



Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Física Gleb Wataghin

Levitação magnética

Relatório Final

F609 – Tópicos de Ensino de Física

Aluno: Vinícius Gabriel Antunes

Supervisor: Prof. Dr. Fernando Alvarez

Coordenador: Prof. Dr. Joaquim José Lunazzi

Campinas, dezembro de 2017

Sumário

1	Introdução	3
2	Levitação magnética: diamagnetismo x paramagnetismo	3
3	Objetivos	5
4	Experimentos de levitação magnética	5
4.1	Levitação do grafite sobre o trilho de ímãs	5
4.2	Levitação do ímã entre as placas de grafite.....	6
5	Descrição matemática da levitação do grafite de lapiseira.....	7
6	Aplicação dos experimentos em aula	8
7	Conclusão	9
8	Comentário do orientador.....	10
9	Referências	10
10	Apêndice	11
11	Anexo	12

1 Introdução

É possível fazer objetos e seres vivos, incluindo sapos, levitarem usando propriedades magnéticas da matéria [1,2]. Levitação é um fenômeno intrigante que desperta o interesse das pessoas, particularmente a dos cientistas, desde tempos antigos. Porém, explicar tal fenômeno requer, muitas vezes, mais que abstração devido a sua complexidade. Por isso, experimentá-lo na escola tende a ser um propulsor da curiosidade dos estudantes, além de ser um bom preceito para se discutir os conceitos físicos do magnetismo.

Para o ensino de física, a utilização de experimentos tem o papel motivador para o estudante. A motivação é algo muito importante no aprendizado dos estudantes e é influenciada pelo ambiente e pelos meios nos quais ocorre o processo de aprendizagem [3]. Não são todas as escolas que possuem laboratórios de ensino, ou até mesmo experimentos disponíveis para demonstrações. Muitas vezes os professores de física fazem uso de experimentos mentais, abstratos, para discutir fenômenos físicos. A abstração é primordial para o estudo das ciências, porém, não substitui a ação de experimentar e a intuição.

Desta maneira, o presente trabalho contribui na produção de um material a ser usado como roteiro para a produção de experimentos de levitação magnética usando grafite para lapiseiras, entre outros materiais de simple acesso. A escolha do magnetismo como tema da atividade, deve-se em parte, por esta ser uma área divertida e inusitada da física, mais também, por ter a potencialidade de despertar o interesse sobre a ciência nos seus expectadores. E o fenômeno da levitação, por si só, já chama a atenção. Afinal de contas, a levitação não é algo comum de ser observado no cotidiano.

Por tanto, neste relatório estão reunidas informações sobre: conceitos importantes do magnetismo, diamagnetismo e paramagnetismo (seção 2), a produção dos experimentos de levitação magnética (seção 4), a descrição matemática da levitação do grafite de lapiseira (seção 5) e a aplicação dos experimentos de levitação a alunos do ensino médio (seção 6).

2 Levitação magnética: diamagnetismo x paramagnetismo

Em 1842, Samuel Earnshaw publicou um trabalho sobre a levitação de objetos [4]. Neste trabalho, Earnshaw apresentou justificativas de que não é possível fazer cargas, imãs e massas levitarem, utilizando-se qualquer configuração estática de forças elétricas, magnéticas e gravitacionais, respectivamente. Isso porque, as forças eletromagnéticas e gravitacionais possuem dependência de $1/r^2$, sendo r a distância entre o corpo de prova a origem do campo, não possuindo pontos de equilíbrio estáveis – a função $1/r^2$ não possui ponto de mínimo.

Para Andrey Geim, o teorema deveria ser reformulado para o magnetismo: “Substâncias paramagnéticas não levitam (a não ser que se submetidas a um campo magnético forte, de modo a se tornarem substâncias diamagnética)”[2]. Oito anos após a publicação de Earnshaw, foi demonstrado de forma qualitativa que substâncias diamagnéticas podem ser aprisionadas com campos magnéticos [2]. O diamagnetismo é uma propriedade de origem quântica da matéria, isso porque, está relacionado com o movimento dos elétrons ao redor do núcleo [2,5].

Diamagnéticos são os materiais que possuem magnetização (\vec{M}) no sentido oposto do campo, no qual estão sendo submetidas. Em contrapartida, os paramagnéticos possuem o mesmo sentido do campo no qual estão sendo submetidos, como é ilustrado na Figura 1.

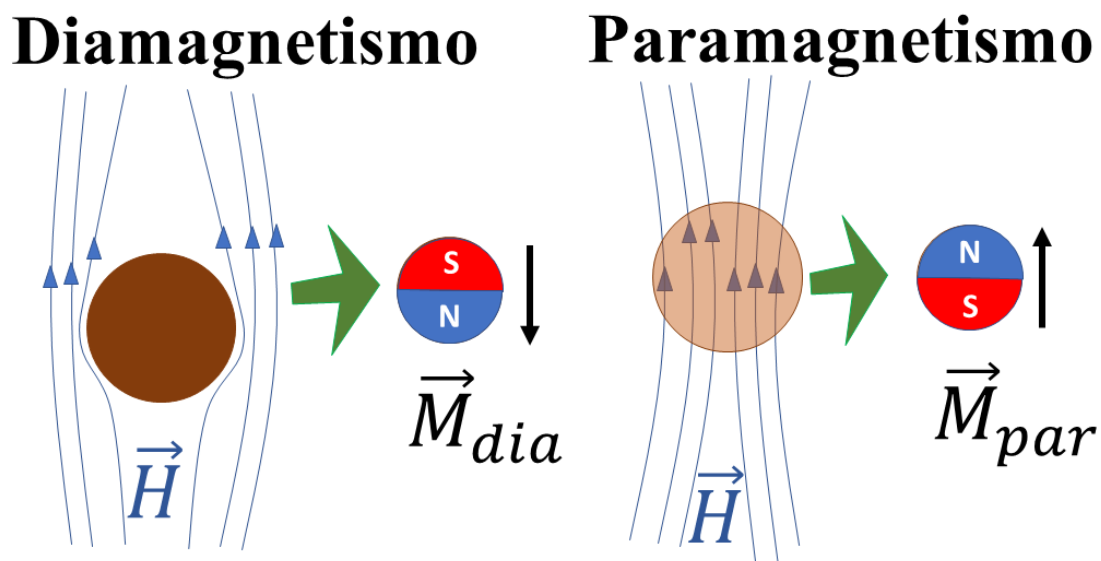


Figura 1. Ilustração dos efeitos diamagnético e paramagnético nos materiais. Sendo \vec{H} o campo magnético externo, \vec{M}_{dia} a magnetização do material diamagnético (oposto ao sentido de \vec{H}) e \vec{M}_{par} a magnetização do material paramagnético (a favor do sentido de \vec{H}).

A Figura 1 ilustra a resposta magnética dos materiais ao serem submetidos a um campo magnético externo \vec{H} . Sendo \vec{M}_{dia} a magnetização do diamagnético (oposto ao sentido de \vec{H}) e \vec{M}_{par} a magnetização do material paramagnético (a favor do sentido de \vec{H}). Ressalta-se que $\vec{M}_i = \chi_i \vec{H}$, onde χ_i é a susceptibilidade magnética do material i . Define-se como diamagnético o material com $\chi_{dia} < 0$ e paramagnético $\chi_{par} > 0$.

3 Objetivos

O projeto tem como objetivo geral a produção de dois experimentos de levitação magnética, para serem apresentados para uma audiência de número igual ou maior que 44 pessoas. Tendo como público alvo alunos do ensino médio.

Os objetivos específicos são:

- Construir e experimentar a levitação magnética de um grafite de lapiseira sobre um trilho de imãs (seção 4.1).
- Construir e experimentar a levitação magnética de um imã entre duas placas de grafite (seção 4.2).
- Apresentar e discutir, através da levitação magnética, conceitos usados no magnetismo (seção 6).

4 Experimentos de levitação magnética

Nesta seção estão descritos e discutidos os dois experimentos estudados neste relatório, a levitação do grafite de lapiseira sobre o trilho de imãs (seção 4.1) e a levitação do imã entre placas de grafite (seção 4.2). Ressalta-se que os imãs utilizados na confecção dos experimentos foram adquiridos na A Casa do Imã, Anexo.

4.1 Levitação do grafite sobre o trilho de imãs

A montagem da levitação do grafite de lapiseira sobre o trilho de imãs é apresentada na Figura 2. Nesta montagem, o trilho de imãs forma um poço magnético ,aprisionando o grafite de lapiseira. Ressalta-se que este experimento é baseado na referencia [6].

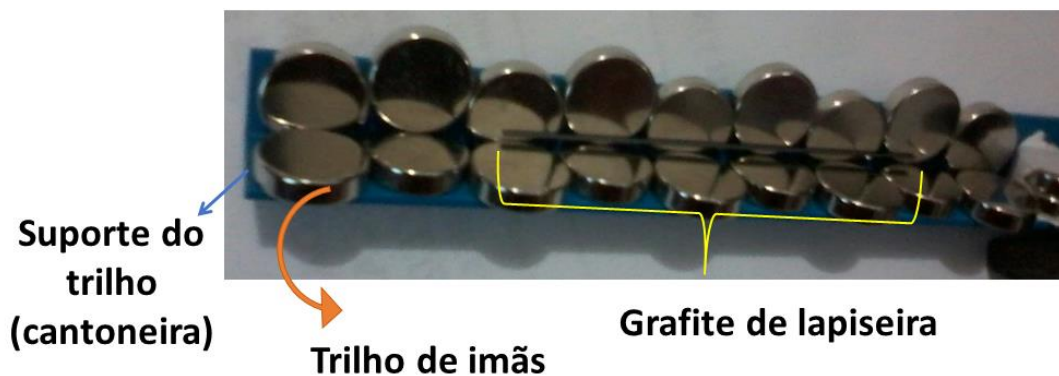


Figura 2. Fotografia da levitação do grafite de lapiseira sobre o trilho de ímãs.

Na Figura 2 observa-se um grafite de lapiseira com 0,5 mm de diâmetro, 60 mm de comprimento, graduação B e da fabricante Faber-Castell, levitando sobre um trilho de ímãs de NdFe_xB_y . Foram utilizados 20 ímãs cilíndricos, com diâmetro de 12 mm e espessura de 3 mm., dispostos de forma alternada sobre uma canaleta em “L”. Destaca-se, que 18 ímãs foram usados para construir o trilho sobre o qual o grafite desliza e dois, com a finalidade limitar o movimento do grafite, foram sobrepostos em uma das extremidades do trilho.

Foram testados grafites de diferentes diâmetro: 0,5 mm, 0,7mm e 0,9mm, todos da mesma marca (Faber-Castell). Somente o diâmetro de 0,5 mm levitou. Supõem-se necessário ímãs com campo magnéticos mais intensos para levitar diâmetros maiores que 0,5 mm, sugere-se, para tanto, ímãs com espessuras superiores a 3 mm. Além disso, segundo Vera Koudelkova, algumas marcas de grafite não levitam, pois apresentam Fe em sua composição química [6].

4.2 Levitação do ímã entre as placas de grafite

Outra geometria para levitar objetos é apresentada nesta seção. Na Figura 3, apresenta-se a levitação do ímã entre placas de grafite. Ressalta-se que este experimento é baseado na referencia [7].

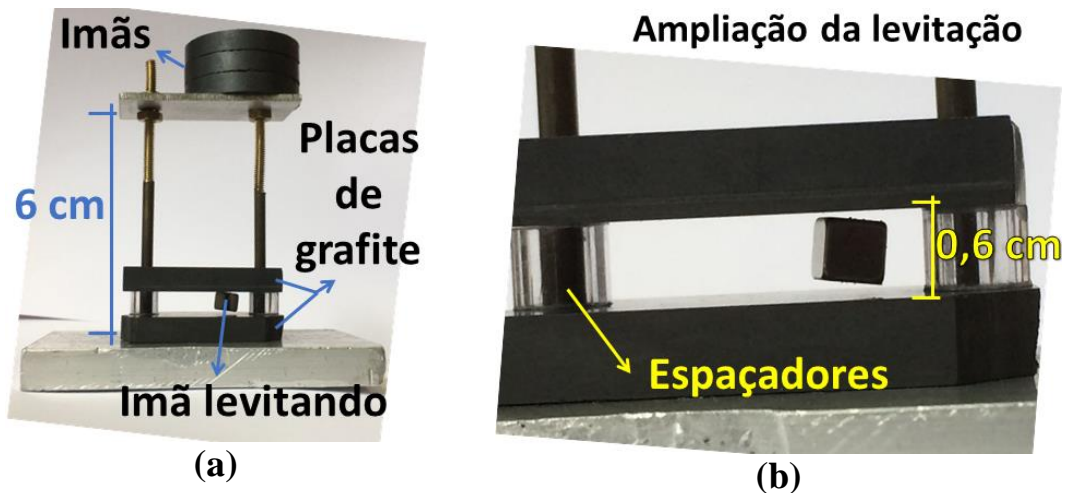


Figura 3. Fotografias dos experimentos utilizados na aula de magnetismo. (a) levitação de um grafite de lapiseira sobre um trilho de imãs[6] e (b) levitação de um imã entre placas de grafite[7].

O artefato da Figura 3 (a) apresenta um imã cúbico de NdFe_xB_y , com arestas de 5 mm, levitando entre placas de grafite (25 x 40 x 5 mm), com o auxílio de três imãs em forma de anel (com diâmetros 30 mm externo, 20 mm interno e espessura de 5 mm) dispostos a uma distância de ~6 cm da base de apoio. Na Figura 3 (b) destaca-se a levitação do cubo e a espessura do vão entre as placas de grafite, dada por espaçadores de 0,6 cm de comprimento.

5 Descrição matemática da levitação do grafite de lapiseira

O fenômeno da levitação pode ser modelado matematicamente. Para tanto, considera-se que a levitação, por ser estática e estável, apresenta o equilíbrio entre forças. Desta forma, utiliza-se como exemplo para essa descrição matemática, o experimento da levitação do grafite de lapiseira sobre o trilho de imãs (seção 4.1), Figura 4.

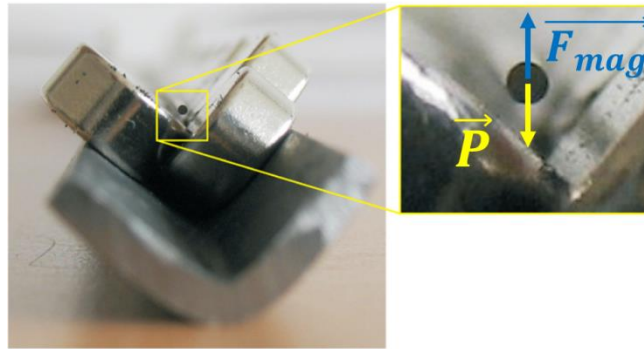


Figura 4. Diagrama de corpo livre do grafite de lapiseira levitando sobre o trilho de imãs. Sendo \vec{P} a força peso do grafite (em amarelo) e \vec{F}_{mag} a força magnética atuando sobre o grafite (em azul). Adaptado da referência [6].

Na Figura 4 estão representadas as forças (\vec{P} e \vec{F}_{mag}) atuando sobre o grafite de lapiseira, durante a sua levitação no trilho de imãs (seção 4.1). Sendo $\vec{P} = \rho V \vec{g}$ a força peso do grafite de lapiseira, ρ a densidade do grafite, V seu volume e \vec{g} a aceleração da gravidade. Para o caso da força magnética atuando no grafite, $\vec{F}_{mag} = \frac{\chi V}{2\mu_0} \vec{\nabla} B^2$, χ é a susceptibilidade magnética do grafite, V o volume do grafite, μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo e B é o campo magnético.

Logo, igualando as forças, $\vec{P} = \vec{F}_{mag}$, tem-se:

$$|\vec{\nabla} B^2| = 2\mu_0 g \frac{\rho}{\chi} \quad 1$$

Assim, pela equação 1, obtém-se a característica do corpo de prova, neste caso o grafite de lapiseira, para que ocorra a levitação, i.e. a razão $\frac{\chi}{\rho}$. O grafite é o material diamagnético com o maior valor para essa razão, $\frac{\chi}{\rho} \approx 8 \cdot 10^{-5} \frac{cm^3}{g}$ [2].

Para mais experimentos envolvendo materiais diamagnéticos, recomenda-se as referências [8,9].

6 Aplicação dos experimentos em aula

A atividade envolvendo a aplicação dos experimentos de levitação, consiste na experimentação e produção de um relatório por parte dos alunos. Utilizou-se 90 min para a realização da atividade, sendo uma aula para a realização do experimento (~45

min) e uma aula para a produção do relatório por parte dos alunos (~45 min). As atividades foram realizadas com duas turmas do 3º ano do ensino médio na Escola Estadual Barão Geraldo de Rezende. As salas foram divididas em grupos de 4 ou 5 pessoas e de forma dinâmica, através de um rodízio, os grupos se alteram entre as estações com os experimentos. No Apêndice encontra-se o roteiro entregue aos alunos para a confecção do relatório.

Os artefatos tem a peculiaridade de poderem ser manuseado. Desta maneira, podem-se modificar algumas características dos artefatos e avaliar o seu resultado nas levitações. Esse aspecto de maleabilidade é importante, pois em uma escola, a proximidade destes experimentos com os estudantes possibilita o despertar de sua curiosidade, como se observou nas atividades realizadas. Outro ponto importante, é que as levitações apresentadas (Figura 2 e Figura 3) se diferenciam entre si, em um caso é um grafite que levita e no outro um ímã. Isso demonstra a necessidade de tratar com atenção o fenômeno da levitação magnética, do ponto de vista físico.

Um ponto interessante da atividade foi que todos os estudantes participaram da experimentação e entregaram o relatório. Apesar dos grupos produzirem somente um relatório e uns membros trabalharem mais do que outros, de maneira geral, a receptividade e participação dos estudantes foi unânime. Esse fato reforça o argumento de que a física é uma ciência experimental e para melhor compreensão de seu conteúdo, deve-se aprender experimentando-a.

7 Conclusão

Os experimentos produzidos neste trabalho são simples de serem construídos e impactantes, como observou-se na aplicação destes experimentos em sala de aula. Logo, os experimentos envolvendo levitação magnética demonstram serem ferramentas motivadoras para o ensino de física. Isso porque, o acesso ao conhecimento físico requer algumas habilidades, dentre elas, a observação de um determinado fenômeno e a sua posterior descrição. Afinal de contas, física é uma ciência empírica.

8 Comentário do orientador

“O presente relatório apresenta os resultados esperados do projeto do ponto de vista experimental relacionado a demonstração da levitação, assim como a discussão do fenômeno físico envolvido nos experimentos. Além disso, o relato da aplicação destes experimentos em sala de aula, demonstram a potencialidade que a levitação magnética tem no despertar da curiosidade dos alunos. Por estas razões, considero o relatório satisfatório.”



Prof. F. Alvarez

9 Referências

- [1] M.D. Simon, A.K. Geim, Diamagnetic levitation: Flying frogs and floating magnets (invited), *J. Appl. Phys.* 87 (2000) 6200–6204. doi:10.1063/1.372654.
- [2] A. Geim, Everyone’s Magnetism, *Physics Today*. 51 (1998) 36–39.
- [3] A.R.A. Cavenaghi, J.A. Bzuneck, A MOTIVAÇÃO DE ALUNOS ADOLESCENTES ENQUANTO DESAFIO NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR, in: IX Congr. Nac. Educ. II Encontro Sul Bras. Psicopedag., 2009: p. 12.
- [4] S. Earnshaw, On the Nature of the Molecular Forces which Regulate the Constitution of the Luminiferous Ether, *Trans. Camb. Phil. Soc.* 7 (1842) 97–114.
- [5] A.K. Geim, M.D. Simon, M.I. Boamfa, L.O. Heflinger, Magnet levitation at your fingertips, *Nature*. 400 (1999) 2.
- [6] V. Koudelkova, How to simply demonstrate diamagnetic levitation with pencil lead, *Phys. Educ.* 51 (2016) 3.
- [7] C.S. Sawicki, Small inexpensive diamagnetic levitation apparatus, *Phys. Teach.* 39 (2001) 3. doi:10.1119/1.1482567.
- [8] R. Edge, A Simple Diamagnetic Levitation Experiment, *Phys. Teach.* 41 (2003) 1. doi:10.1119/1.1542053.
- [9] C. Conery, L.F. Goodrich, T.C. Stauffer, More Diamagnetism Demonstrations, *Phys. Teach.* 41 (2003) 74–75. doi:10.1119/1.1542039.

10 Apêndice

Roteiro para produção do relatório

Este roteiro tem o objetivo de trazer as informações necessárias para a produção do relatório. O tema do relatório é magnetismo. Atenção, tema não é título.

Quatro experimentos foram realizados: atração e repulsão entre polos, linhas de campo magnético, levitação do grafite de lapiseira sobre um trilho de imãs e levitação do imã. Pelo menos um experimento deve ser escolhido para ser relatado. A organização das ideias que deverão estar no relatório e as instruções para sua formatação estão descritas abaixo.

Conteúdo do relatório.

- **Introdução** – Nesta seção descrevem-se: os pré-requisitos para realização do experimento e os conteúdos necessários para compreender o relatório. Explicar o motivo de se realizar o experimento.
- **Objetivo** – Qual é o objetivo dos experimentos? Seja claro e objetivo.
- **Metodologia** – Descrevem-se os materiais utilizados e as etapas da experimentação, do preparo a execução do experimento. Faça uso de desenhos ou figuras se necessário.
- **Resultados** – Apresentam-se os resultados obtidos no experimento e sua discussão. A discussão pode ser feita relacionando os resultados com possíveis aplicações em produtos ou serviços. Sejam aplicações em uso atual ou que poderão vir a ser.
- **Conclusão** – O que se pode concluir com este trabalho? A conclusão baseia-se nos resultados e nas discussões, é uma síntese final.
- **Referências** – Quais foram às referências utilizadas? Atenção, ao usar conteúdo de livros, textos da internet, imagens, entre outros, sempre se deve referenciar o trabalho. Plágio é crime¹.

Formatação do texto se digitado.

- Fonte *Times New Roman* ou *Arial*, tamanho 12;
- Espaçamento entre linhas simples ou 1,5

Coloque um título no trabalho e não esqueça de colocar o nome.

¹ Brasil. Lei 9.610, 19 de fevereiro de 1998. Publicada no diário da união em 19 de fevereiro de 1998.

11 Anexo

Lista de ímãs de NdFe_xB_y disponíveis na A Casa do Ímã



- ÍMAS
- ELETROÍMÃS
- DISPOSITIVOS MAGNÉTICOS
- EQUIPAMENTOS MAGNÉTICOS
- MANTAS E PERFIS MAGNÉTICOS



RETANGULARES

Comprimento x largura x espessura (Dimensões em mm.) – Tolerância +/- 0,1 mm.

5 x 5 x 5	16 x 10 x 2	25 x 15 x 5	40 x 40 x 10
6 x 2 x 2	16 x 10 x 3	25 x 20 x 10	50 x 15 x 5
6 x 6 x 2	16 x 10 x 4	25,4 x 25,4 x 6,35	50 x 20 x 10
10 x 5 x 1	18 x 6 x 3	25,4 x 25,4 x 8	50 x 20 x 20
10 x 10 x 3	20 x 4 x 2	25,4 x 25,4 x 10	50 x 25 x 12,7
10 x 10 x 10	20 x 6 x 3	25,4 x 25,4 x 12,7	50 x 50 x 12,7
12 x 4 x 2	20 x 10 x 2	30 x 15 x 6	50 x 50 x 6,35
12 x 6 x 3	20 x 10 x 5	30 x 20 x 10	50 x 50 x 25,4
15 x 4 x 2	20 x 20 x 5	40 x 20 x 5	50,8 x 50,8 x 50,8
15 x 7 x 5	20 x 20 x 20	40 x 20 x 10	70 x 20 x 10
15 x 10 x 5	25 x 6 x 3	40 x 25 x 5	150 x 50 x 50

Anéis

Ø externo x espessura x Ø interno (furo) - (Dimensões em mm.) – Tolerância +/- 0,1 mm.

7 x 1,5 x furo 3,5	15 x 3 x furo 11	20 x 5 x furo 10	50 x 6 x furo 10
9,5 x 1,5 x furo 3,5	15 x 5 x furo 7	22 x 10 x furo 6,35	110 x 6 x furo 80
11 x 5 x furo 3,5	19 x 5 x furo 10	28 x 4 x furo 8	
12 x 2 x furo 5	19 x 5 x furo 14	30 x 10 x furo 20	

** Outras dimensões sob consulta.

J. ZULIAN COMÉRCIO LTDA. EPP - CNPJ: 03.085.938/0001-40

Rua Itapetininga, 211 – Cidade Jardim – Campinas – SP – CEP 13050-432

Fone: 19-3228.2667 / Cel. 19-9921.1755

E-mail: murilozulian@terra.com.br - jzulian@terra.com.br

www.acasadoima.com.br