



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE FÍSICA



Memorial

José Cândido Xavier

Uberlândia

Julho de 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

X3m
2023

Xavier, José Cândido, 1970-
Memorial [recurso eletrônico] / José Cândido Xavier. - 2023.

Memorial Descritivo (Promoção para classe E - Professor Titular) -
Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Física.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.8074>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Professores universitários – formação. 2. Ensino superior – Física.
I. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Física. II. Título.

CDU: 378.124

André Carlos Francisco
Bibliotecário - CRB-6/3408

Sumário

1	Introdução	1
2	Formação Acadêmica e Atuação Profissional	4
2.1	O início da minha carreira como físico: graduação e pós-graduação	4
2.2	O amadurecimento de um físico: os pós-doutorados	7
2.2.1	O primeiro pós-doutorado: abril de 1999 a setembro de 2000	7
2.2.2	O segundo pós-doutorado: setembro de 2000 a setembro 2004	8
2.2.3	O terceiro pós-doutorado: setembro de 2004 a março de 2005	11
2.2.4	Jovem pesquisador-FAPESP: março de 2005 a agosto de 2005	11
2.3	O físico: o acadêmico, o esposo e o pai	12
2.4	Projetos em andamento	24
3	Atividades de Pesquisa, Ensino e Gestão	26
3.1	Produção Bibliográfica	26
3.2	Palestras convidadas e apresentações orais	31
3.3	Participações em Bancas	32
3.4	Orientações	34
3.5	Projetos e Eventos	36
3.6	Ensino	38
3.7	Consultorias	38
3.8	Gestão	39
4	Comentários Finais	41
	Bibliografia	43

1. Introdução

Neste documento, apresento o memorial: exposição escrita, dirigida à autoridade pública, na qual se pleiteia alguma coisa.¹ O memorial é um dos requisitos exigidos para a promoção da classe de *Professor associado IV* para a classe de *Professor Titular* da Carreira de Magistério Superior das Universidades Federais do Brasil. O memorial, aqui apresentado, focará nas minhas atividades acadêmicas e de pesquisa. Relato sucintamente, em ordem cronológica, como cheguei a *professor Associado IV* na Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Relato algumas das minhas atividades acadêmicas e de pesquisa, com foco na minha produção técnica. Em vez de detalhar, por exemplo, os aspectos técnicos dos trabalhos publicados, os quais podem ser encontrados nos artigos, preferi enfatizar o contexto em que eles surgiram e quais eram as motivações iniciais. Menciono alguns fatos, episódios, e curiosidades de cunho pessoais que se relacionam com os períodos que eu estava vivendo.²

Com o intuito de apresentar, primeiramente, uma visão geral da minha formação educacional e atuação profissional, apresento abaixo algumas informações básicas.

Formação Acadêmica

1. Bacharelado em Física

Período: de 01/03/1989 a 20/01/1993

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Física - João Pessoa - PB - Brasil

2. Mestrado em Física:

Período: de 01/03/1993 a 01/04/1995

Orientador: Prof. F. C. Alcaraz

Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Física - São Carlos - SP - Brazil

3. Doutorado em Física

Período: de 01/04/1995 a 20/03/1999

Orientador: Prof. F. C. Alcaraz

Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Física - São Carlos - SP - Brazil

¹Definição apresentada em <https://www.dicio.com.br/memorial/>.

²Talvez tenha, aqui, até relatado aspectos pessoais mais do que o necessário.

Pós-Doutorados

1. *National High Magnetic Field Lab* - FSU - Tallahassee - FL - EUA
Período: abril de 1999 a setembro de 2000.
Supervisor: E. Dagotto
2. *Universidade Estadual de Campinas* - IFGW - Campinas - SP - Brasil
Período: setembro de 2000 a setembro de 2004
Supervisor: E. Miranda
3. *University of Tennessee* - Knoxville - TN - EUA
Período: setembro de 2004 a março de 2005
Supervisor: E. Dagotto

Atuação Profissional

1. Jovem Pesquisador - Fapesp
Unesp-Bauru - Dep. Física - Bauru - SP - Brasil
Período: março de 2005 a agosto de 2005
2. Professor Efetivo
Universidade Federal de Uberlândia - Inst. Física - Uberlândia - MG - Brasil
Período: agosto de 2005 até a presente data

Professor Visitante

1. *Universidade Estadual de São Paulo* - Inst. Física - São Carlos - SP - Brasil
Período: março de 2011 a fevereiro de 2012
2. *Riken Advanced Science Institute* - Waco - Japão
Período: fevereiro de 2012 a março de 2012
3. *Riken Advanced Science Institute* - Waco - Japão
Período: fevereiro de 2014 a março de 2014
4. *Universidade Estadual de Campinas* - IFGW - Campinas - SP - Brasil
Período: janeiro de 2017 a agosto de 2017

Na seção 2, relato com um pouco mais de detalhes as minhas passagens por algumas das instituições mencionadas acima. Na seção 3, descrevo também, o meu envolvimento até a presente data com: produção científica, atividades de ensino, pesquisa, orientação e gestão. Por fim, na seção 4, teço meus comentários finais.

2. Formação Acadêmica e Atuação Profissional

2.1 O início da minha carreira como físico: graduação e pós-graduação

Nasci em 24 de agosto de 1970 na cidade de Formosa do Oeste-PR. Contudo, vivi apenas até os oito anos de idade no estado do Paraná. Dos oito aos dezoito anos, morei em várias cidades (Campina Grande → Recife → Campina Grande → Brasília → Campina Grande). Eu, minha mãe e meus três irmãos acompanhávamos meu pai, professor de matemática, que fez mestrado em Recife e doutorado em Brasília.¹ Nessa época, estudei em várias escolas públicas e, em poucas ocasiões, em escolas particulares. Por exemplo, no ensino médio, estudei apenas no último ano em uma escola particular.

Em 1988, aos 18 anos, quando cursava o ensino médio em Campina Grande, Paraíba, eu já havia decidido que prestaria vestibular para o curso de física na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em João Pessoa. No início de 1989, fui aprovado por exame de vestibular no curso de física da UFPB. Como havia cursado quase todo o meu ensino fundamental e médio em escolas públicas, tive dificuldades iniciais em vários cursos. Além disso, pela primeira vez, saí de casa para morar sozinho e a adaptação não foi imediata. Por esse motivo, no início do primeiro semestre do curso, quase me transferi para o curso de matemática no campus de Campina Grande, a fim de voltar a morar com os meus pais. Nos primeiros semestres do curso, o meu rendimento escolar era próximo da média de 6, mas o meu rendimento médio sempre foi crescente. Terminei a graduação com rendimento médio de 8,02, sendo que a média do último semestre foi de 8,96. Desde o início do meu curso, meu interesse sempre foi pelos aspectos teóricos da física. Isso se refletiu, também, nas escolhas das disciplinas optativas que cursei, a saber: Cálculo Avançado, Introdução à Geometria Diferencial, Introdução à Teoria da Relatividade e Física das Partículas Elementares. Nessa época, fiz iniciação científica com o Prof. Dionísio Baseia e trabalhei com teoria de campos.

Já durante a minha graduação, havia decidido fazer o mestrado no sudeste do país. Em fevereiro de 1993, iniciei o mestrado no Departamento de Física da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), sob a orientação do Prof. Nelson Studart. Fui o único aluno da turma que iniciava o mestrado a

¹Ele fez doutorado com o renomado Prof. Djário Guedes de Figueiredo.

matricular-se em três disciplinas e obtive conceito A nelas.² Durante o segundo semestre, cursei as disciplinas Eletromagnetismo e Tópicos da Matéria Condensada, onde obtive conceitos B e A, respectivamente. Cabe salientar que o conceito B foi a maior nota da turma de Eletromagnetismo, que foi lecionada pelo Prof. Márcio Martins. No início de fevereiro de 1994, comecei, assim por dizer, o meu projeto de pesquisa, que estava relacionado com semicondutores. Ao estudar o assunto, não me agradou o enfoque. Como, na época, tinha mais interesse nos aspectos matemáticos da física, decidi mudar de orientador. Sob a orientação do Prof. Francisco Castilho Alcaraz, iniciei um projeto voltado à mecânica estatística e fenômenos críticos. Coube-me investigar o modelo de Potts com Q estados na presença de campos externos. Utilizando-se do espectro da Hamiltoniana quântica associado ao modelo clássico, determinei a classe de universalidade do modelo utilizando-se das famosas relações advindas da invariância conforme [1, 2, 3]. Nesse estágio do trabalho, tive os primeiros contatos com métodos numéricos. Em particular, desenvolvi meus códigos de Diagonalização Exata (DE), utilizando o famoso método de Lanczos, bem como o método de Monte Carlo Clássico. Ao final do mestrado, já tinha boa parte dos resultados que levaram à minha primeira publicação,³ no ano de 1996, intitulada “*The Critical Behaviour of Potts models with symmetry breaking fields*”.⁴

Em abril de 1995, iniciei o meu doutorado, ainda sob a supervisão do Prof. Alcaraz. Tive a oportunidade de me envolver com o método de Bethe-Ansatz. Já se conhecia a solução exata, via Bethe-Ansatz, do modelo de Baxter-Wu [4]. Contudo, tal solução fornecia apenas metade do espectro do modelo. Com uma perspicácia muito grande, o Prof. Alcaraz percebeu (numericamente) que, se adicionasse uma fase complexa nas equações de Bethe originais, seria possível obter a outra parte do espectro. Coube, então, a mim generalizar o Bethe-Ansatz original para obter essa outra parte do espectro.⁵ Este trabalho tomou grande parte do meu doutorado, pois além de estudar o método Bethe-Ansatz, tive que aprender/estudar vários assuntos complexos para obter resultados analíticos. Menciono, por exemplo, as chamadas funções elípticas de duplo período e o método de Woynarovich para resolver as equações integrais de Wiener-Hopf. Método esse essencial para obter as correções de tamanho finito das energias a partir das equações de Bethe. Para dificultar mais ainda as coisas, tive que fazer pequenas modificações no método de Woynarovich, já que as raízes das equações de Bethe não eram mais simétricas. Este fato levou o Prof. W. Wreszinski (um físico-matemático) que participou da minha banca de doutorado a me elogiar. O resultado deste estudo levou a duas publicações: uma *letter*⁶ no *J. Phys. A: Gen. and Math.* em 1997 e um artigo longo de vinte páginas na mesma revista em 1999.⁷ Curiosamente, apesar destes artigos não serem muito citados, o Prof. Alcaraz (que era um dos editores do *J. Phys. A: Gen. and Math.*) disse-me que, em 1998, nossa *letter* foi o quarto artigo mais “copiado” (88 vezes) no site do *J. Phys. A: Gen. and Math.* E, de fato, na época recebi alguns e-mails elogiando nosso trabalho, entre eles um e-mail do Prof. V. E. Korepin,

²As disciplinas cursadas foram: Mecânica Quântica I, Mecânica Estatística e Teoria de Grupo.

³Cabe salientar aqui que todas as minhas publicações com o Prof. Alcaraz no *J. Phys. A: Gen. and Math.* estou como segundo autor. Isso reflete o fato de que a ordem dos nomes foi em ordem alfabética.

⁴F. C. Alcaraz and J. C. Xavier *J. Phys. A: Gen. and Math.* **29**, 3329 (1996).

⁵A experiência do Prof. Alcaraz nessa área foi de grande importância para que eu concluísse o trabalho.

⁶F. C. Alcaraz and J. C. Xavier *J. Phys. A: Gen. and Math.* **30**, L203 (1997).

⁷F. C. Alcaraz and J. C. Xavier *J. Phys. A: Gen. and Math.* **32**, 2041 (1999).

Critical behavior of the spin- $\frac{3}{2}$ Blume-Capel model in two dimensions

J. C. Xavier and F. C. Alcaraz

Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos, 13565-905, São Carlos, SP, Brazil

D. Penã Lara* and J. A. Plascak

Departamento de Física, Universidade Federal de Minas Gerais, 30161-970, Belo Horizonte, MG, Brazil

(Received 25 November 1997)

TABLE I. Finite-size data $c^{N,N+1}$ given by Eq. (8) and extrapolations for the conformal anomaly for some values of d . The first four columns are the values for the $S=1$ model while the last four are those of the $S=\frac{3}{2}$ model.

N	$S=1$				$S=\frac{3}{2}$			
	$d=-0.5$ $t_c=1.794(7)$	$d=0$ $t_c=1.681(5)$	$d=1.9$ $t_c=0.764(7)$	$d=1.9655$ $t_c=0.609(4)$	$d=-0.5$ $t_c=3.549(8)$	$d=0$ $t_c=3.287(2)$	$d=0.5$ $t_c=2.972(3)$	$d=2$ $t_c=0.64(7)$
4	0.460 931	0.461 723	0.570 695	0.641 586	0.461 970	0.463 160	0.465 282	0.626 807
5	0.478 008	0.478 429	0.578 328	0.666 641	0.478 574	0.479 283	0.480 650	0.611 765
6	0.486 062	0.486 307	0.575 809	0.678 638	0.486 400	0.486 858	0.487 798	0.589 182
7	0.490 323	0.490 480	0.569 959	0.685 059	0.490 544	0.490 864	0.491 549	0.568 249
8	0.492 838	0.492 948	0.563 332	0.688 878	0.492 994	0.493 232	0.493 754	0.551 328
9	0.494 458	0.494 539	0.556 880	0.691 349	0.494 573	0.494 758	0.495 170	0.538 405
10	0.495 569	0.495 633	0.550 943	0.693 048	0.495 659	0.495 807	0.496 142	0.528 798
11	0.496 370	0.496 421	0.545 616	0.694 269	0.496 440	0.496 562	0.496 841	0.521 749
12	0.496 968	0.497 009	0.540 896	0.695 175				
13	0.497 427	0.497 462	0.536 738	0.695 864				
14	0.497 788	0.497 817	0.533 085	0.696 401				
∞	0.499(9)	0.499(9)	0.50(3)	0.698(9)	0.499(8)	0.499(8)	0.499(8)	0.50(5)

Figura 2.1. Acima, “capa” do meu artigo mais citado, publicado durante o meu doutorado. Abaixo, tabela apresentada nesse artigo.

um dos grandes especialistas nessa área.

Durante o meu doutorado, também tive a oportunidade de trabalhar com outro problema: investigar o modelo de Blume-Capel de spin-1 e spin-3/2. Por sugestão do Prof. Alcaraz, considerei esse modelo sob condição de contorno helicoidal. Tal fato “gera” uma matriz de transferência esparsa. Por essa razão, consegui diagonalizar a matriz de transferência do modelo para redes de tamanho até $L = 14$. Isso permitiu determinar a ausência de um ponto multicrítico no caso de $s = 3/2$. Até então, não havia consenso na literatura sobre a existência desse ponto ou não. Resultados de Monte Carlo, obtidos pelo Prof. J. Plascak e seu aluno, corroboravam com os nossos. Esse trabalho resultou na segunda publicação⁸ do doutorado, veja Figura 2.1. Neste artigo, também apresentamos valores precisos para as “temperaturas críticas”. Até hoje, vejo trabalhos que usam essas temperaturas como *benchmarks*. Este trabalho tomou pouco tempo do meu doutorado (cerca de seis meses), já que não demandou grandes desafios técnicos. Curiosamente, este é o meu artigo mais citado, tendo 119 (136) citações no Web of Science (Google Scholar), em julho de 2023.

Vale mencionar que, durante meu doutorado tive a minha primeira experiência internacional: participei da “Landau Summer University”, em 1997, no *Landau Institute for Theoretical Physics*, na Rússia. Durante o doutorado, tive também a oportunidade de lecionar um minicurso de Física Matemática para os alunos do PET da Física na UFSCar, em 1996.

⁸J. C. Xavier, F. C. Alcaraz, D. P. Lara and J. A. Plascak *Phys. Rev. B* **57**, 11575 (1998).

Doped Stripes in Models for the Cuprates Emerging from the One-Hole Properties of the Insulator

G. B. Martins,¹ C. Gazza,² J. C. Xavier,¹ A. Feiguin,¹ and E. Dagotto¹

¹National High Magnetic Field Lab and Department of Physics, Florida State University, Tallahassee, Florida 32306

²Instituto de Física Rosario (CONICET) and Universidad Nacional de Rosario, Argentina
(Received 1 February 2000)

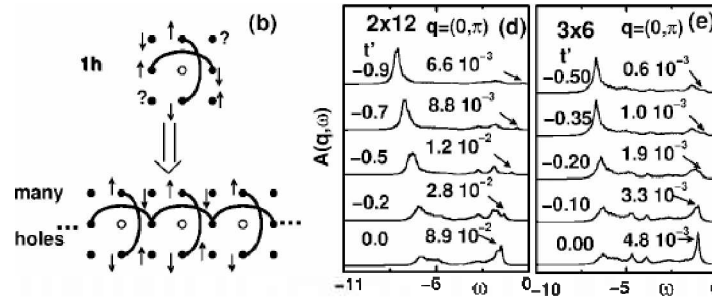


Figura 2.2. Acima, “capa” do meu primeiro PRL, publicado durante o meu primeiro pós-doutorado. Abaixo, alguns resultados meus obtidos, das escadas de três pernas, que foram apresentados neste artigo: à esquerda são apresentadas as configurações de spins e à direita resultados da função espectral $A(q, \omega)$.

2.2 O amadurecimento de um físico: os pós-doutorados

2.2.1 O primeiro pós-doutorado: abril de 1999 a setembro de 2000

Ao término do meu doutorado decidi mudar de área. O primeiro pós-doutorado, financiado pela FAPESP, foi no *National High Magnetic Field Laboratory* (NHMFL) - Florida - EUA, sob a supervisão do renomado Prof. Elbio Dagotto. Decidi trabalhar com modelos de elétrons fortemente correlacionados (EFC), com ênfase nos chamados supercondutores a alta temperatura. Ainda imaturo, na área de EFC, tive que dedicar os seis primeiros meses a (i) ler uma ampla literatura sobre a área e (ii) elaborar meus próprios códigos de DE.⁹

Como havia desenvolvido, neste período, um código de DE geral para as escadas t - t' - J de N -pernas, o Prof. Dagotto sugeriu que eu procurasse evidências de “*stripes*”¹⁰ na escada de três pernas, pois evidências dessas *stripes* também estavam sendo procuradas por outros colaboradores em escadas de duas e quatro pernas. Os meus resultados, juntamente com os dos demais colaboradores, levaram à duas publicações em 2000, uma na prestigiosa revista *Physical Review Letters*,¹¹ veja Figura 2.2, e um artigo longo de treze páginas na *Physical Review B*.¹²

Neste período, também tive a oportunidade de apresentar o meu primeiro seminário em outro país. Em 2000, apresentei um seminário intitulado “*Indications of Half-Doped Stripes in the Extended t - J* ”

⁹O Prof. Dagotto sugeriu que eu utilizasse os códigos do grupo, contudo preferi desenvolver meus próprios códigos a fim de obter independência.

¹⁰Estas tiras foram observadas experimentalmente no ano de 1995 [5].

¹¹G. B. Martins, C. Gazza, J. C. Xavier, A. Feiguin, and E. Dagotto *Phys. Rev. Lett.* **84**, 5844 (2000).

¹²G. B. Martins, J. C. Xavier, C. Gazza, M. Vojta, and E. Dagotto *Phys. Rev. B* **63**, 014414 (2000).

Model”, no *Center for Simulation Physics*, na *The University of Georgia*, em Athens, EUA.

Mais ao final do meu primeiro pós-doutorado decidi trabalhar com o método numérico do Grupo de Renormalização de Matriz Densidade (DMRG), que havia sido proposto pelo Prof. Steven White em 1992 [6]. O DMRG se baseia na ideia original do grupo de renormalização numérico (NRG), desenvolvido por Wilson [7]. A ideia consiste em truncar o espaço de Hilbert apropriadamente à medida que o sistema cresce. Inicialmente o NRG mostrou-se bastante promissor, levando Wilson a ganhar o prêmio Nobel ao resolver o “problema Kondo” com esse método. No entanto, o método mostrou-se ineficiente na aplicação a outros problemas. White [6] observou que a ineficiência era devido ao critério de escolha dos estados a serem truncados no processo de renormalização. Ele mostrou que um critério orientado pela matriz densidade reduzida e não mais pelo próprio Hamiltoniano, como originalmente se fez, é o procedimento mais adequado. O DMRG é um método sofisticado e de não fácil implementação (caso queira-se ter um código competitivo), mas é extremamente poderoso. A importância da “invenção” desta técnica é tamanha que os editores da *Physical Review Letter* elegeram o artigo seminal do DMRG como uma das *milestone Letters*.¹³ Durante seis meses desenvolvi independentemente meu próprio código de DMRG.¹⁴

Em colaboração com o grupo do Prof. Dagotto, estudei o papel dos hopping de segundos vizinhos t' nas funções de correlação de pares das escadas $t - t' - J$ de duas pernas utilizando o DMRG. Parte dos resultados que obtive foram publicado¹⁵ na *Physical Review B - Rapid Communications*. Meus resultados, obtidos por DMRG, foram cruciais para saber se o efeito que se estava vendo (t' renormaliza J) não era um problema de tamanho finito.

2.2.2 O segundo pós-doutorado: setembro de 2000 a setembro 2004

Em setembro de 2004, retornei para o Brasil e fiz o meu segundo pós-doutorado no IFGW-UNICAMP, sob a supervisão do Prof. Eduardo Miranda. Sabendo do interesse do Prof. Miranda com férmions pesados e do meu “*know-how*” em escadas quânticas e DMRG, escrevi um projeto de pesquisa para estudar as escadas Kondo de N-pernas utilizando o DMRG. Enviei a primeira versão do projeto para o Prof. Miranda dar uma olhada e ele me respondeu o seguinte e-mail em março de 2000

“... *Aqui está a versão modificada do projeto que você me mandou. Fiz basicamente modificações cosméticas. O projeto está sucinto e isso é bom ...*”

O projeto foi logo em seguida submetido para à FAPESP e foi aprovado. Em setembro de 2000, comecei a estudar a cadeia de Kondo na rede. Após implementar o meu código de DMRG para o modelo unidimensional, passei a reproduzir alguns resultados conhecidos da literatura para verificar se o

¹³Veja <https://journals.aps.org/prl/50years/milestones>.

¹⁴Em duas ocasiões, tive a oportunidade de discutir o método. A primeira no verão de 2001 com o Prof. A. Malvezzi em São Carlos, onde estava de férias, e a segunda em junho de 2001 com o Prof. C. Gazza, que passou cerca de 20 dias no NHMFL-EUA.

¹⁵G. B. Martins, J. C. Xavier, L. Arrachea, and E. Dagotto *Phys. Rev. B* **64**, 180513(R) (2001).

Dimerization Induced by the RKKY InteractionJ. C. Xavier,¹ R. G. Pereira,¹ E. Miranda,¹ and I. Affleck²¹Instituto de Física Gleb Wataghin, Unicamp, C.P. 6165, Campinas SP 13083-970, Brazil²Department of Physics, Boston University, 590 Commonwealth Avenue, Boston, Massachusetts 02215, USA

(Received 26 September 2002; published 19 June 2003)

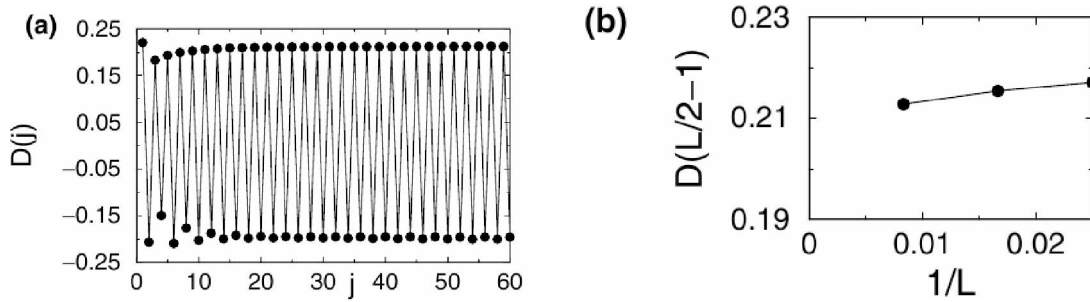


Figura 2.3. Acima, “capa” do meu segundo PRL, publicado durante o meu segundo pós-doutorado. Abaixo, alguns dos meus resultados obtidos neste artigo. $D(j)$ é o parâmetro de dimerização.

código estava correto. Curiosamente, os meus resultados das funções de correlação spin-spin diferiam de alguns já existentes na literatura. Percebi que a discrepância dos meus resultados era devida à condição de contorno: as oscilações de cargas são grandes e por essa razão produzem resultados espúrios nas funções correlação spin-spin. Esses resultados espúrios levaram alguns autores a afirmarem que o tamanho da superfície de Fermi (vetor de Fermi) era grande. Publicamos um artigo¹⁶ na *Phy. Rev. B*, em 2002, esclarecendo este ponto. Na verdade, os nossos resultados indicaram que o tamanho da superfície de Fermi era pequeno. Fato esse polêmico, já que existe um teorema devido a Luttinger [8] em dimensão D (que afirma que os spins localizados devem ser contabilizados e a superfície de Fermi é denotada de grande). No caso de uma dimensão, a teoria de líquido de Fermi não é válida, e uma prova rigorosa do teorema é devido ao Prof. Ian Affleck e colaboradores [9], que mostram que as excitações com vetor de Fermi grande são nulas (caso não haja quebra de simetria translacional e/ou de reversão temporal). O Prof. E. Miranda enviou o nosso preprint para o renomado Prof. Ian Affleck, que se mostrou bastante interessado pelos nossos resultados. Em particular, em dezembro de 2001 o Prof. Affleck escreveu:

“... Your numerical evidence for a small Fermi surface indeed looks quite convincing and I don't really understand the discrepancy with Luttinger's theorem ...”

Iniciou-se então uma colaboração. Por sugestão do Prof. Affleck, investigamos a possibilidade do sistema se dimerizar para preenchimento $n = 1/4$. Se esse fosse o caso, a simetria translacional seria quebrada, e o teorema devido a Affleck e colaboradores não se aplicaria. De fato, meus cálculos de

¹⁶J. C. Xavier, E. Novais, and E. Miranda *Phys. Rev. B* **65**, 214406 (2002).

PHYSICAL REVIEW B **68**, 134422 (2003)**Spin and charge gaps of the half-filled N -leg Kondo ladders**

J. C. Xavier

Instituto de Física Gleb Wataghin, Unicamp, Caixa Postal 6165, 13083-970 Campinas São Paulo, Brazil

(Received 9 July 2003; published 14 October 2003)

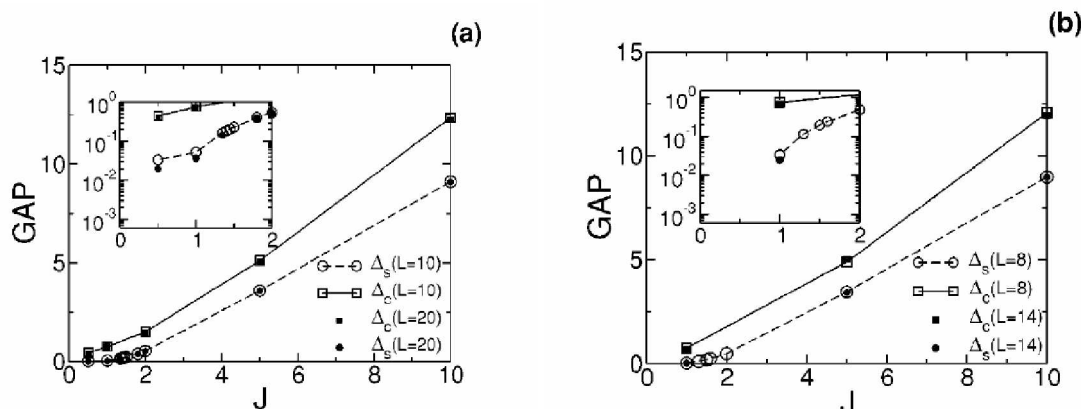


Figura 2.4. Acima, “capa” do meu primeiro artigo como autor único, publicado durante o meu segundo pós-doutorado. Abaixo, alguns resultados das escadas de Kondo de N -pernas apresentados neste artigo: à esquerda para escada de duas-pernas e à direita para a escada de três-pernas. Δ_s e Δ_c são os gaps de spin e carga, respectivamente.

DMRG mostraram que os spins localizados se dimerizam para preenchimento um quarto e o sistema possui um *gap* de carga não nulo. O mais curioso ainda é haver um composto orgânico, que é uma realização experimental da cadeia Kondo unidimensional com preenchimento um quarto [10, 11], que se dimeriza. O nosso trabalho, em colaboração com o Prof. I. Affleck, foi publicado¹⁷ na *Phys. Rev. Lett.* em 2003, veja Figura 2.3. Nesse mesmo ano publiquei, também, o meu primeiro artigo¹⁸ como único autor, veja Figura 2.4.

Os trabalhos relativos aos meus quatro anos de pós-doutorado na Unicamp renderam entre 2000 e 2005: uma *Phys. Rev. Lett.*, seis *Phys. Rev. B*, uma *Physica C* e uma *Physica B*, veja seção 3.

No ano de 2004, em uma apresentação intitulada “*The N -leg Kondo Ladders*” expus alguns dos resultados, mencionados acima, no evento: “*Recent Progress and Prospects in Density-Matrix Renormalization August 2-13, 2004, Lorentz Center*”, realizado em Leiden, Holanda. Por fim, menciono que durante o meu segundo estágio de pós-doutorado, também tive a oportunidade de lecionar o curso “Métodos da Física Teórica II” no IFGW por duas vezes.

¹⁷J. C. Xavier, R. G. Pereira, E. Miranda, I. Affleck *Phys. Rev. Lett.* **65**, 247204 (2003).

¹⁸J. C. Xavier *Phys. Rev. B* **68**, 134422 (2003).

2.2.3 O terceiro pós-doutorado: setembro de 2004 a março de 2005

No final de 2004 fui para a *University of Tennessee* (UT), Knoxville, EUA, para mais um estágio de pós-doutoramento, com financiamento da UT, sob a supervisão do Prof. Dagotto. Nesse curto período, iniciei uma investigação do modelo de Hubbard com 3 orbitais utilizando o DMRG. Diferentemente dos cupratos, onde o modelo de Hubbard com um orbital descreve relativamente bem a sua física de baixas energias, há compostos como o Na_xCoO_2 , que é necessário considerar mais orbitais no modelo efetivo. Este trabalho só foi concluído em 2006, quando já era professor efetivo da UFU. No artigo ¹⁹ intitulado “*Spin, charge, and orbital correlations in the one-dimensional t_2g -orbital Hubbard model*”, apresentamos o diagrama de fase do modelo a temperatura zero. Em particular, encontramos uma transição metal-isolante além de uma transição de uma fase ferromagnética e anti-ferromagnética orbital para uma paramagnética isolante.

Vale mencionar que, nesse período, me envolvi com um outro projeto (que não foi adiante) com os Profs. Elbio Dagotto e José Riera. E me comuniquei com o renomado Prof. Steven White a fim de verificar alguns dados numéricos. Em um e-mail de junho de 2005 o Prof. White me escreveu:

“... *I found that I has run exactly what you had, I think. I am impressed that you are doing some nice large scale DMRG runs ...* ”

Eu diria que já nessa época, eu era considerado um especialista na técnica do DMRG e conhecido na comunidade de DMRG.

2.2.4 Jovem pesquisador-FAPESP: março de 2005 a agosto de 2005

Pouco antes de viajar para o estágio de pós-doutoramento na *University of Tennessee*, EUA, eu tinha enviado um projeto de pesquisa para a FAPESP, na categoria “Jovem Pesquisador” para a UNESP, Bauru-SP. O projeto foi aprovado e resolvi voltar ao Brasil, já que estava à procura de uma posição fixa. Aliás, em fevereiro de 2005, o Prof. Roberto Hiroki Miwa, da UFU, havia-me informado da possibilidade de eu ser contratado, como professor efetivo, na Universidade Federal de Uberlândia. Eu havia participado de um concurso público nesta instituição, em meados de 2004, onde fiquei em segundo lugar. E havia uma grande possibilidade de ser chamado o segundo colocado deste concurso, caso o Instituto de Física (INFIS) da UFU fosse contemplado com mais uma vaga. Felizmente, o INFIS conseguiu mais uma vaga.

No início de agosto de 2005, eu assumiria uma posição de professor efetivo na UFU. Nestes cinco meses que estive em Bauru, iniciei um projeto de pesquisa com o Prof. André Malvezzi, da UNESP-Bauru. Investigamos a possibilidade da ordem orbital de longo alcance estar presente na escada de Kondo de duas pernas. Esta ordem orbital foi sugerida a fim de explicar a magnitude do momento magnético em supercondutores de férmions pesados [12]. Este trabalho, intitulado “*Absence of a true long-range orbital order in a two-leg Kondo ladders model*”, foi finalizado em meados de 2006

¹⁹J. C. Xavier, H. Onish, T. Hotta, and E. Dagotto *Phys. Rev. B* **73**, 014405 (2006).

e publicado em 2007 na *Physical Review B*.²⁰

2.3 O físico: o acadêmico, o esposo e o pai

Em agosto de 2005, fui contratado como professor efetivo no Instituto de Física da UFU. Em setembro de 2005, casei com a minha esposa, Ana Paula, que havia conhecido em Campinas durante o meu pós-doutorado na Unicamp.

Agora, como docente efetivo da UFU, tinha que me dedicar a outras atividades além de apenas pesquisa. Tinha que dividir meu tempo entre pesquisa, ensino, e algumas atividades de gestão (participando de algumas comissões e colegiados). Por mais que eu evitasse me envolver com outras atividades, além de pesquisa e ensino, em vários momentos tive que abdicar do meu tempo de pesquisa para me envolver com atividades de gestão (veja seção 3). Como, por exemplo, em 2006 participei da comissão responsável pela criação do curso de pós-graduação em Física, nível Doutorado do INFIS-UFU (até então o programa de pós-graduação em física só tinha o nível de Mestrado). O meu envolvimento com outras atividades, além da pesquisa, me fez lembrar um comentário que o Prof. Dagotto me disse durante o meu primeiro pós-doutorado em 1999. Ele disse algo como: “*Tenho saudades desta época de pós-doutorado. Nesta época me ocupava com pesquisa, mais nada. Nada de burocracia!*”.

Durante meados de 2005 e 2006 terminei os dois projetos iniciados antes de me ingressar na UFU, e que foram publicados em 2006 e em 2007, os quais já foram mencionados anteriormente. Em meados de 2006, comecei a estudar a possibilidade do modelo de Kondo na rede apresentar supercondutividade. Este fato é relevante, pois vários férmions pesados apresentam a fase supercondutora, e acreditava-se que o modelo de Kondo na rede descrevia a física de baixas energias dos férmions pesados. Em junho de 2007, já tinha vários resultados e pensava em escrever um artigo apresentando-os. Resolvi escrever um e-mail para o Prof. Dagotto, que dizia:

“... I’m writting for another reason. I have some very interesting results about superconductivity in the 1- 2- leg kondo ladders. I guess in the past we started to discuss the importance of the coupling JAF between the localized spin. Now, I have strong evidence that JAF drives the system into a superconducting phase. I do believe that my results are completely in agreement with some experiments under pressure (see the attached file) ...”

Apresentei os resultados que tinha, entre eles o do diagrama de fase que esta ilustrado na Figura 2.5, e ele me respondeu:

“... I believe your results are potentially great. You may recall how I insisted with the relevance of JAF a few years ago when you were here. It is just that the plain model has too much FM in my

²⁰J. C. Xavier and A. L. Malvezzi *Phys. Rev. B* **76**, 014422 (2007).

Robust *d*-Wave Pairing Correlations in the Heisenberg Kondo Lattice Model

J. C. Xavier

Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, C.P. 593, Uberlândia MG 38400-902, Brazil

E. Dagotto

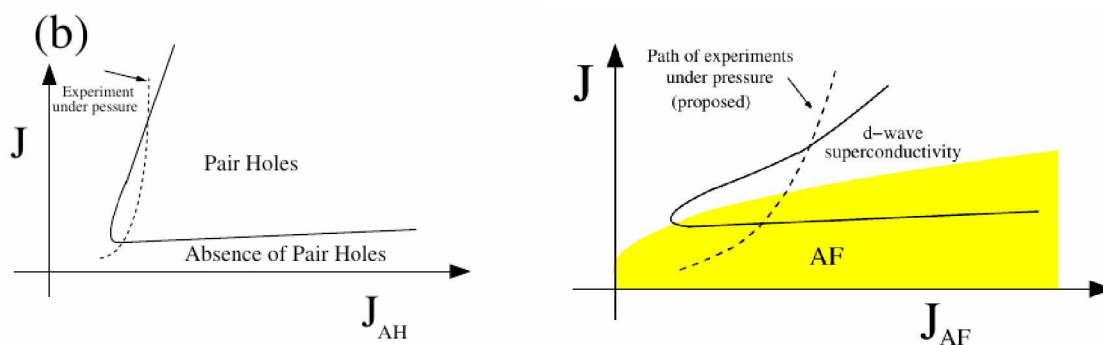
*Department of Physics, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996,
and Materials Science and Technology Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37831, USA
(Received 20 September 2007; published 10 April 2008)*

Figura 2.5. Acima, “capa” do meu terceiro PRL, que foi desenvolvido em Uberlândia. Abaixo, gráficos do diagrama de fase do modelo de Kondo na rede: à esquerda está o diagrama que havia enviado inicialmente ao Prof. Dagotto, e à direita está o diagrama que se encontra no artigo.

opinion, and this is not good for SC ... ”

No final de 2007, submetemos um artigo com os nossos resultados para a *Physical Review Letter*, que foi aceito.²¹ Este foi o meu primeiro trabalho desenvolvido totalmente em Uberlândia, veja Figura 2.5.

Entre os anos de 2008 e 2009, mantive ainda uma colaboração com os Profs. Dagotto e Miranda, em distintos projetos, que levaram a duas publicações: uma intitulada “*The one-dimensional Kondo lattice model at quarter-filling*”²² e outra intitulada “*Coexistence of Pairing Tendencies and Ferromagnetism in a Doped Two-Orbital Hubbard Model on Two-Leg Ladders*”,²³ que foram publicadas em 2008 e 2010, respectivamente.

Em 2009, aprovei um projeto internacional intitulado “*Phase Diagram and Electron Correlations of the Pnictide Superconductors: a DMRG Study*”. Neste projeto eu requeri uso de CPU no *Center for Nanophase Materials Sciences (CNMS)* em *Oak Ridge National Laboratory*, EUA. A minha proposta foi bem avaliada, por exemplo, um dos pareceristas escreveu:

REVIEWER 1

NUMERICAL SCORE:

²¹J. C. Xavier and E. Dagotto *Phys. Rev. Lett.* **100**, 146403 (2008).

²²J. C. Xavier and E. Miranda *Phys. Rev. B* **78**, 144406 (2008).

²³J. C. Xavier, G. Alvarez, A. Moreo, and E. Dagotto *Phys. Rev. B* **81**, 085106 (2010).

Scientific merit (1 - 5): [4]

Capability of the group (1 - 3): [3]

COMMENTS:

The proposer has worked in the past with Dagotto at ORNL and is a current collaborator. The PI is young but has an excellent record at this stage of development. The work is on a hot topic and meshes very nicely with both theoretical and experimental efforts at ORNL/CNMS. The project is well defined and it is quite clear that the resources required to execute a significant chunk of the proposed work are not available to the PI other than through CNMS. A strong proposal in all respects.

Em meados de 2009, comecei a estudar a conexão entre invariância conforme e a entropia de emaranhamento. Nesta época, havia várias pessoas interessadas neste assunto e resolvi aprofundar meu entendimento neste tópico. Curiosamente, em 2004 quando participei do evento “*Recent Progress and Prospects in Density-Matrix Renormalization*”, em Leiden, Holanda, o Prof. Ingo Peschel me apresentou o artigo intitulado “*Entanglement in Quantum Critical Phenomena*” de autoria de G. Vidal, J. I. Latorre, E. Rico, e A. Kitaev [13]. Neste trabalho, estabeleceu-se a conexão com informação quântica e a carga central, e discutimos um pouco sobre ele. Na época não dei muito atenção a este trabalho; contudo, este trabalho acabou virando referência no assunto. Em 2010, publiquei um artigo²⁴ intitulado “*Entanglement Entropy, Conformal Invariance and the Critical Behavior of the Anisotropic Spin-S Heisenberg Chains: DMRG study*”, neste assunto, e até hoje continuo trabalhando neste tópico. Este foi o meu terceiro artigo como autor único.

Nesta época, já havia começado a orientar alunos de iniciação científica (IC). Em particular, estava orientando dois alunos de graduação, a Sra. Flávia Braga e o Sr. Dalson Eloy, que posteriormente se tornaram meus alunos de mestrados. Tinha observado que alguns autores estavam investigando (e publicando) cadeias clássicas unidimensionais com spin alternados numericamente, o que era completamente desnecessário. Propus a eles que investigassem um modelo de spin alternado analiticamente, utilizando-se da técnica de matriz transferência. Eles trabalharam junto nesse problema, sob a minha orientação. Pedi para eles escreverem um artigo (sem o meu nome). Eles publicaram um artigo no “*Journal of Magnetism and Magnetic Materials*”, em 2011 [14].

Ainda em 2010, o Sr. Eloy apresentou os resultados do projeto IC, que estava fazendo sob minha orientação, no XXXIII ENFMC. Tal projeto consistia em estudar uma escada de duas pernas exatamente solúvel. Ele recebeu o prêmio de melhor painel neste evento. Foi uma agradável surpresa para mim, ainda mais sabendo que a maior parte das apresentações dos painéis eram feitas por discentes de mestrado e doutorado.

De março de 2011 a fevereiro de 2012, estive como professor visitante na USP-São Carlos. Nesta época, tanto eu quanto o Prof. Francisco Alcaraz (meu ex-orientador de mestrado/doutorado) estávamos interessados nas correções de tamanho finito da entropia de emaranhamento. Investigamos as oscilações de paridades que haviam sido recém descobertas pelos Profs. P. Calabrese e F. Essler e colaboradores [15]. Do nosso esforço no entendimento dessas correções, deram origem a quatro tra-

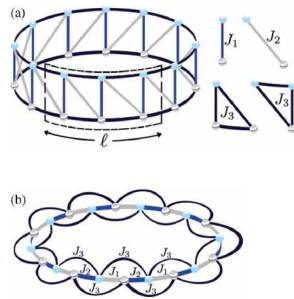
²⁴J. C. Xavier *Phys. Rev. B* **81**, 224404 (2010).

PHYSICAL REVIEW B **86**, 064421 (2012)**Entanglement entropy of the low-lying excited states and critical properties of an exactly solvable two-leg spin ladder with three-spin interactions**

D. Eloy and J. C. Xavier

Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, 38400-902 Uberlândia, MG, Brazil

(Received 28 June 2012; published 16 August 2012)



$$\begin{aligned}
 C_{(2p,2q)} &= \frac{1}{2L} \frac{\sin[(p-q)2\pi\rho^+] + \sin[(p-q)2\pi\rho^-]}{\sin\left[\frac{(p-q)\pi}{L}\right]}, \\
 C_{(2p-1,2q)} &= -\frac{1}{2L} \sum_{k_F^+ < |k| \leq k_F^-} \frac{J_1 + J_2 \exp(-ik)}{\sqrt{J_1^2 + J_2^2 + 2J_1 J_2 \cos k}} \\
 &\quad \times e^{-ik(p-q)}, \\
 C_{(2p-1,2q-1)} &= C_{(2p,2q)}, \quad \text{and} \quad C_{(2p-1,2q)} = C_{(2q,2p-1)}^*.
 \end{aligned} \tag{20}$$

Figura 2.6. Acima, “capa” do meu primeiro artigo com um aluno sob a minha orientação. Abaixo: à esquerda apresento a figura do artigo que foi selecionada para “*Kaleidoscopes*”, e à direita estão resultados da matrix de correlação.

balhos: dois foram publicados²⁵ no ano de 2011, durante a minha estadia na USP-São Carlos, e dois publicados²⁶ posteriormente, em decorrência das colaborações que se sucederam logo após a minha visita.

No início de 2012, já estava de volta na UFU e orientava dois alunos de mestrado: a Sra. Flávia B. Ramos e o Sr. Dalson Eloy. Esses alunos iniciaram o curso de Mestrado em 2011. O projeto da Sra. Flávia era essencialmente numérico (envolvendo DE e o DMRG) e focado em propriedades estáticas das escadas de Heisenberg de spin-S de N-pernas. Por outro lado, o projeto do Sr. Dalson envolvia cálculos analíticos (de energias, de funções de correlação, e da entropia de emaranhamento) de uma escada de duas pernas. Em junho de 2012, submeti, juntamente com o Sr. Dalson Eloy, o meu primeiro artigo²⁷ com um aluno sob minha orientação. Em agosto de 2012, menos de dois meses após a submissão, o artigo já estava aceito e publicado, veja a Figura 2.6. Curiosamente, a figura 1 deste nosso artigo foi selecionada pela *Physical Review B* para aparecer no “*Kaleidoscopes*” de agosto de 2012.²⁸

No início de 2014, alguns docentes do Programa de Pós-graduação em Física (PPFIS) pediram que eu me candidatasse a coordenador do PPFIS. Inicialmente, relutei com essa ideia, mas estava ciente dos vários problemas existentes em nosso programa, incluindo o número excessivo de docentes e a falta de discentes. Era necessário promover mudanças no PPFIS para torná-lo mais competitivo em relação a outros programas de pós-graduação. Entre agosto de 2014 e julho de 2016 fui coordenador do

²⁵J. C. Xavier and F. C. Alcaraz *Phys. Rev. B* **83**, 214425 (2011) e J. C. Xavier and F. C. Alcaraz *ibid.* **84**, 094410 (2011).

²⁶J. C. Xavier and F. C. Alcaraz *Phys. Rev. B* **85**, 024418 (2012) e L. Taddia, J. C. Xavier, F. C. Alcaraz, and G. Sierra *ibid.* **88**, 075112 (2013).

²⁷D. Eloy and J. C. Xavier *Phys. Rev. B* **86**, 064421 (2012).

²⁸Veja <https://journals.aps.org/prb/kaleidoscope/August2012>.



Figura 2.7. Cartaz do evento que organizei juntamente com a Profa. Hallberg e o Prof. Ramasesha em 2015 no IIP-UFRN, em Natal.

PPFIS. Embora, de modo geral sou contra a “numerologia” para ranquear docentes, criei, juntamente com os membros do colegiado, uma norma de credenciamento (a norma antiga era mais subjetiva) com aspectos bem objetivos²⁹ para ranquear os professores. Cabia ao colegiado somente definir o número total de docentes do PPFIS. Considero essa minha maior contribuição para o PPFIS. Durante a minha gestão, um novo regimento do PPFIS também foi elaborado. Além disso, por participar das reuniões dos órgãos superiores da UFU, como o Conselho de Pesquisa e Pós-graduação (CONPEP) e o Conselho Universitário (CONSUN), fui convidado para ser membro da comissão de auxílio financeiro da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação (PROPP). Também fui designado (como relator) para elaborar uma nova norma de distribuição das cotas de bolsas de mestrado e doutorado da PROPP, que existiam naquela época.

Nesse período, organizei, juntamente com a Profa. Karen Hallberg e o Prof. Sastry Ramasesha, o evento intitulado “*Symposium on DMRG Technique for Strongly Correlated Systems in Physics and Chemistry*”, que foi realizado em 2015 no IIP-Natal. Este foi o maior evento no qual participei como organizador. Neste evento, estavam presentes os maiores especialistas mundiais nas técnicas de DMRG, MERA, PEPS, MPS, etc. Entre eles, destacam-se os renomados Profs. Steven White, Uli Schollwoeck, Frank Verstraete, T. Nishino e Frank Pollmann, veja o cartaz do evento na Figura 2.7.

²⁹Baseados nos critérios utilizados pela CAPES para avaliar os programas de pós-graduação.

PHYSICAL REVIEW B 93, 195129 (2016)

Boundary versus bulk behavior of time-dependent correlation functions in one-dimensional quantum systemsI. S. Eliëns,^{1,*} F. B. Ramos,² J. C. Xavier,² and R. G. Pereira³¹*Institute for Theoretical Physics, Institute of Physics (IoP), University of Amsterdam, Science Park 904, 1098 XH Amsterdam, The Netherlands*²*Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Física, C.P. 593, 38400-902 Uberlândia, MG, Brazil*³*Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, C.P. 369, São Carlos, SP, 13560-970, Brazil*

(Received 9 February 2016; revised manuscript received 25 April 2016; published 16 May 2016)

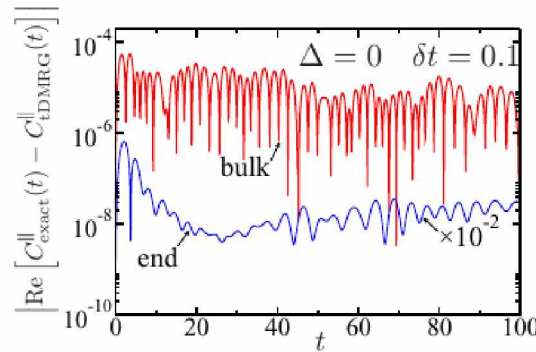


Figura 2.8. Acima, “capa” do meu artigo onde utilizei, pela primeira vez, o tDMRG. Abaixo, resultados da auto correlação de spin, $C^{\parallel}(t, j) \equiv \langle S_j^z(t) S_j^z(0) \rangle$.

Em 2014, publiquei dois artigos³⁰ com a Sra. Flávia Ramos, aluna de doutorado sob minha supervisão. Nessa época, estava interessado em cálculos de propriedades dinâmicas de sistemas fortemente correlacionados usando o *adaptive time-dependent* DMRG (tDMRG) [16]. A implementação desta técnica é não trivial, mas conseguimos implementar o nosso próprio código. No início de 2015, já estávamos calculando a função espectral da cadeia de Heisenberg de spin-S. Durante esse período, entrei em contato com o Prof. Rodrigo Pereira, um especialista nessa área, e apresentei nossos resultados. A partir dessa interação, iniciamos uma colaboração que culminou em um artigo³¹ publicado na *Physical Review B*, em 2016, intitulado “*Boundary versus bulk behavior of time-dependent correlation functions in one-dimensional quantum systems*”, veja Figura 2.8.

De janeiro de 2017 a agosto de 2017, estive como professor visitante no IFGW-UNICAMP, onde colaborei com o Prof. Eduardo Miranda, um especialista em sistemas desordenados (entre outros assuntos). Como tinha interesse em aplicar o DMRG em sistemas desordenados, o interesse foi mútuo. A ideia inicial era comprovar que as funções de correlação spin-spin da cadeia de spin-1 biquadrática de Heisenberg desordenada decaem com certos expoentes. Baseados no *strong-disorder renormalization group* (SDRG); Quito, Hoyos e Miranda haviam previsto certos valores para os expoentes (que dependiam da fase que se encontrava o modelo) [17]. A primeira grande dificuldade técnica que verifiquei, considerando inicialmente a cadeia XX de spin-1/2 desordenada (a qual é exatamente solúvel), era que o DMRG era completamente instável para desordem alta (veja Figura 2.9). Fiz várias

³⁰F. B Ramos and J. C. Xavier *Phys. Rev. B* **89**, 094424 (2014) e J. C. Xavier and F. B. Ramos *J. Stat. Mech.* P10034 (2014).

³¹F. B Ramos, I. S. Eliëns, J. C. Xavier, and R. G. Pereira *Phys. Rev. B* **93**, 195129 (2016).

Adaptive density matrix renormalization group for disordered systemsJ. C. Xavier,¹ José A. Hoyos,² and E. Miranda³¹Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Física, C. P. 593, 38400-902 Uberlândia, MG, Brazil²Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, C. P. 369, 13560-970 São Carlos, SP, Brazil³Instituto de Física Gleb Wataghin, Unicamp, Rua Sérgio Buarque de Holanda, 777, CEP 13083-970 Campinas, SP, Brazil

(Received 13 September 2018; revised manuscript received 25 October 2018; published 13 November 2018)

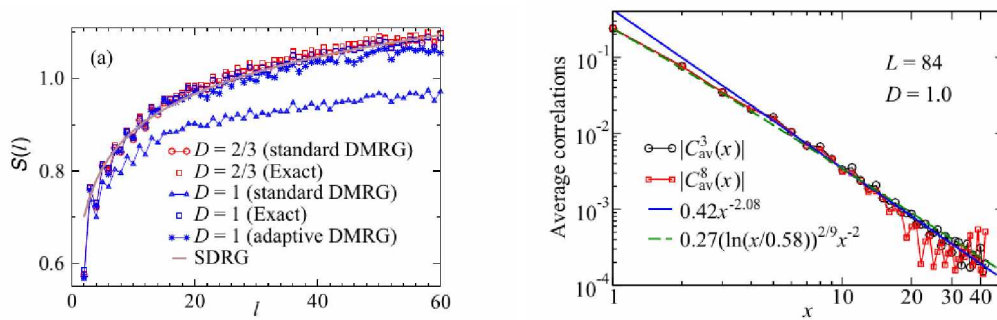


Figura 2.9. Acima, “capa” do meu artigo onde foi apresentado o *adaptive DMRG* para sistemas desordenados. Abaixo: à esquerda são apresentados dados da entropia de emaranhamento e , à direita, resultados da função de correlação spin-spin.

tentativas para tentar contornar este problema que não deram em nada. Então pensei em usar a mesma ideia do tDMRG para o problema aleatório (adaptar a base “adiabaticamente” com a desordem). Propus então um novo algoritmo para sistemas desordenados intitulado “*adaptive DMRG for disordered systems*”, o que se mostrou bastante eficiente. Uma vez que tinha resolvido a questão da instabilidade do DMRG para sistemas desordenados, comecei a calcular o expoente da cadeia de spin-1 (na chamada fase bariônica). Surpreendentemente, eu obtinha o valor 2 para o expoente, distinto do valor $4/3$ que era predito por Quito, Hoyos e Miranda. Tínhamos duas possibilidades, (i) ou os expoentes preditos (baseados no SDRG) na referência [17] estavam incorretos ou (ii) o *adaptive DMRG* falhava em descrever este sistema desordenado. Em abril de 2017, o Prof. Miranda escreveu um e-mail para o Prof. José Abel Hoyos Neto com o seguinte teor

“... Neto O Xavier, como vc sabe, tá usando DMRG para olhar sistemas de spins desordenados ... ele vê as oscilações com período 3, mas, plotando cada sub-rede separadamente, o decaimento é melhor fitado por uma power law com potência 2 ... Enfim, achei melhor pôr isso na mesa para discutirmos. Do nosso lado, como falei pro Xavier, temos os resultados numéricos de SDRG, que dão um expoente muito próximo de $4/3$ e cálculos teóricos de SDRG, que dão $4/3$. O que será que está acontecendo? Crossover? ... ”

Eu (a “DMRG boy”) e os Profs. Miranda e Hoyos (os “SDRG boys”) tivemos vários embates. Eu acreditando que os meus resultados estavam corretos e eles argumentavam que poderia ser falha do

DMRG, efeitos de tamanho finito, crossover, etc. Após algum tempo, foi percebido que uma hipótese usada no SDRG para a cadeia de spin-1 era falha. Em junho de 2017, o Prof. Hoyos escreveu para o Prof. Miranda:

“... agradeço também ao Xavier por nos mostrar que a correlação não era o que a gente disse no *PRB* antigo ...”

Após o entendimento do problema escrevemos um artigo com os nossos resultados que foi publicado³² em 2018, veja Figura 2.9. Surpreendentemente, entre a submissão e a publicação deste artigo demorou-se apenas dois meses.

Em outubro de 2017, já havia retornado para a UFU. E, nesta época, o Prof. Alcaraz contactou-me, pois estava investigando a entropia de emaranhamento (EE) em setores de magnetização da cadeia XXZ. Mas não conseguia determinar como seria a dependência da EE com o tamanho do sistema e a carga central num dado setor de magnetização. Ele havia feito alguns testes com DE, mas não estava claro como poderia ser a dependência e que talvez um estudo com o DMRG (que considera sistemas bem maiores) poderia indicar qual seria a dependência. Começou, então, uma colaboração bem frutífera. Fiz cálculos para vários sistemas (cadeia XXZ de spin-S e modelo de Fateev-Zamolodchikov) com diferentes condições de contorno e foram tentadas algumas conjecturas para a dependência da EE, mas não estava claro o que poderia estar acontecendo. Apresentamos ao Prof. German Sierra nossos resultados e começamos a tentar explicar, analiticamente, como seriam as correções de tamanho finito da EE em setores de magnetização. Durante alguns meses nos debruçamos sobre o tema, do ponto de vista analítico, para entender o que estava acontecendo. Todas as hipóteses utilizadas eram testadas com cálculos numéricos. Finalmente, em março de 2018, tínhamos um claro entendimento do problema, a dependência da EE nos setores de magnetização era bem peculiar: tinha uma dependência do parâmetro de Luttinger, de um duplo log do tamanho do subsistema e mais surpreendente é que o termo dominante da EE era o mesmo em qualquer setor de magnetização. Rotulamos isto como “*equipartição da entropia de emaranhamento*”. Submetemos um artigo com os nossos resultados para a publicação na *Physical Review Letter*. Infelizmente os *referees* acharam-no muito técnico, e o artigo foi aceito na *PRB* como *Rapid Communications*.³³ Entretanto, os editores acabaram gostando do nosso artigo e ele foi escolhido como “*Editor’s Suggestion*”, veja Figura 2.10. O fato é que este artigo acabou se tornando referência³⁴ e em julho de 2023, já possuía 72 (118) citações no Web of Science (Google Scholar). Recentemente, a minha ex-aluna de doutorado, a Sra. Flávia Braga, estava participando do “*March Meeting*” de 2023 e disse que eu estava sendo citado na palestra da Profa. Olalla Castro e me enviou a foto apresentada na Figura 2.10.

Em 2018, o programa de pós-graduação em Física da UFU começou a elaborar uma proposta

³²J. C. Xavier, J. A. Hoyos, and E. Miranda *Phys. Rev. B* **98**, 195115 (2018).

³³J. C. Xavier, F. C. Alcaraz, and G. Sierra *Phys. Rev. B* **98**, 041106(R) (2018).

³⁴Na verdade, nosso artigo e o artigo dos Profs. M. Goldstein e E. Sela [18], publicado dois meses antes do nosso, que acabaram virando referência. Chegamos praticamente à mesma conclusão, quase que simultaneamente (desconhecíamos o preprint deles).

PHYSICAL REVIEW B **98**, 041106(R) (2018)

Rapid Communications

Editors' Suggestion

Equipartition of the entanglement entropyJ. C. Xavier,¹ F. C. Alcaraz,² and G. Sierra^{3,4}¹*Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, 38400-902 Uberlândia, MG, Brazil*²*Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 369, São Carlos, SP, Brazil*³*Instituto de Física Teórica UAM/CSIC, Universidad Autónoma de Madrid, Cantoblanco 28049, Madrid, Spain*⁴*Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara, California 93106, USA*

(Received 26 April 2018; revised manuscript received 15 June 2018; published 17 July 2018)

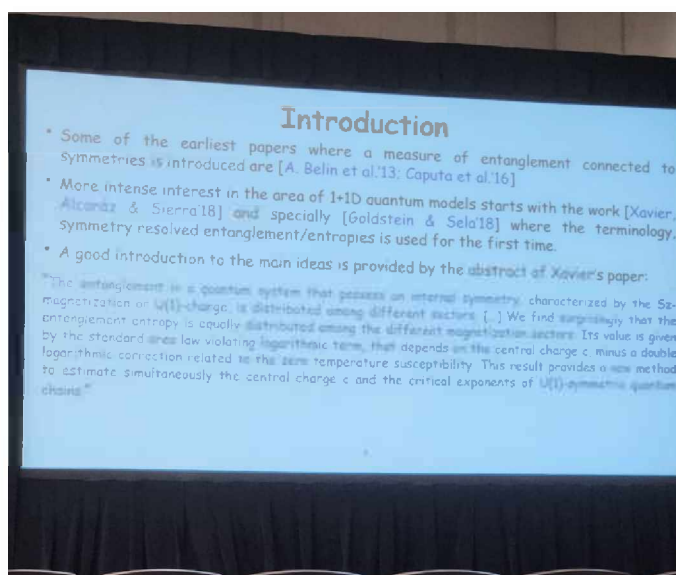
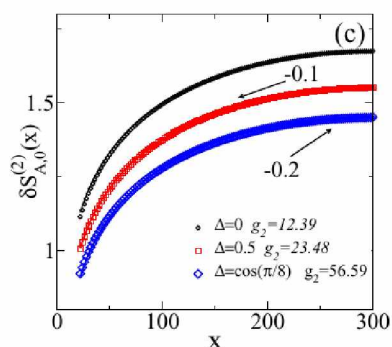


Figura 2.10. Acima, “capa” do meu artigo escolhido como “*Editor’s Suggestion*”. Abaixo: à esquerda, são apresentados dados da entropia de Renyi no setor de magnetização nulo, e à direita, foto de uma palestra apresentada no “*March Meeting*” em 2023. O item três do *slide* cita o *abstract* do nosso artigo.

para o Programa Institucional de Internacionalização, o chamado PrInt-Capes. Foi solicitado que os interessados deveriam entrar em contato com possíveis colaboradores estrangeiros para participarem deste programa. Em fevereiro de 2018, entrei em contato com o Prof. Dagotto e em resposta ao meu e-mail comentou:

“... Really very happy to hear from you! It has been a long time. From time to time I see some publications of yours in the arXiv and they are always of excellent quality. It is a pity we could not continue our scientific interaction, but it was my fault because I moved away from DMRG for a while after you left ...”

Assim como a foto que minha ex-orientada me enviou e os comentários do Prof. Dagotto acima, é extremamente gratificante ver que algumas pessoas reconhecidas considerem os meus trabalhos de qualidade.

O ano de 2018 foi um ano singular do ponto de vista pessoal. Em abril de 2018, tive duas notícias que tiveram impacto marcante na minha vida. Meu pai, João Xavier, foi diagnosticado com câncer (avançado) no intestino. Foi uma luta, “em vão”, de três anos contra o câncer. Durante três anos, viajei inúmeras vezes para Campinas (onde meu pai residia) para auxiliar/ajudar/confortar meus pais. Coincidência ou destino, não sei dizer, mas o fato é que alguns dias após receber a notícia do câncer do meu pai, recebi uma ligação de uma assistente social dizendo que havia dois irmãos (cujos nomes também eram João, como o do meu pai) para serem adotados. Em 2018, passei a ser pai de duas crianças.

Em 2019, me envolvi com alguns problemas distintos. Um deles era entender o efeito de um campo magnético (aplicado na borda da cadeia) na entropia de emaranhamento de modelos críticos (este projeto teve início em meados de 2018). Para tanto, devia-se calcular a chamada *boundary entropy* (BE) [19]. Este projeto, em conjunto com Prof. M. Rajabpour da Universidade Federal Fluminense (UFF), envolveu principalmente cálculos analíticos à “la Peshchel” [20]. Contudo, quando aplicávamos o método tradicional de Peschel, os resultados analíticos não batiam com os numéricos obtidos por DMRG. Não entendíamos, na época, o que poderia estar acontecendo. Eu acreditava, fielmente que não era erro do DMRG e que estávamos cometendo algum cálculo analítico errado. Verificamos todas as contas analíticas tomando o cuidado de escolher corretamente o estado fundamental. Este ponto é sutil, pois a cadeia XX de tamanho L com termos na borda pode ser mapeada em uma cadeia biquadrática “alargada” de tamanho $L + 2$. E o método de Peschel se aplica na Hamiltoniana “alargada”. Contudo, o espectro da cadeia XX original de L sítios é apenas parte do espectro da Hamiltoniana “alargada”. Por este motivo, era necessário ter muito cuidado ao escolher qual estado considerar para calcular a EE. Acreditávamos que estávamos escolhendo o estado corretamente, porém não entendíamos a discrepância entre os resultados analíticos e os numéricos obtidos pelo DMRG.

Em abril de 2019, escrevi um e-mail com o seguinte comentário para o Prof. Rajabpour:

“... For some reason to get to correct entropy, I have to subtract $\ln 2$. It seems that the spins 0

and $L+1$ are entangled [this would explain the factor $\ln(2)$]. I/We need to think more about it, there is two option: (i) I may be adding some term [wrong] in the Matrix M or (ii) there is a reason for that, we need to understand ...”

Esta minha percepção foi fundamental para elucidar finalmente a discrepância entre os resultados numéricos e analíticos. Logo em seguida, eu e o Prof. Rajabpour explicamos analiticamente a origem do fator $\ln 2$ na EE de duas maneiras distintas. Logo após este entendimento, conseguimos calcular a *boundary entropy* da cadeia XX com campos magnéticos arbitrários nas bordas, utilizando um procedimento numérico proposto por mim. Este resultado (juntamente com outros resultados numéricos de DMRG) foi publicado, em 2020, na *Physical Review B*.³⁵ Neste mesmo ano publiquei, em colaboração com minha ex-aluna de doutorado a Sra. Flávia Ramos, o Prof. Rodrigo Pereira e o Sr. M. Lencsés (um pós-doutorando que estava sob a supervisão do Prof. R. Pereira), um artigo intitulado “*Confinement and bound states in a transverse-field two-leg Ising ladder*”.³⁶

O ano de 2020: o ano da reclusão. Acredito que o primeiro ano de pandemia, devido à covid-19, foi complicado para muitos pais, especialmente para os pais com crianças em fase de alfabetização, como era o meu caso. Meu tempo era bem limitado e dediquei o “tempo livre” ao projeto de pesquisa vinculado ao meu ex-aluno de mestrado, o Sr. Rafael Freitas, e o Prof. José Hoyos da USP-São Carlos. No final de 2018, o Prof. Hoyos deu uma palestra na Semana da Física - UFU, e o Sr. Rafael (aluno de IC, nesta época, sob minha orientação) apresentou um trabalho envolvendo resultados analíticos para correlações dependentes do tempo da cadeia XX com condições abertas e periódicas de contorno para sistemas limpos e com desordem. Eu, o Sr. Rafael e o Prof. Hoyos conversamos sobre o tema e surgiu uma colaboração. Queríamos entender o papel da desordem na chamada “*dynamical quantum phase transition*” (DQPT), recentemente proposta [21]. Em particular, tínhamos interesse em investigar se existia um análogo da chamada fase de Griffiths [22] de equilíbrio para o caso de não equilíbrio. Efetivamente, o projeto iniciou-se em 2019 quando o Sr. Rafael entrou para o mestrado no PPFIS-UFU, sob minha orientação. Ao final de 2019, alguns progressos foram obtidos. Por exemplo, conseguimos calcular a chamada *Loschmidt echo* para o caso limpo e o chamado caso extremo. No entanto, o entendimento do caso desordenado ainda não estava claro. Ao longo de 2020, dedicamo-nos a esclarecer várias questões que não eram compreendidas. Uma, em particular, levou tempo para entendermos o que estava acontecendo: as localizações dos tempos críticos, no caso de desordem forte, eram ligeiramente distintas do que esperávamos ao analisar o problema com uma abordagem baseada no SDRG. No final de 2020, já tínhamos um bom entendimento das posições dos tempos críticos, ao menos baseados em sistema finito. Contudo, ainda faltava uma prova rigorosa de uma transição “genuína”, que ocorre apenas no limite termodinâmico. Essa prova rigorosa pode ser obtida através dos zeros de Yang-Lee-Fisher (YLF) [23, 24, 25] da *Loschmidt echo* (assim como os zeros de Yang-Lee-Fisher para a função de partição de equilíbrio). O entendimento completo deste problema só foi finalizado no ano de 2021, quando demostramos que *Loschmidt echo* era não analítica em

³⁵J. C. Xavier and M. A. Rajabpour *Phys. Rev. B* **101**, 235127 (2020).

³⁶F. B. Ramos, M. Lencsés, J. C. Xavier, and R. G. Pereira *Phys. Rev. B* **102**, 014426 (2020).

Disorder-induced dynamical Griffiths singularities after certain quantum quenchesJosé A. Hoyos^{1,2}, R. F. P. Costa³ and J. C. Xavier³¹Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, C.P. 369, São Carlos, São Paulo 13560-970, Brazil²Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Nöthnitzer Strasse 38, 01187 Dresden, Germany³Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, C.P. 593, 38400-902 Uberlândia, MG, Brazil

(Received 30 January 2022; accepted 30 September 2022; published 10 October 2022)

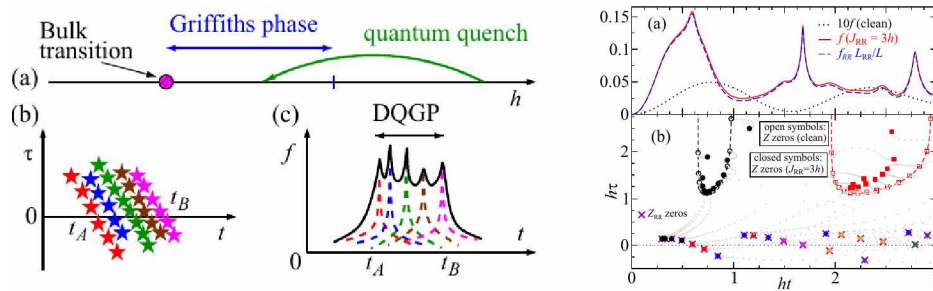


Figura 2.11. Acima, “capa” do meu artigo onde foi proposto uma nova fase: a *dynamical Griffiths phase* para sistemas desordenados. Abaixo: à esquerda, são apresentados hipotéticos zeros de YLF e suas assinaturas na energia livre dinâmica, e à direita, são resultados para a cadeia de Ising com campo magnético transversal e desordem.

uma janela de tempo, caso o quench fosse realizado para uma região que contenha “regiões raras e atípicas” (a chamada fase de Griffiths de equilíbrio). Nossos resultados foram publicados em 2022 na *Physical Review B* como uma *Letter*,³⁷ veja Figura 2.11. Neste mesmo ano, também publiquei um artigo intitulado “*Coexistence of spontaneous dimerization and magnetic order in a transverse-field Ising ladder with four-spin interactions*” na *Physical Review B* em colaboração com os Profs. R. Pereira, M. Nunes, e J. Plascak.³⁸

Em meados do 2021, assumi a posição de presidente do Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso de Física de Materiais e me envolvi, também, na reformulação do projeto pedagógico do curso (PPC). Os órgãos superiores já haviam estabelecido um prazo (início de 2022) para que todos os cursos da UFU apresentassem os PPC em conformidade com a legislação em vigor e o regimento da UFU. Em particular, deveria constar no PPC a carga horária relativa às atividades de extensão, que havia sido recentemente imposta pelo MEC (via o Conselho Nacional de Educação). Essa adequação do PPC já havia sido solicitada, em 2020, aos membros do NDE anterior (cujos mandatos se encerraram em abril de 2021), porém, não foi discutido nem apresentada uma proposta por parte deles. Tínhamos um prazo de pouco mais de seis meses para apresentar uma proposta. Havia uma demanda interna dos docentes e discentes para alterar vários pontos no nosso antigo PPC, como ementa de disciplinas, carga horária de disciplinas, etc. Então, a minha sugestão aos membros do NDE, foi não só adequar o PPC para constar as atividades de extensão, mas fazer uma reformulação completa do PPC. Após

³⁷J. A. Hoyos, R. F. P. Costa, and J. C. Xavier *Phys. Rev. B* **106**, L140201 (2022).

³⁸J. C. Xavier, R. G. Pereira, M. E. S. Nunes, and J. A. Plascak *Phys. Rev. B* **105**, 024430 (2022).

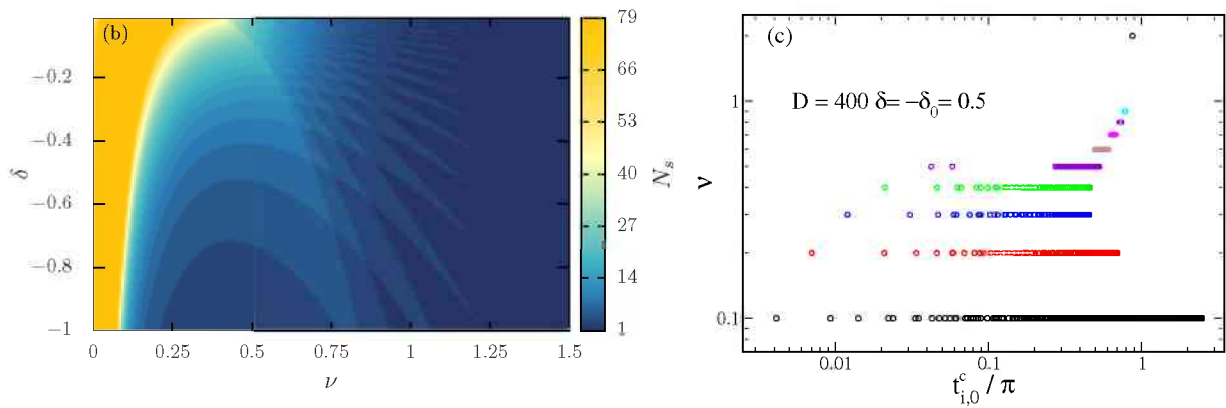


Figura 2.12. Alguns resultados de um trabalho em andamento. À esquerda: número de tempos críticos N_s para $D = 40$. δ é o parâmetro de dimerização e ν o expoente de decaimento. À direita: os tempos críticos $t_{i,0}^c/\pi$ para alguns valores de ν para $D=400$ e $\delta_0 = -\delta = 0.5$. Nos tempos críticos a energia livre dinâmica é não analítica.

intensas discussões e reuniões o NDE entregou,³⁹ após cerca de quatro meses, uma nova proposta do PPC ao colegiado do curso.

2.4 Projetos em andamento

No final de 2022, comecei a estudar, juntamente com o Prof. Hoyos, o efeito da interação de longo alcance nas DQPTs. O entendimento deste efeito é relevante, uma vez que tais interações estão presentes em realizações experimentais de modelos quânticos, como a cadeia de Ising com campo magnético transversal [26, 27, 28]. Entretanto, não há uma prova rigorosa (diferente do caso de interação de primeiros vizinhos) que as assinaturas das DQPTs (encontradas na energia livre dinâmica) sejam genuínas. Motivados por essa questão,⁴⁰ investigamos uma cadeia dimerizada com interações de longo alcance que é exatamente solúvel. Mostramos, de forma analítica, que a energia livre dinâmica em qualquer intervalo de tempo menor que $\Delta t \sim 1/D$ apresenta pelo menos uma não analiticidade,⁴¹ sendo D o alcance da interação. Ou seja, a energia livre dinâmica é não analítica em quase todo tempo, um fenômeno parecido com a fase de Griffiths dinâmica, veja Figura 2.12. Estamos terminando de redigir um artigo com os nossos resultados e pretendendo submetê-lo em breve para publicação.

Outro projeto em andamento é o entendimento da localização dos tempos críticos nas DQPTs de sistemas desordenados utilizando o “SDRG dinâmico”. Em 2021, já havia percebido numericamente que os tempos críticos não coincidiam com o que se esperava do SDRG. Percebi que, se usasse um

³⁹Como o curso de Física de Materiais possui um número grande de disciplinas em conjunto com o curso de Física Médica, tivemos que nos reunir com o NDE deste curso também.

⁴⁰Na verdade, esta foi uma motivação posterior. O que me motivou, primeiramente, foi um artigo do Prof. Calabrese e colaboradores [29]. Eles observaram que a “equipartição da entropia de emaranhamento” tinha uma dependência distinta daquela encontrada por mim e os Profs. Alcaraz e Sierra [30], ao menos para interação de longo alcance “forte”. Assim, me perguntei se não poderia haver, também, um efeito novo nas DQPTs.

⁴¹J. C. Xavier and J. A. Hoyos *in preparation* (2023).

fator 2 de reescala na contribuição dos acoplamentos efetivos da SDRG,⁴² acertava a localização do tempo crítico. Ainda em 2021 o prof. Hoyos me escreveu

“... O fator 2 que vc achou está de acordo com a previsão do SDRG "dinâmico". O problema até agora é que estávamos assumindo que a dinâmica só dependeria dos estados de mais baixa energia (daí substituir pelo Hamiltoniano efetivo). Calha que isso não é (em princípio) correto e o SDRG dá uma correção extra no tempo crítico que bate com o seu fator 2 ... ”

Para fazer tal cálculo, nas redes de quatro e seis sítios, o prof. Hoyos teve que calcular todos *overlaps* das autofunções de estados iniciais e finais. Contudo, não sabemos como calcular estes *overlaps* para um tamanho de rede arbitrário L . Atualmente, estou trabalhando neste problema e obtive uma relação elegante e surpreendentemente simples que tornam os cálculos dos *overlaps* triviais. Cálculos como os feitos pelo Prof. Hoyos, para as redes de 4 e 6 sítios, que levam algumas horas para obtermos as expressões analíticas, consigo agora obter em frações de segundos. Estou ainda investigando as implicações e consequências desta relação.

Eu, o Prof. Hoyos, e o Sr. Rafael pretendemos, também, escrever um artigo em breve com vários resultados que temos sobre a *dynamical Griffiths phase*. Na *letter* da *Phys. Rev. B* que foi publicada por nós em 2002, mencionada anteriormente, apresentamos apenas parte dos resultados que temos.

⁴²O SDRG é um processo de decimação de spins baseado em uma teoria de perturbação de segunda ordem.

3. Atividades de Pesquisa, Ensino e Gestão

3.1 Produção Bibliográfica

Publiquei 39 artigos até a presente data, sendo que em 35 deles apareço entre os dois primeiros autores ou autor único. Abaixo, discrimino em quais revistas eles foram publicados.

- três na *Physical Review Letters*
- dois na *Physical Review B: Rapid Communications*
- um na *Physical Review B: Letter*
- vinte e quatro na *Physical Review B*
- um na *Physical Review E*
- três no *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*
- um no *Journal of Statistical Mechanics*
- um no *Brazilian Journal of Physics*
- e três artigos publicados em *proceedings* de conferências

De acordo com o Web of Science (Google Scholar) estes artigos possuíam 701 (965) citações, em julho de 2023, fornecendo-me um fator $H = 16$ ($H = 17$). Abaixo, listo os artigos publicados em ordem cronológica e apresento suas citações no Google Scholar.

Artigos Publicados

1. F. C. Alcaraz and J. C. Xavier
The Critical Behaviour of Potts models with symmetry breaking fields
J. Phys. A: Math. Gen. **29**, 3329 (1996)
Citações no Google Scholar: **1**
2. F. C. Alcaraz and J. C. Xavier
Conformal invariance studies of the Baxter-Wu model and a related site-coloring problem
J. Phys. A: Math. Gen. **30**, L203 (1997)
Citações no Google Scholar: **31**
3. J. C. Xavier, F. C. Alcaraz, D. P. Lara , and J. A. Plascak
The Critical Behaviour of the spin-3/2 Blume-Capel model in two dimensions
Phys. Rev. B **57**, 11575 (1998)
Citações no Google Scholar: **136**

4. F. C. Alcaraz and J. C. Xavier
Critical and off-critical studies of the Baxter-Wu model with general bounday conditions
[J. Phys. A: Math. Gen. **32**, 2041 \(1999\)](#)
Citações no Google Scholar: **26**
5. G. B. Martins, C. Gazza, J. C. Xavier A. Feiguin, and E. Dagotto,
Doped Stripes in Models for the Cuprates Emerging from the One-Hole Properties of the Insulator
[Phys. Rev. Lett. **84**, 5844 \(2000\)](#)
Citações no Google Scholar: **79**
6. G. B. Martins, J. C. Xavier, C. Gazza, M. Vojta, and E. Dagotto
Indications of spin-charge separation at short distance and stripe formation in the t-J Model on ladders and planes
[Phys. Rev. B **63**, 014414 \(2000\)](#)
Citações no Google Scholar: **41**
7. G. B. Martins, J. C. Xavier, L. Arrachea, and E. Dagotto
Qualitative understanding of the sign of t' asymmetry in the extended t-J Model and relevance for pairing properties
[Phys. Rev. B **64**, 180513\(R\) \(2001\)](#)
Citações no Google Scholar: **41**
8. J. C. Xavier, E. Novais, and E. Miranda
Small Fermi surface in the one-dimensional Kondo lattice model
[Phys. Rev. B **65**, 214406 \(2002\)](#)
Citações no Google Scholar: **24**
9. J. C. Xavier, R. G. Pereira, E. Miranda, and I. Affleck
Dimerization induced by the RKKY interaction
[Phys. Rev. Lett. **90**, 247204 \(2003\)](#)
Citações no Google Scholar: **63**
10. J. C. Xavier
Spin and charge gaps of the half-filled N-leg Kondo ladders
[Phys. Rev. B **68**, 134422 \(2003\)](#)
Citações no Google Scholar: **12**
11. M. L. M. Costa, J. C. Xavier, and J. A. Plascak
Phase Diagram and Critical Behavior of the Spin-1 Baxter-Wu Model with a Cristal Field
[Phys. Rev. B **69**, 104103 \(2004\)](#)
Citações no Google Scholar: **17**
12. J. C. Xavier and E. Miranda
The correlation exponent K_ρ of the one-dimensional Kondo lattice model
[Phys. Rev. B **70**, 075110 \(2004\)](#)
Citações no Google Scholar: **11**

13. E. Miranda and J. C. Xavier
An RKKY-induced dimerized phase of the Kondo lattice model
[Physica C 408-410, 179 \(2004\). Proceeding](#)
Citações no Google Scholar: **1**
14. J. C. Xavier, E. Miranda, and E. Dagotto
Phase diagram of the two-leg Kondo ladder
[Phys. Rev. B 70, 172415 \(2004\)](#)
Citações no Google Scholar: **6**
15. J. Silva-Valencia, J. C. Xavier, and E. Miranda
Quantum anisotropic Heisenberg chains with superlattice structure: a DMRG study
[Phys. Rev. B 71, 024405 \(2005\)](#)
Citações no Google Scholar: **20**
16. E. Miranda and J. C. Xavier
Ground state phases of the two-leg Kondo ladder
[Physica B 359-361, 102 \(2005\). Proceeding](#)
Citações no Google Scholar: **0**
17. J. C. Xavier, H. Onish, T. Hotta, and E. Dagotto
Spin, charge, and orbital correlations in the one-dimensional t_2g -orbital Hubbard model
[Phys. Rev. B 73, 014405 \(2006\)](#)
Citações no Google Scholar: **10**
18. J. C. Xavier and A. L. Malvezzi
Absence of a true long-range orbital order in a two-leg Kondo ladders model
[Phys. Rev. B 76, 014422 \(2007\)](#)
Citações no Google Scholar: **4**
19. J. C. Xavier and E. Dagotto
Robust d-wave pairing correlations in the Heisenberg Kondo lattice model
[Phys. Rev. Lett. 100, 146403 \(2008\)](#)
Citações no Google Scholar: **26**
20. J. C. Xavier and E. Miranda
The one-dimensional Kondo lattice model at quarter-filling
[Phys. Rev. B 78, 144406 \(2008\)](#)
Citações no Google Scholar: **10**
21. J. C. Xavier
A simple way to avoid metastable configurations in the density-matrix renormalization-group algorithms
[Braz. J. Phys. 39, 596 \(2009\)](#)
Citações no Google Scholar: **4**

22. J. C. Xavier, G. Alvarez, A. Moreo, and E. Dagotto
Coexistence of pairing tendencies and ferromagnetism in a doped two-orbital Hubbard model on two-leg ladders
[Phys. Rev. B **81**, 085106 \(2010\)](#)
Citações no Google Scholar: **8**
23. J. C. Xavier
Entanglement Entropy, Conformal Invariance and the Critical Behavior of the Anisotropic Spin-S Heisenberg Chains: DMRG study
[Phys. Rev. B **81**, 224404 \(2010\)](#)
Citações no Google Scholar: **32**
24. J. C. Xavier and F. C. Alcaraz
Renyi Entropy and Parity Oscillations of the Anisotropic Spin-s Heisenberg Chains in a Magnetic Field
[Phys. Rev. B **83**, 214425 \(2011\)](#)
Citações no Google Scholar: **44**
25. J. C. Xavier and F. C. Alcaraz
Precise Determination of Quantum Critical Points by the Violation of the Entropic Area Law
[Phys. Rev. B **84**, 094410 \(2011\)](#)
Citações no Google Scholar: **26**
26. J. C. Xavier and F. C. Alcaraz
Finite-size corrections of the Entanglement Entropy of critical quantum chains
[Phys. Rev. B **85**, 024418 \(2012\)](#)
Citações no Google Scholar: **40**
27. D. Eloy and J. C. Xavier
Entanglement Entropy of the Low-Lying Excited States and Critical Properties of an Exactly Solvable Two-Leg Spin Ladder with Three-Spin Interactions
[Phys. Rev. B **86**, 064421 \(2012\)](#)
Citações no Google Scholar: **16**
28. L. Taddia, J. C. Xavier, F. C. Alcaraz, and G. Sierra
Entanglement entropies in conformal systems with boundaries
[Phys. Rev. B **88**, 075112 \(2013\)](#)
Citações no Google Scholar: **50**
29. F. B. Ramos and J. C. Xavier
The N-Leg spin-S Heisenberg ladders: DMRG study
[Phys. Rev. B **89**, 094424 \(2014\)](#)
Citações no Google Scholar: **23**
30. J. C. Xavier and F. B. Ramos
Universal Finite-Size Corrections of the Entanglement Entropy of Quantum Ladders and the Entropic

Area Law

[J. Stat. Mech., P10034 \(2014\)](#)

Citações no Google Scholar: **1**

31. I. S. Eliëns, F. B. Ramos, J. C. Xavier, and R. G. Pereira

Boundary versus bulk behavior of time-dependent correlation functions in one-dimensional quantum systems

[Phys. Rev. B **93**, 195129 \(2016\)](#)

Citações no Google Scholar: **8**

32. D. A. Dias, J. C. Xavier, and J. A. Plascak

Critical behavior of the spin-1 and spin-3/2 Baxter-Wu model in a crystal field

[Phys. Rev. E **95**, 012103 \(2017\)](#)

Citações no Google Scholar: **11**

33. D. A. Dias, J. C. Xavier, and J. A. Plascak

Universality and phase diagrams of the Baxter-Wu Model in a Crystal Field: spin-1 and spin-3/2

[J. Phys.: Conf. Ser. **921**, 012003 \(2017\). Proceeding](#)

Citações no Google Scholar: **0**

34. J. C. Xavier, F. C. Alcaraz, and G. Sierra

Equipartition of the entanglement entropy

[Phys. Rev. B **98**, 041106\(R\) \(2018\). Editors' Suggestion](#)

Citações no Google Scholar: **118**

35. J. C. Xavier, J. A. Hoyos, and E. Miranda

Adaptive Density Matrix Renormalization Group for Disordered Systems

[Phys. Rev. B **98**, 195115 \(2018\)](#)

Citações no Google Scholar: **9**

36. J. C. Xavier and M. A. Rajabpour

Entanglement and boundary entropy in quantum spin chains with arbitrary direction of the boundary magnetic fields

[Phys. Rev. B **101**, 235127 \(2020\)](#)

Citações no Google Scholar: **5**

37. F. B. Ramos, M. Lencsés, J. C. Xavier and R. G. Pereira

Confinement and bound states in a transverse-field two-leg Ising ladder

[Phys. Rev. B **102**, 014426 \(2020\)](#)

Citações no Google Scholar: **11**

38. J. C. Xavier, R. G. Pereira, M. E. S. Nunes, and J. A. Plascak

Coexistence of spontaneous dimerization and magnetic order in a transverse-field Ising ladder with four-spin interactions

[Phys. Rev. B **105**, 024430 \(2022\)](#)

Citações no Google Scholar: **0**

39. José A. Hoyos, R. F. P. Costa, and J. C. Xavier
Disorder-induced dynamical Griffiths singularities after certain quantum quenches
[Phys. Rev. B **106**, L140201 \(2022\)](#)
Citações no Google Scholar: **0**

3.2 Palestras convidadas e apresentações orais

Abaixo, relato as minhas palestras e apresentações orais.

Palestras Convidadas

1. *Investigating static properties of strongly correlated systems via the DMRG algorithm*
International workshop on DMRG and other advances numerical RG methods, Beijing-China (2010).
2. *Entanglement Entropy of Quantum Ladders and the Entropic Area Law*
Workshop and Symposium on DMRG Technique for Strongly Correlated Systems in Physics and Chemistry, IIP-UFRN-Brasil (2015).
3. *Determining critical exponents through the entanglement entropy and via real time correlation functions*
1st Workshop on Quantum Low-dimensional Magnetism, Alagoas-UFAI-Brasil (2017).
4. *Adaptive density matrix renormalization group for disordered systems*
Workshop: Emergent Hydrodynamics in Low Dimensional Quantum Systems, IIP-UFRN-Natal-Brasil (2019).

Apresentações orais em Congressos

1. *The Critical Behaviour of the spin-3/2 Blume-Capel model in two Dimensions*
XXI Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, Caxambu-MG, Brasil (1998).
2. *Indications of Half-Doped Stripes in the Extended t -J Model*
The University of Georgia, CSP, Athens, USA (2000).
3. *Stripes and Pairing in the Extended t -J Model*
XXIV Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, São Lourenco-MG, Brasil (2001).
4. *Small Fermi surface in the one-dimensional Kondo lattice model*
Escola Brasileira de Mecânica Estatística, São Carlos/USP-SP, Brasil (2002).
5. *Small Fermi surface in the one-dimensional Kondo lattice model*
XXV Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, Caxambu-MG, Brasil (2002).
6. *The spin and charge gaps of the half-filled N -leg Kondo ladders*
XXVII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, Caxambu-MG, Brasil (2004).

7. *The N-Leg Kondo Ladders*
Recent Progress and Prospects in Density-Matrix Renormalization. Lorentz Center, Leiden, Holanda (2004).
8. *Spin, charge and orbital correlations in the one-dimensional t_2g -orbital Hubbard model*
XXXI Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, Águas de Lindóia-SP, Brasil (2006).
9. *Absence of a true long-range orbital order in a two-leg Kondo ladder*
XXXI Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, Águas de Lindóia-SP, Brasil (2007).
10. *Robust d-wave pairing correlations in the Heisenberg Kondo lattice Model*
XXXI Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, Águas de Lindóia-SP, Brasil (2008).
11. *d-wave Superconductivity in the Kondo-Heisenberg Lattice Model*
International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Buzios-RJ, Brasil (2008).
12. *Entanglement Entropy of the Low-Lying Excited States of Quantum Spin Chains*
XXXVI Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, Águas de Lindóia-SP, Brasil (2013).
13. *Universal Finite-Size Corrections of Entanglement Entropy of Quantum Ladders and the Entropic Area Law*
XXXVIII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - ENFMC, Foz do Iguaçu-PR, Brasil (2015).

Mini-Curso

1. Uma introdução a métodos não-perturbativos aplicados a sistemas fortemente correlacionados
Universidade Federal de Goiás (2006).

Além destas apresentações orais, em eventos científicos promovidos por associações/sociedades científicas, ministrei seminários ao longo dos anos em várias universidades, a saber: IFGW-Unicamp, USP-São Carlos, UFF, UFMG, UFG e UFU.

3.3 Participações em Bancas

Abaixo, listo as minhas participações em bancas.

Participação de Bancas de Concursos Públicos

1. *Membro titular da Comissão Julgadora do Concurso Público de Provas e Títulos de professor substituto*
Instituto de Física - Universidade Federal de Uberlândia (2007).

2. *Presidente da comissão julgadora do concurso público de provas e títulos de professor Adjunto*
Instituto de Física - Universidade Federal de Uberlândia (2008).
3. *Presidente da comissão julgadora do concurso público de provas e títulos de professor auxiliar*
Instituto de Física - Universidade Federal de Uberlândia (2013).
4. *Membro da comissão julgadora do concurso público de provas e títulos de professor efetivo*
Departamento de Física - Universidade Federal de São Carlos (2014).
5. *Membro da comissão julgadora do concurso público de provas e títulos de professor visitante*
Instituto de Física - Universidade Federal de Uberlândia (2018).

Participação de Bancas de Tese de Doutorado

1. Participação da banca de Maria Lucia M. Costa
Título: *O modelo de Baxter-Wu Spin-1*
Universidade Federal de Minas Gerais (2005).
2. Participação da banca de Tatiana Pena Figueiredo
Título: *Transição de fase topológica no modelo de heisenberg anisotrópico em duas dimensões*
Universidade Federal de Minas Gerais (2017).
3. Participação da banca de Raphael Cavalcante Alécio
Título: *Processos de magnetização e emaranhamento quântico no tubo triangular de spins-1/2 frustrados*
Universidade Federal de Alagoas (2017).
4. Participação da banca de Alberto Luiz de Paula Junior
Título: *Cadeias de spin fora do equilíbrio: efeito cone de luz e retificação de correntes de spin e energia*
Universidade Federal de Minas Gerais (2019).
5. Participação da banca de Arash Jafarizadeh
Título: *Solvable spin and fermionic chains: A guide to correlations, density matrix formulation and entanglement*
Universidade Federal Fluminense (2022).

Participação de Bancas de Dissertação de Mestrado

1. Participação da banca de Daniel Henrique Rodrigues
Título: *Estudo das Propriedades Ópticas e Estruturais de Nanocristais de MnTe em Vidros de Óxidos*
Universidade Federal de Uberlândia (2005).
2. Participação da banca de Cláudio Pereira Lima
Título: *Adsorção de Bifenil na Superfície de Si(001) por um Método de Primeiros Princípios*
Universidade Federal de Uberlândia (2007).

3. Participação da banca de Poliana Heiffig Penteado
Título: *Modelo de Heisenberg aniferromagnético com interações não-uniformes*
Universidade de São Paulo, São Carlos (2008).
4. Participação da banca de César Juan Alarcon Lacctarímay
Título: *Sobre a Derminação dos Nós Fermiônicos no Método de Monte Carlo Quântico de Difusão*
Universidade Federal de Goiás (2009).
5. Participação da banca de Marco Antonio de Oliveira Hachiya
Título: *Efeito Hall de spin em poços quânticos com acoplamento spin-órbita inter-subbanda*
Universidade de São Paulo, São Carlos (2009).
6. Participação da banca de Marlon Caetano
Título: *Estudo de sistemas vítreos dopados com Er³ visando aplicações em fibras e amplificadores ópticos*
Universidade Federal de Uberlândia (2013).
7. Participação da banca de Poliana Lima de Sousa
Título: *Simetrias de Lie de uma equação de Korteweg-de Vries com dispersão não linear*
Universidade Federal de São Carlos (2015).
8. Participação da banca de Aldo Mendonça do Nascimento Junior
Título: *Ferrimagnetos Quase-Unidimensionais Frustrados*
Universidade Federal de Pernambuco (2016).

3.4 Orientações

Abaixo, listo os alunos que orientei e oriento.

Orientação de Mestrado em andamento

1. Orientador do Sr. Jhanata Amada da Silva
Período: abril de 2023 até a presente data
Título: *O modelo the Creutz com interações de longo alcance*
Universidade Federal de Uberlândia

Orientações de Doutorado Concluídas

1. Orientador da Sra. Flávia Braga Ramos
Período: 2013 a 2017
Título: *Propriedades Estáticas e dinâmicas de sistemas fortemente correlacionados*
Universidade Federal de Uberlândia

2. Co-orientador da Sra. Daniele Alves Dias¹

Período: 2009 a 2013

Título: *Estudo de sistemas magnéticos utilizando técnicas de grupo de renormalização fenomenológico*

Universidade Federal de Minas Gerais

Orientações de Mestrado Concluídas

1. Orientador da Sra. Flávia Braga Ramos

Período: 2011 a 2013

Título: *As escadas de Heisenberg de N-pernas*

Universidade Federal de Uberlândia

2. Orientador do Sr. Dalson Eloy Almeida

Período: 2011 a 2013

Título: *Emaranhamento e Propriedades Críticas em cadeias de Spin Exatamente Solúveis*

Universidade Federal de Uberlândia

3. Orientador do Sr. Rafael Freitas Costa

Período: 2019 a 2021

Título: *Transições de Fase Quânticas Dinâmicas na Cadeia XX desordenada*

Universidade Federal de Uberlândia

Orientações de iniciação científica

1. Flávia Braga Ramos

Período: 2007 a 2010

Título: *Diagonalização exata de Hamiltonianas Quânticas*

Universidade Federal de Uberlândia.

2. Leonardo Tonetto

Período: 2007 a 2008

Título: *Fenômenos Críticos*

Universidade Federal de Uberlândia

3. Dalson Eloy Almeida

Período: 2009-2010

Título: *Modelos Exatamente Solúveis*

Universidade Federal de Uberlândia

4. Rafael Vinícios

Período: 2012 a 2013

Título: *Magnetismo em sistemas unidimensionais*

Universidade Federal de Uberlândia

¹O orientador foi o Prof. J. Plascak da UFMG.

5. Rafael Freitas Costa

Período: 2016 a 2018

Título: *Propriedades Dinâmicas de Férmions Livres*

Universidade Federal de Uberlândia

3.5 Projetos e Eventos

Abaixo, listo os projetos que coordenei, bem como a minha participação em projetos. Também relato eventos realizados, no qual eu era membro da comissão organizadora.

Coordenação de Projetos

1. Bolsa de Produtividade em Pesquisa- PQ-2 - CNPq: Processo 303072/2005-9

Uma abordagem não perturbativa de sistemas fortemente correlacionados via cálculos numéricos

2. Universal 2006 - CNPq: Processo 472635/2006-9

Uma abordagem não perturbativa de sistemas fortemente correlacionados via cálculos numéricos

Valor: 21.546,00

3. Universal 2007 - FAPEMIG: Processo APQ 3633-5.02/07

Processo: APQ 3633-5.02/07

Cálculo de Propriedades Dinâmicas de sistemas quase-unimensionais

Valor: 17.700,00

4. Universal 2008 - CNPq: Processo 470742/2008-9

Propriedades Estáticas e Dinâmicas de Sistemas Fortemente Correlacionados

Valor: 13.104,00

5. Bolsa de Produtividade em Pesquisa- PQ-2 - CNPq: Processo 301759/2008-1

Propriedades Estáticas e Dinâmicas de Sistemas Fortemente Correlacionados

6. Universal 2010 - CNPq: Processo 473671/2010-7

Entropia de emaranhamento de sistemas fortemente correlacionados

Valor: 12.550,00

7. Universal 2010 - FAPEMIG: Processo APQ 02079-10

Um estudo do Modelo de Heisenberg via o grupo de renormalização de matrix densidade

Valor: 39.245,00

8. Universal 2011 - FAPEMIG: Processo APQ-01186-11
Entropia de emaranhamento de sistemas fortemente correlacionados
Valor: 21.472,50,00
9. Bolsa de Produtividade em Pesquisa- PQ-2 - CNPq: Processo: 304079/2012-0
Correções de tamanho finito da Entropia de Emaranhamento de Sistemas Fortemente Correlacionados
10. Uso de CPU no Center for Nanophase Materials Sciences, Oak Ridge National Lab. - EUA
Phase Diagram and Electron Correlations of the Pnictide Superconductors: a DMRG Study
11. Auxílio Participação em Eventos Científicos - CNPq: Processo 466193/2014-9
Workshop e Simpósio Internacional: Técnicas DMRG para Sistemas Fortemente Correlacionados em Física e Química
Valor: 13.000,00
12. Programa de Apoio a Eventos no País - CAPES: 23038.001705/2015-15
Workshop e Simpósio Internacional: Técnicas DMRG para Sistemas Fortemente Correlacionados em Física e Química
Valor: 18.000,00
13. Bolsa de Produtividade em Pesquisa- PQ-2- CNPq: Processo: 303799/2015-3
Propriedades Dinâmicas de Escadas Quânticas: Um estudo numérico via tDMRG
14. Universal 2017 - FAPEMIG: Processo APQ-01306-17
Propriedades Dinâmicas de Sistemas Quânticos Quase-unidimensionais: Um estudo numérico via tDMRG
Valor: 12.650,00

Participação de Projetos

1. PROCAD - Colaboração UFU-USP-UFMG-IPEN (2011 a 2017)
Estrutura eletrônica, informação quântica e caracterização de biomateriais.
2. CAPES-Cofecub Brasil-França - Colaboração Brasil e França (2017 a 2022)
Competing of magnetic, superconducting, and topological phases in strongly correlated electron systems

Realização de Eventos

1. V Semana da Física da Universidade Federal de Uberlândia. UFU (2012)
2. VI Semana da Física da Universidade Federal de Uberlândia. UFU (2013)
3. Symposium on Statistical Mechanics in honor of Prof. Francisco Alcaraz's 60th birthday. USP-São Carlos (2013)
4. Workshop and Symposium on DMRG Technique for Strongly Correlated Systems in Physics and Chemistry. IIP-Natal (2015)
5. Brazilian School and Workshop on Statistical Mechanics - Recent Developments. USP-São Carlos (2023)

3.6 Ensino

Abaixo, listo as disciplinas lecionadas ao longo da minha carreira, tanto na graduação quanto na pós-graduação. Vale mencionar a minha carga didática sempre variou de 8 a 10 horas aulas por semana, dependendo do semestre.

Pós-Graduação

1. Mecânica Estatística
2. Seminários

Graduação

1. Mecânica Estatística
2. Métodos da Física teórica I
3. Métodos da Física teórica II
4. Eletromagnetismo I
5. Física Básica: Eletromagnetismo
6. Física Básica: Mecânica

3.7 Consultorias

Abaixo, listo as revistas internacionais em que atuei como *revisor*, bem como as agências de fomento de pesquisa em que fui parecerista *ad hoc*.

Revisor de Periódicos

1. 2004 - atual: *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*
2. 2004 - atual: *Physical Review Letter*
3. 2008 - atual: *Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics*
4. 2010 - atual: *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*
5. 2011 - atual: *Journal of Statistical Mechanics*
6. 2015 - atual: *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*
7. 2016 - atual: *Physics Letters A*
8. 2018 - atual: *Physical Review X*

Parecerista de Agências

1. CNPq
2. FAPERJ
3. FAPESB

3.8 Gestão

Abaixo, listo as minhas principais atividades em gestão.

1. Coordenador do programa de pós-graduação em física - UFU
Período: agosto de 2014 a agosto de 2016
2. Presidente do NDE
Período: abril de 2021 a abril de 2023
3. Presidente do NDE
Período: abril de 2023 até a presente data
4. Membro da comissão de espaço físico
Período: dezembro de 2017 a junho de 2019
5. Membro da comissão de auxílio de pesquisa da PROPPP
Período: fevereiro de 2016 a janeiro de 2017
6. Membro da comissão responsável para elaborar o curso de Doutorado do PPFIS-UFU
Ano: 2006
7. Membro do colegiado do PPFIS-UFU
Período: setembro de 2018 a agosto de 2020

8. Membro do colegiado do curso de Física dos Materiais

Período: setembro de 2008 a setembro de 2010

9. Membro do colegiado do curso de Licenciatura em Física

Período: agosto de 2013 a agosto de 2014

4. Comentários Finais

A elaboração deste memorial, que faz parte do meu pedido de promoção para a classe de Prof. Titular, me levou a descrever as minhas atividades de pesquisa, ensino e gestão ao longo da minha carreira. Essa tarefa me despertou uma certa nostalgia ao lembrar vários episódios do passado, e até um sentimento de reflexão. E, ao olhar todo o percurso percorrido por mim até a presente data, me pergunto: onde chegarei? Não sei dizer onde chegarei, mas sei que continuarei fazendo o que gosto: *aprender “coisas” novas e entendê-las à minha maneira e tentar responder questões (ou “enigmas”) que me intrigam e me provocam.*

Gostaria de expressar a minha imensa gratidão a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a minha formação.¹ Embora não seja possível mencionar todas individualmente, gostaria de fazer agradecimentos especiais: aos meus pais, à Dona Benê e o Joãozinho; aos meus irmãos, César, Sandre e Dudu; à minha esposa Ana Paula e aos meus filhos, João Paulo e João Vitor; e a todos professores que contribuíram com a minha formação. Um agradecimento especial ao Instituto de Física da UFU também se faz necessário: agradeço aos professores, aos técnicos administrativos, e os discentes que estiveram ao meu lado e ajudaram no “crescimento” do INFIS ao longo dos anos em que estive aqui. Por fim, gostaria de agradecer as agências de pesquisa:² CNPq, FAPEMIG, FAPESP, e CAPES pelo suporte financeiro ao longo da minha carreira.

¹Refiro-me aqui à contribuição na minha formação em sentido amplo: educacional, cultural, pessoal, etc.

²Cabe lembrar que essas agências são mantidas pelas contribuições, via impostos, da população. Talvez o correto seja, então, agradecer ao povo brasileiro.

Bibliografia

- [1] I. Affleck, “Universal term in the free energy at a critical point and the conformal anomaly,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 56, p. 746, 1986.
- [2] H. W. J. Blöte, J. L. Cardy, and M. P. Nightingale, “Conformal invariance, the central charge, and universal finite-size amplitudes at criticality,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 56, p. 742, 1986.
- [3] P. Di Francesco, P. Mathieu, and D. Senechal, *Conformal Field Theory*. New York: Springer, 1999.
- [4] R. J. Baxter and F. Y. Wu, “Exact solution of an ising model with three-spin interactions on a triangular lattice,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 31, pp. 1294–1297, Nov 1973.
- [5] J. M. Tranquada, B. J. Sternlieb, J. D. Axe, Y. Nakamura, and S. Uchida, “Evidence for stripe correlations of spins and holes in copper oxide superconductors,” *Nature*, vol. 375, pp. 561–563, Jun 1995.
- [6] S. R. White, “Density matrix formulation for quantum renormalization groups,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 69, no. 19, p. 2863, 1992.
- [7] K. G. Wilson, “Renormalization group - critical phenomena and Kondo problem,” *Rev. Mod. Phys.*, vol. 47, p. 773, 1975.
- [8] J. M. Luttinger, “Fermi Surface and Some Simple Equilibrium Properties of a System of Interacting Fermions,” *Phys. Rev.*, vol. 119, no. 4, p. 1153, 1960.
- [9] M. Yamanaka, M. Oshikawa, and I. Affleck, “Nonperturbative approach to Luttinger’s theorem in one dimension,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 79, no. 6, p. 1110, 1997.
- [10] C. Bourbonnais, R. T. Henriques, P. Wzietek, D. Königter, J. Voiron, and D. Jérôme, “Nuclear and electronic resonance approaches to magnetic and lattice fluctuations in the two-chain family of organic compounds (perylene)₂[M(S₂C₂(CN)₂)₂] (M=Pt,Au),” *Phys. Rev. B*, vol. 44, no. 2, p. 641, 1991.
- [11] R. T. Henriques, L. Alcácer, D. Jérôme, C. Bourbonnais, and C. Weyl, “Electrical conductivity of (perylene)₂M(MNT)₂ (M=Pt, Au) under pressure,” *J. Phys. C*, vol. 19, p. 4663, 1986.
- [12] P. Chandra, P. Coleman, J. A. Mydosh, and V. Tripathi, “Hidden orbital order in the heavy fermion metal URu₂Si₂,” *Nature*, vol. 417, pp. 831–834, Jun 2002.
- [13] G. Vidal, J. I. Latorre, E. Rico, and A. Kitaev, “Entanglement in Quantum Critical Phenomena,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 90, p. 227902, 2003.
- [14] D. Eloy and F. Ramos, “Magnetic properties in an alternating-spin ferromagnetic ising chain,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 323, no. 15, pp. 1934–1937, 2011.

- [15] P. Calabrese, M. Campostrini, F. Essler, and B. Nienhuis, “Parity effects in the scaling of block entanglement in gapless spin chains,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 104, p. 095701, 2010.
- [16] S. R. White and A. E. Feiguin, “Real-Time Evolution Using the Density Matrix Renormalization Group,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 93, p. 076401, 2004.
- [17] V. L. Quito, J. A. Hoyos, and E. Miranda, “Emergent SU(3) Symmetry in Random Spin-1 Chains,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 115, p. 167201, 2015.
- [18] M. Goldstein and E. Sela, “Symmetry-resolved entanglement in many-body systems,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 120, p. 200602, May 2018.
- [19] I. Affleck and A. W. W. Ludwig, “Universal noninteger ground-state degeneracy in critical quantum systems,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 67, p. 161, 1991.
- [20] I. Peschel, “Calculation of reduced density matrices from correlation functions,” *Journal of Physics A: Mathematical and General*, vol. 36, no. 14, p. L205, 2003.
- [21] M. Heyl, A. Polkovnikov, and S. Kehrein, “Dynamical quantum phase transitions in the transverse-field ising model,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 110, p. 135704, Mar 2013.
- [22] R. Griffiths, “Nonanalytic Behavior Above the Critical Point in a Random Ising Ferromagnet,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 23, p. 17, 1969.
- [23] C. N. Yang and T. D. Lee, “Statistical theory of equations of state and phase transitions. i. theory of condensation,” *Phys. Rev.*, vol. 87, pp. 404–409, Aug 1952.
- [24] T. D. Lee and C. N. Yang, “Statistical theory of equations of state and phase transitions. ii. lattice gas and ising model,” *Phys. Rev.*, vol. 87, pp. 410–419, Aug 1952.
- [25] M. E. Fisher, *The Nature of Critical Points*. W. E. Brittin, New York: Golden and Breach, (Lectures in Theoretical Physic. Vol. viic) ed., 1965.
- [26] P. Jurcevic, H. Shen, P. Hauke, C. Maier, T. Brydges, C. Hempel, B. P. Lanyon, M. Heyl, R. Blatt, and C. F. Roos, “Direct observation of dynamical quantum phase transitions in an interacting many-body system,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 119, p. 080501, Aug 2017.
- [27] V. Borish, O. Marković, J. A. Hines, S. V. Rajagopal, and M. Schleier-Smith, “Transverse-field ising dynamics in a rydberg-dressed atomic gas,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 124, p. 063601, Feb 2020.
- [28] B. Žunkovič, M. Heyl, M. Knap, and A. Silva, “Dynamical quantum phase transitions in spin chains with long-range interactions: Merging different concepts of nonequilibrium criticality,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 120, p. 130601, Mar 2018.
- [29] F. Ares, S. Murciano, and P. Calabrese, “Symmetry-resolved entanglement in a long-range free-fermion chain,” *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, vol. 2022, p. 063104, jun 2022.
- [30] J. C. Xavier, F. C. Alcaraz, and G. Sierra, “Equipartition of the entanglement entropy,” *Phys. Rev. B*, vol. 98, p. 041106(R), 2018.