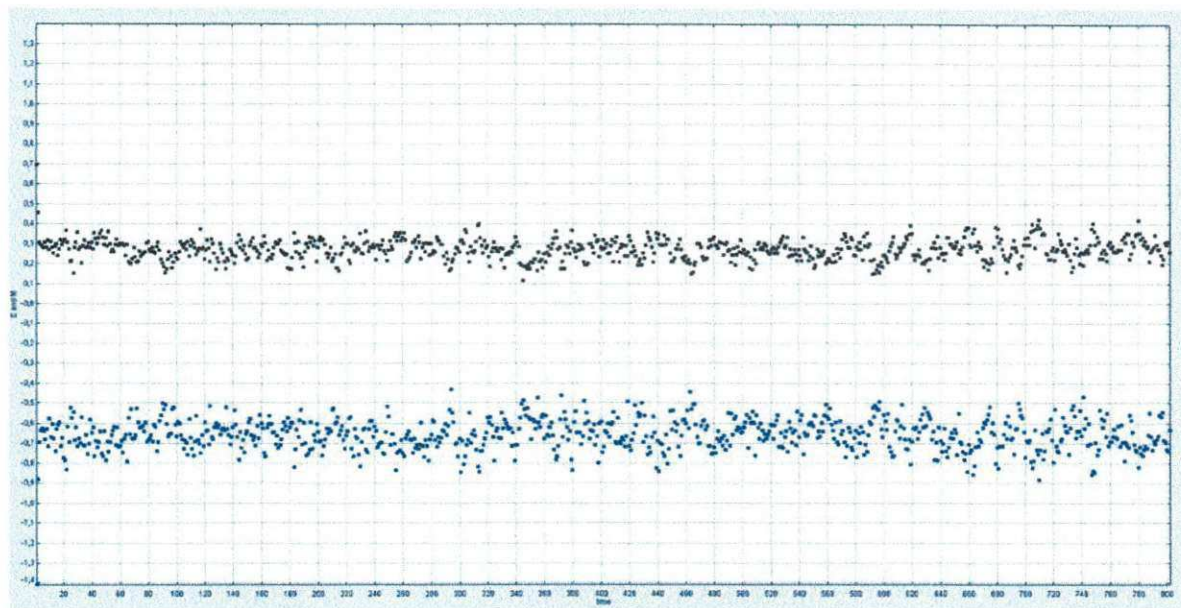


Figura 23: A energia e a magnetização com $T_3 = T_C$ e $H_1 \neq 0$, surgindo um valor médio de magnetização.

No caso $T_3 = T_C$, H_3 um valor elevado e $T = T_C$, observamos que há um grande emparelhamento dos spins devido a presença do campo, mesmo H apresentando um valor elevado não encontraremos 100% dos spins emparelhados devido a estação térmica.

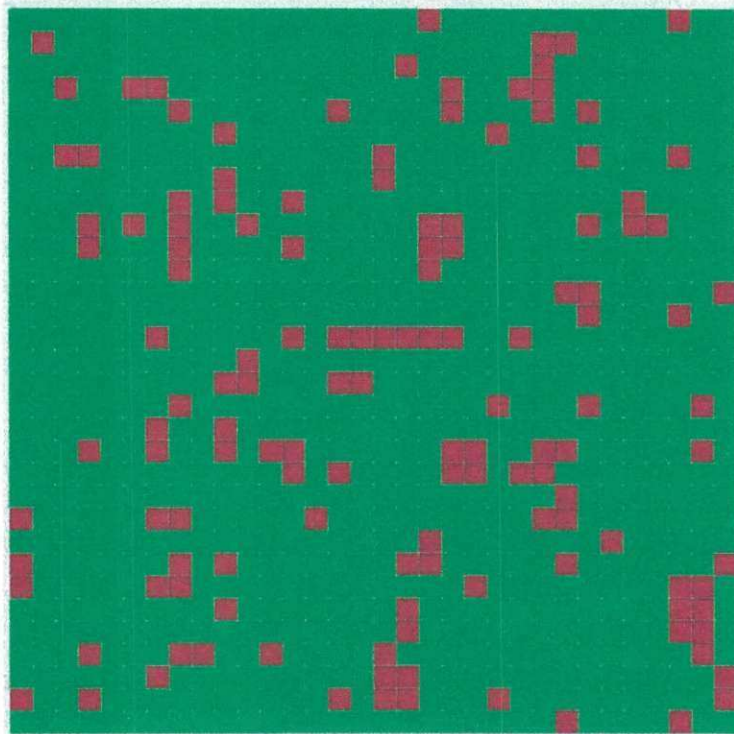


Figura 24: Emparelhamento de Spins devido à presença do campo

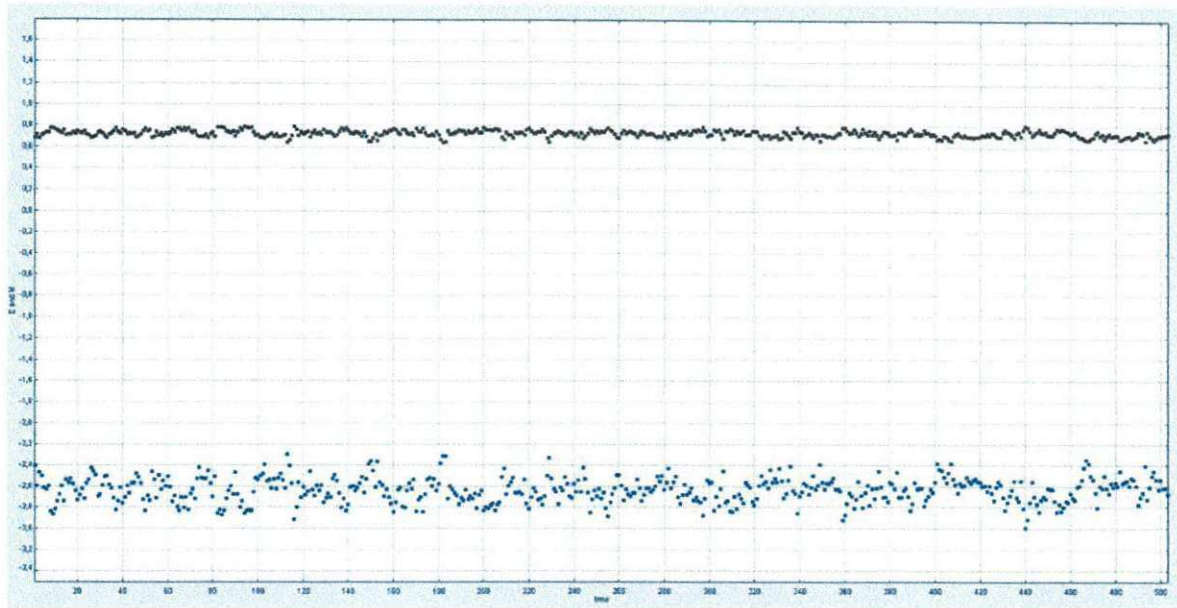


Figura 25: A energia e a magnetização com $T_3 = T_C$, H_3 um valor elevado.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao nos basearmos nas TICs para realizarmos este trabalho, buscamos expressar através das ferramentas disponíveis, os modelos aleatórios, que necessitam técnicas de programação computacional para a obtenção dos resultados e que não possuem soluções analíticas, de maneira que permitisse a compreensão destes modelos. Ao apresentarmos a proposta de inserção planejada e de objetivos definidos, não tratamos as TICs apenas por modismo, mas conduzimos a construção do conhecimento de forma investigativa e direcionada, analisando o que trabalhar com as simulações na proposta de construção do conhecimento e aprendizagem.

No capítulo 1, apresentamos um breve panorama do uso das tecnologias na sociedade, aprendizagem significativa e crítica. No capítulo 2, uma explanação mais geral com respeito às TICs e suas possíveis abordagens dentro deste trabalho. No capítulo 3 e 4 expomos a abordagem teórica sobre percolação e modelo de Ising.

No capítulo 5, utilizamos a simulação computacional como uma das ferramentas das TICs para estudo e ensino e aprendizagem de percolação e modelo de Ising, percebendo que a utilização desta possibilitou a análise e ainda a comparação com os resultados teóricos já existentes.

Mostramos ainda a facilidade de visualização do comportamento físico de Percolação e Modelo de Ising através da utilização das simulações, uma vez que concorda com Lévy (2006) no que diz respeito à abstração que os temas contemplados exigem, permitindo assim uma possível e melhor aprendizagem.

Conseguimos perceber que as simulações não substituem nenhuma das atividades teórico-práticas da compreensão do saber, mas dinamizam o processo de ensino e aprendizagem. No contexto mais específico da aprendizagem sobre modelos aleatórios, nos permitiram manipular variáveis, analisar casos particulares, realizando reflexões sobre tais ações, intensificando o raciocínio.

Ao visualizarmos o comportamento físico dos modelos, percebemos que há um indicativo de uma possível e melhor aprendizagem, pois na busca reflexiva da aprendizagem crítica e baseados em vários dos princípios facilitadores da aprendizagem desenvolvida por Moreira (2005), as simulações nos revelaram contribuições relevantes na elaboração dos conceitos que investigamos e foram viabilizadas de maneira produtiva.

Diante do processo de construção deste trabalho, nos questionamos com respeito à validade da proposta de inserção das TICs para o ensino e aprendizagem, trazendo para a análise discussões e o que cita Moran (2011, c) com respeito ao que aprendemos:

“Aprendemos realmente quando conseguirmos transformar nossa vida em um processo permanente, paciente, confiante e afetuoso de aprendizagem. Processo permanente, porque nunca acaba. Paciente, porque os resultados nem sempre aparecem imediatamente e sempre se modificam. Confiante, porque aprendemos mais se temos uma atitude confiante, positiva diante da vida, do mundo e de nós mesmos. Processo afetuoso, impregnado de carinho, de ternura, de compreensão, porque nos faz avançar muito mais.” (MORAN, 2011, c)

Uma vez que o objetivo principal deste trabalho se tratava da utilização das TICs no ensino e aprendizagem de percolação e modelo de Ising, nos detemos à análise qualitativa desse uso, no qual embasamos certa abordagem de ensino a ser investigada em termos de uma relação de causa e efeito quanto ao desempenho e compreensão dos temas por parte da aprendiz. Portanto, não operamos a partir de categorias preestabelecidas antes da entrada no campo de investigação, isto é, a sala de aula, mas a partir de uma questão científica que norteou o estudo, que foi a análise teórica dos temas e o aperfeiçoamento e entendimento dos mesmos com o uso das TICs.

Os resultados obtidos com as simulações realizadas neste trabalho, devidamente apresentados e discutidos no Capítulo 5, permitiram realizar análises evidenciando a proposta deste trabalho, uma vez que através dos resultados foi possível também compreender melhor os modelos aleatórios. Por fim, pode-se concluir que tais simulações são de grande utilidade em observação, análise e investigação encontradas no processo de ensino e aprendizagem.

Os resultados são empíricos da autora, trazendo a importância da experiência que cada indivíduo tem, segundo Pelizzari (2011), sendo fortalecido no

que diz Moreira (2011) quando menciona a participação ativa e responsável do aluno em sua própria aprendizagem.

UFCC / BIBLIOTECA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE NETO, Sebastião Gomes de. **ESTIMATIVA DE EXPOENTES CRÍTICOS EM PERCOLAÇÃO**. 2010. 56 f. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesdesimplificado/tde_arquivos/40/TDE-2010-06-30T043017Z-2734/Publico/Sebastiao%20Gomes%20de%20Andrade%20Neto_DISSERT.pdf>. Acesso em: 12 set. 2011

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais : terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros**
Broadbent, S.R e Hammersley, J.M., **Percolation processes I. Crystals and mazes**, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 53, 629-641 (1957)

curriculares nacionais / Secretaria de Educação Fundamental. – Brasília : MEC/SEF, 1998. 174 p.
FIOLHAIS, Carlos; TRINDADEI, Jorge. **Física no Computador: O computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas**. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v25_259.pdf>. Acesso em: 27 set. 2011.

FREITAS, Helder Antonio de; VITAL, M. Lúcia. **MOTIVAÇÃO DO ALUNO E O USO DO COMPUTADOR EM AULAS DE FÍSICA**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/sys/resumos/T0022-1.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2011.

GATTI, B. **Os agentes escolares e o computador no ensino-aprendizagem**. **Revistas Acesso**. Revista de Educação e Informática. Dez/93. São Paulo: FDE/SEC.
GOULD; HARVEY. **AN INTRODUCTION TO COMPUTER SIMULATION METHODS. APPLICATIONS TO PHYSICAL SYSTEMS**. São Paulo: Addison-weslery Series In Physics, 1988. 243 p.



LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1999. 208 p.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 1999. 264 p.

MARIA, Marco Aurélio Euflazino.
Http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp1028Propriedades Magnéticas do Modelo de Ising Bidimensional em uma Rede Bipartida de spins $\frac{1}{2}$ e 1: **Um Estudo de Ferrimagnetismo com Vacâncias**. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Bauru, 2009. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp102889.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2011.

MNEMOSYNE, Tennessy et al. **GLOBALIZAÇÃO E SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO: PERSPECTIVAS ÉTICO-POLÍTICAS**¹. Disponível em: <http://www.cinform.ufba.br/vi_anais/docs/TennessyMnemosyne.pdf>. Acesso em: 08 out. 2011.

MORAN, José Manuel. **A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. 4ª ed., Campinas: Papirus, 2009.

MORAN, _____, **A integração das tecnologias na educação**. Disponível em: <<http://www.eca.usp.br/prof/moran/integracao.htm>>. Acesso em: 27 set. 2011(b).

MORAN, _____, **Caminhos para a aprendizagem inovadora**. Disponível em: <<http://www.eca.usp.br/prof/moran/camin.htm>>. Acesso em: 27 set. 2011. (c)

MORAN, _____, **Novas tecnologias e o re-encantamento do mundo**. Disponível em: <<http://www.eca.usp.br/prof/moran/novtec.htm>>. Acesso em: 08 out. 2011(a).

MORAN, _____, **Interferências dos Meios de Comunicação no nosso Conhecimento**. INTERCOM Revista Brasileira de Comunicação. São Paulo, XVII (2):38-49, julho-dezembro 1994.

URBANA

MOREIRA, Marco Antonio. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: da visão clássica à visão crítica.** Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/visaoclasicavisaocritica.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2011.

Nussenzveig, H. Moyses. **Curso de Física Básica - V.3: Eletromagnetismo** - 1. ed. - Sao Paulo: Editora Edgard Blucher, 1997,323p.

PAIS, Luiz Carlos. **EDUCAÇÃO ESCOLAR E AS TECNOLOGIAS DA INFORMÁTICA.** Belo Horizonte: Autêntica, 2008. 168 p.

PELIZZARI, Adriana et al. **TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SEGUNGO AUSUBEL.** Disponível em: <http://files.percursosdosaber.webnode.pt/200000019-5b51c5c4b8/teoria_da_aprendizagem_signifi._Ausubel.pdf>. Acesso em: 08 out. 2011.

SOARES, Danyel Judson Bezerra. **Contribuição ao Estudo de Modelos Estocásticos Geométricos e de Séries Temporais.** 2004. 91 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

TOMÉ, Tânia; OLIVEIRA, Mário José De. **DINÂMICA ESTOCÁTICA E IRREVERSIBILIDADE.** São Paulo: Editora Universidade De São Paulo, 2001. 243 p.

VIANNA, Celso J.; ALVARENGA, Karly B.. **O USO DAS MÍDIAS NO ENSINO DE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DE ARTIGOS EM REVISTAS ESPECIALIZADAS.** Disponível em: <<http://www.edapeci-ufrs.net/ANAIS/02/015CELSO.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2011.

UFRRJ BIBLIOTECA