



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



Material Instrucional para o Professor

Redescobrimo a lei empírica de Hubble em sala de aula

Vinicius Rafael Peçanha da Rocha

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Alexandre C. Tort

Rio de Janeiro
Novembro de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

R529a Peçanha da Rocha, Vinicius Rafael
Material Instrucional para o Professor
Redescobrimo a lei empírica de Hubble em sala de aula / Vinicius Rafael Peçanha da Rocha. – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2018.
3, 30 f. : il. ; 30 cm.
Orientador: Alexandre C. Tort.
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.
Referências Bibliográficas: f. ***-***.
1. Ensino de Física. 2. Lei de Hubble. 3. Efeito Doppler.
I. Tort, Alexandre C.. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Material Instrucional para o Professor Redescobrimo a lei empírica de Hubble em sala de aula.

Sumário

A lei de Hubble em sala de aula	1
Introdução: seis propostas de atividade em sala de aula	1
Proposta de atividade prática # 1: regressão linear	1
Proposta de atividade prática # 2	4
Proposta de atividade prática # 3	11
Proposta de atividade prática # 4	11
Proposta de atividade prática # 5	17
Proposta de atividade prática # 6	19
Aplicação em sala de aula	25

A lei de Hubble em sala de aula

Introdução: seis propostas de atividade em sala de aula

Neste capítulo discutiremos seis propostas pedagógicas para a introdução da lei de Hubble em sala de aula. As propostas pedagógicas dependem da utilização efetiva de recursos gratuitos disponíveis na Internet, elas fazem uso dos dados disponibilizados pela base de dados extra galácticos: NED/NASA¹ conjuntamente com o uso do *software* gratuito *Vernier Graphical Analysis*² ou *Qtiplot*³. Estes *softwares* permitem o cálculo do ajuste linear dos dados. Para melhor entendimento sobre ajuste linear realize a atividade abaixo Regressão Linear, pois as atividades seguintes dependem da utilização de uma ferramenta matemática utilizada no tratamento de dados experimentais que consiste em determinar uma reta que melhor descreva o conjunto dos pontos experimentais dispostos em plano cartesiano.

Proposta de atividade prática # 1: regressão linear

Regressão linear ou ajuste linear é, em estatística, um procedimento que determina uma reta que mais se aproxima de todos os pontos dispostos em um plano cartesiano.

¹<https://ned.ipac.caltech.edu>

²<https://www.vernier.com/products/software/ga/>

³<https://www.qtiplot.com/download.html>

O ajuste linear é assim chamado por simular uma reta ideal na qual estariam todos os pontos; ou seja, se houvesse uma idealização nos dados eles estariam sobre esta reta. Há também em estatística o caso no qual os pontos se distribuem de forma não linear e a esse denomina-se um ajuste não-linear que simula a distribuição dos pontos idealmente. Abaixo iremos demonstrar através de uma simulação como podemos utilizar um programa que faça um ajuste linear para dados distribuídos.

- (a) Acesse o site de simulações educacionais gratuitas *PhET*⁴. Neste site acesse a caixa *Entre aqui e simule*.



Figura 1: Homepage da PhET.

- (b) Abrirá uma nova página na qual terá o acesso a diversas simulações por disciplinas. Acesse em *Matemática*.
- (c) Em *Matemática*, busque pela simulação *Regressão Linear*.
- (d) Ao clicar nessa simulação, você será direcionado a uma página que descreve a simulação e disponibiliza o armazenamento. Clique na caixa *Copiar*.

⁴<https://phet.colorado.edu/ptBR/>

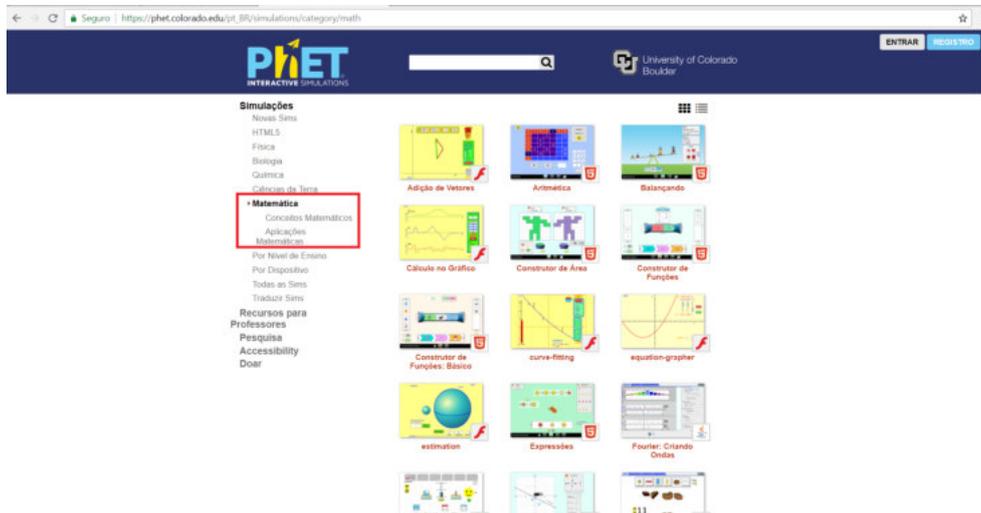


Figura 2: Homepage da PhET.

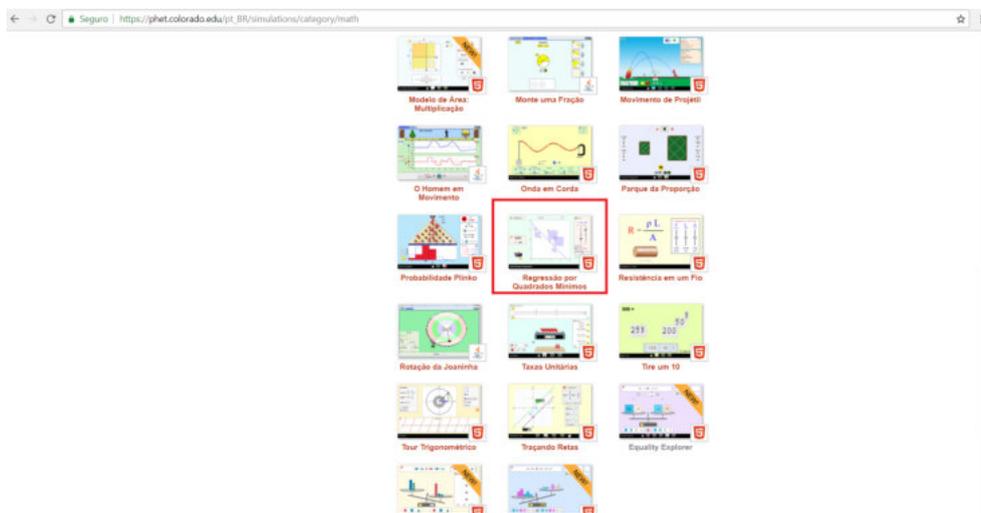


Figura 3: Homepage da PhET.

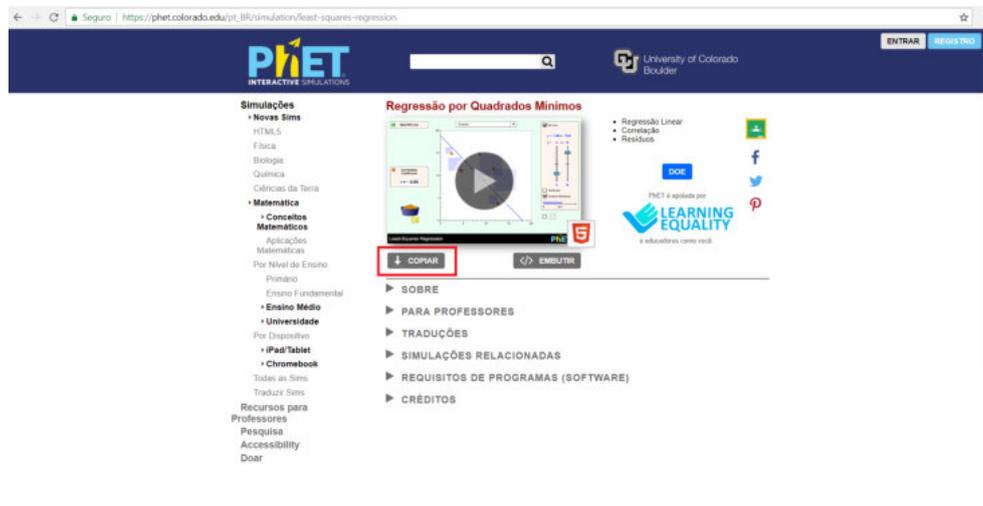


Figura 4: Homepage da PhET.

- (e) Ao baixar a simulação certifique-se que seu computador possua *Java*⁵, caso contrário instale-o através do link abaixo.
- (f) Ao abrir a simulação, você verá um plano cartesiano e uma cesta com diversas bolinhas representando dados.
- (g) Distribua as bolinhas em forma linear sobre o plano cartesiano e acesse o menu *Linha melhor ajustada*.
- (h) A simulação fará um ajuste linear sobre os pontos, ou seja, produzirá uma reta que melhor se aproxima de todos os pontos.
- (i) Note que no menu *Linha melhor ajustada* aparecerá uma equação linear, esta equação representa o ajuste feito entre os pontos. No nosso exemplo o coeficiente angular (o que representa o ângulo de inclinação da reta) possui um valor de 0,57, já o coeficiente linear (o que representa em que ponto a reta intercepta o eixo vertical) possui o valor de 0,95.

Em nossas atividades será necessário a utilização desse método através dos programas gratuitos *Vernier* ou *Qtiplot*.

⁵<https://www.java.com/ptBR/>

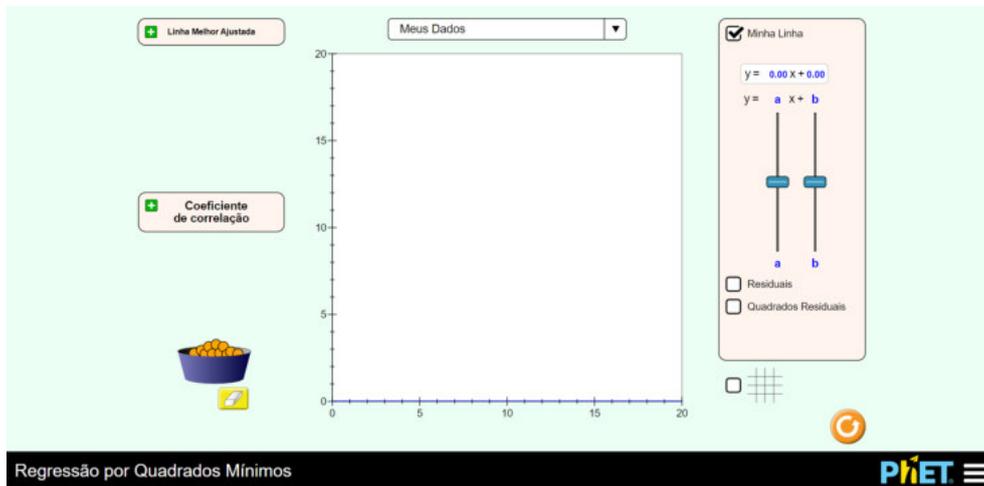


Figura 5: Simulação de regressão linear.

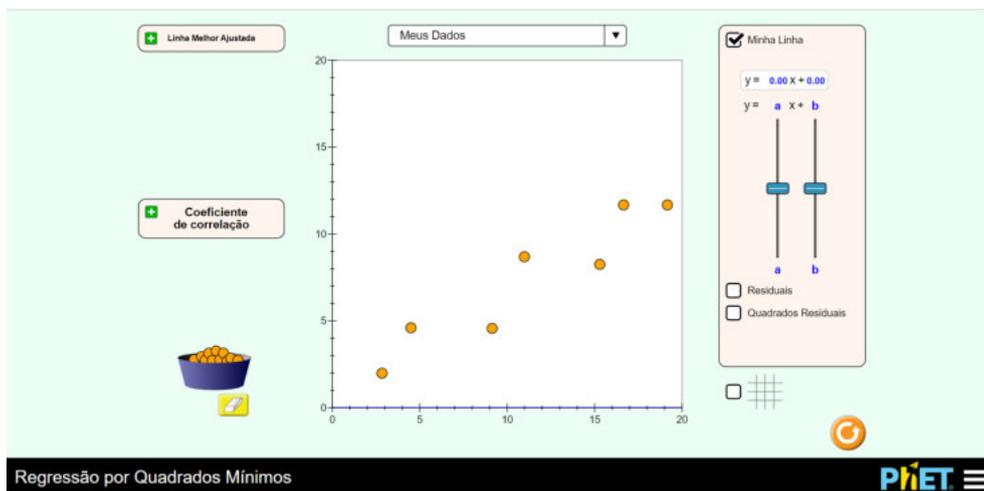


Figura 6: Simulação de regressão linear.

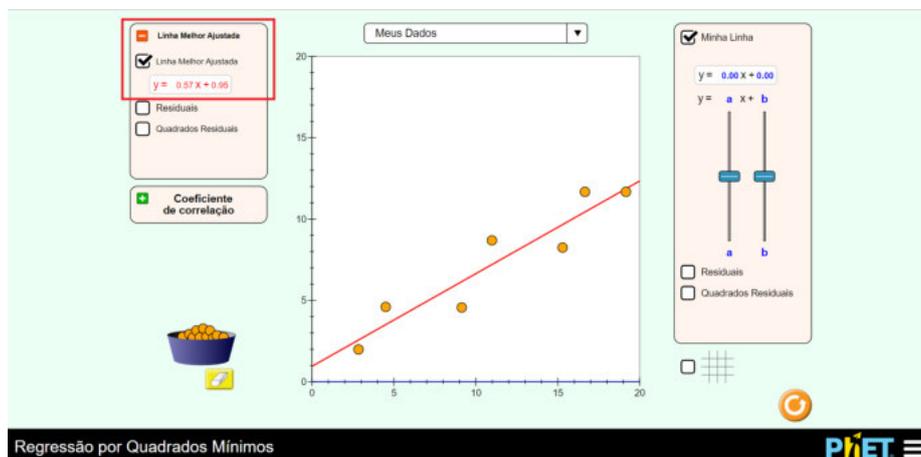


Figura 7: Simulação de regressão linear.

Proposta de atividade prática # 2

A primeira proposta tem como objetivos a familiarização do banco de dados NED/NASA, e através dele a cálculo da velocidade radial de cada galáxia a partir do parâmetro z . Sugerimos a Tabela 1 com as galáxias do superaglomerado de Virgem para serem preenchidos com valores do parâmetro z através dos dados disponibilizados pela base de dados extra galácticos; e disponibilizamos uma Tabela alternativa 3 com os valores do parâmetro z deste mesmo aglomerado caso haja necessidade.

O superaglomerado de Virgem é um superaglomerado de galáxias que contém o Grupo Local de Galáxias, que inclui nossa galáxia, a Via Láctea.

- (a) O primeiro passo é acessar a *homepage* da NED que pode ser feito acessando o *link* <https://ned.ipac.caltech.edu>
- (b) O segundo passo é clicar no menu *original panel menu*, que lhe encaminhará para o portal clássico de busca.
- (c) Nesta página você poderá encontrar diversas maneiras de buscas e ferramentas astronômicas, clique no menu *By Name*.
- (d) Agora digite o nome da galáxia desejada que esteja em uma das tabelas

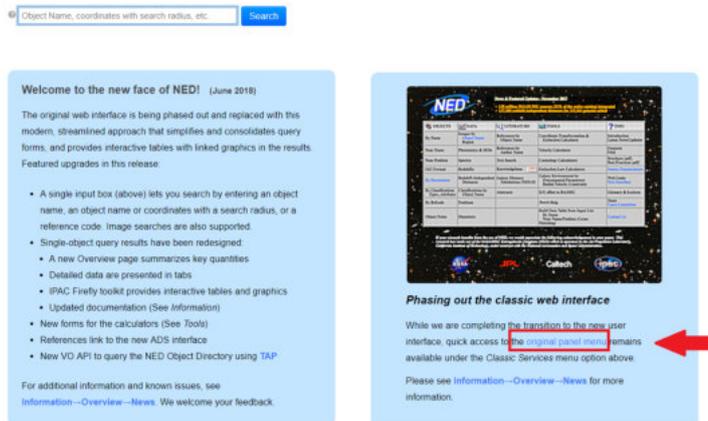


Figura 8: Homepage da NED.

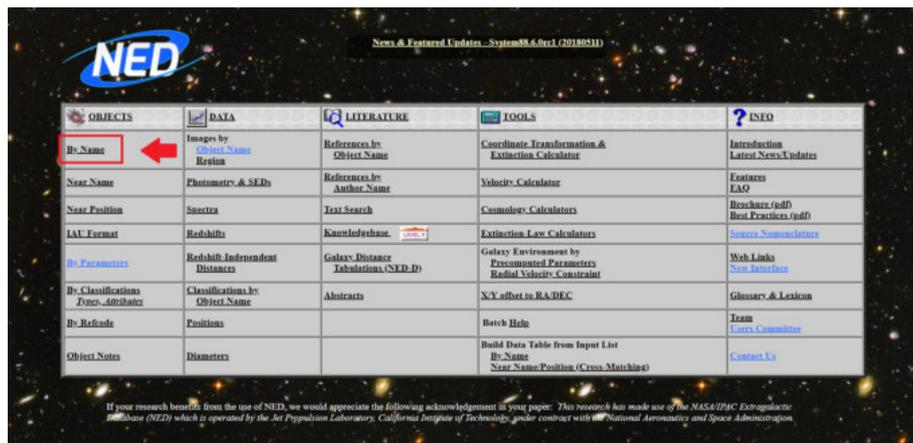


Figura 9: Homepage da NED.

abaixo. No exemplo digitamos a NGC 7582, e clicamos no botão *Enter*. Veja a Figura d.

- (e) Aparecerá numa nova página alguns dados concernentes à galáxia escolhida. Essas informações são de grande importância para astrônomos profissionais e amadores, mas para a nossa atividade os importantes são as informações sobre o desvio para o vermelho *Redshift* z , a velocidade

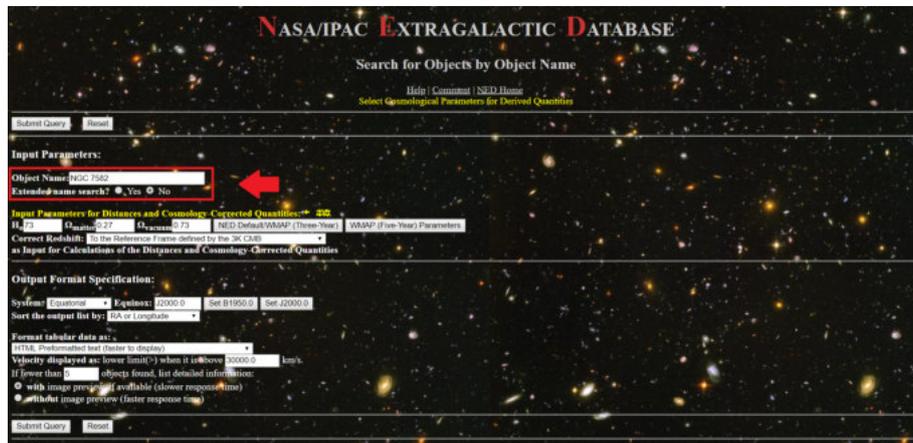


Figura 10: Homepage da NED.

da galáxia *Velocity* (km/s) e descendo a página você poderá encontrar a distância *Metric Distance* (Mpc).

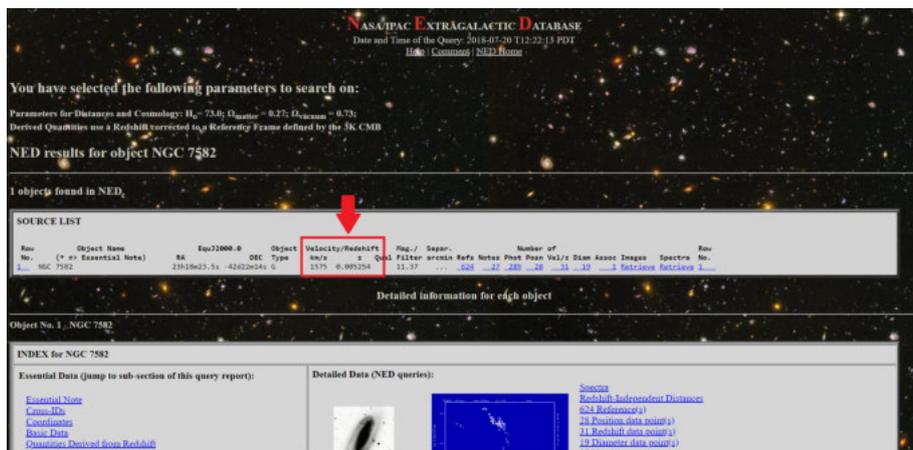


Figura 11: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (Velocidade e desvio).

(f) Com o valor do parâmetro z você poderá calcular a velocidade da galáxia por meio da equação abaixo e completar a tabela escolhida abaixo.

$$v \approx c \cdot z \quad (1)$$



Figura 12: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (distância).

Tabela 1: Tempos

Galáxia	Redshift z	Vel. (km/s)
NGC 7582		
NGC 6744		
NGC 5128		
M101		
M081		
NGC 1023		
NGC 2997		
NGC 5033		
NGC 4697		

Tabela 2: Algumas galáxias do aglomerado de Virgem para a atividade a ser planejada.

Tabela 3: Tempos

Galáxia	Redshift z	Vel. (km/s)
NGC 7582	0.005 254	
NGC 6744	0.002 805	
NGC 5128	0.001 825	
M101	0.000 113	
M081	0.000 804	
NGC 1023	0.002 125	
NGC 2997	0.003 633	
NGC 5033	0.002 919	
NGC 4697	0.004 140	

Tabela 4: Dados do desvio z de algumas galáxias do aglomerado de Virgem.

Proposta de atividade prática # 3

Propomos nessa atividade a obtenção do valor do parâmetro de Hubble usando os dados utilizados por Hubble no trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*. Fornecemos na Tabela 5 os dados obtidos das distâncias e das velocidades das galáxias estudadas por Hubble em seu trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*.

- (a) Faça um gráfico através de um aplicativo de gráficos que possa plotar valores e tenha a ferramenta de ajuste linear, sugerimos o uso do aplicativo *software* gratuito *Vernier Graphical Analysis*⁶, para fazer um gráfico velocidade por distância ($V \times D$);
- (b) Tendo plotado os dados faça o ajuste linear e obtenha o valor do coeficiente angular. Este coeficiente angular é o parâmetro de Hubble obtido pelo próprio Edwin Hubble em seu artigo.

⁶<https://www.vernier.com/products/software/ga/>

Tabela 5: Tempos

Galáxia (NGC)	Distância (Mpc)	Vel. (km/s)
6822	0,214	-130
598	0,263	-70
221	0,275	-185
224	0,275	-220
5457	0,45	200
4736	0,5	290
5194	0,5	270
4449	0,63	200
4214	0,8	300
3031	0,9	-30
3627	0,9	650
4826	0,9	150
5236	0,9	500
1068	1,0	920
5055	1,1	450
7331	1,1	500
4258	1,4	500
4251	1,7	960
4382	2,0	500
4472	2,0	850
4486	2,0	800
4649	2,0	1090

Tabela 6: Dados obtidos por Edwin Hubble em seu trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*.

Proposta de atividade prática # 4

Nessa atividade propomos a obtenção do valor do parâmetro de Hubble usando os dados disponibilizados pelo site NED para as galáxias estudadas por Hubble no trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*.

Ao fim disponibilizamos duas tabelas, para livre escolha de atividade, uma sem os dados do NED e assim como atividade será necessário o acesso a internet e outra preenchida com esses valores sem necessidade de acesso ao banco de dados.

- O primeiro passo é acessar a *homepage* da NED que pode ser feito acessando o *link* <https://ned.ipac.caltech.edu>
- O segundo passo é clicar no menu *original panel menu*, que lhe encaminhará para o portal clássico de busca.

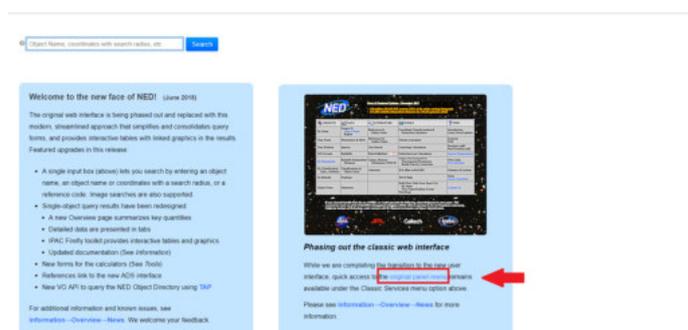


Figura 13: Homepage da NED.

- Nesta página você poderá encontrar diversas maneiras de buscas e ferramentas astronômicas. Clique no menu *By Name*.
- Agora digite o nome da galáxia desejada que esteja em uma das tabelas abaixo. No exemplo digitamos a NGC 7582, e clicamos no botão *Enter*. Veja a Figura d.

(e) Aparecerá numa nova página alguns dados concernentes à galáxia escolhida. Essas informações são de grande importância para astrônomos profissionais e amadores, mas para a nossa atividade os importantes são as informações sobre o desvio para o vermelho *Redshift* z , a velocidade da galáxia *Velocity* (km/s) e descendo a página você poderá encontrar a distância *Metric Distance* (Mpc).

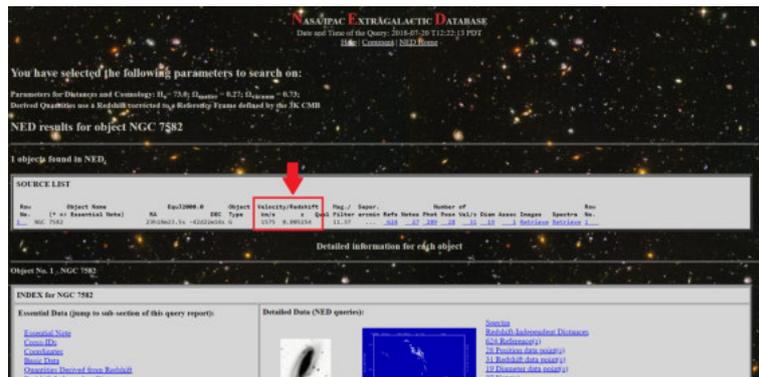


Figura 16: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (Velocidade e desvio).



Figura 17: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (Distância).

(f) Agora complete a Tabela 7 com os dados obtidos da distância e da velocidade no site NED para as galáxias estudadas por Hubble.

-
- (g) Faça um gráfico através de um aplicativo de gráficos que possa plotar valores e tenha a ferramenta de ajuste linear, sugerimos o uso do aplicativo *software* gratuito *Qtiplot*⁷ para computador ou *Vernier Graphical Analysis*⁸ para computador e *smartphone*, para fazer um gráfico velocidade por distância ($V \times D$);
- (h) Tendo plotado os dados faça o ajuste linear e obtenha o valor do coeficiente angular. Este coeficiente angular é o valor obtido para o parâmetro

⁷<https://www.qtiplot.com/download.html>

⁸<https://www.vernier.com/products/software/ga/>

Tabela 7: Tempos

Galáxia (NGC)	Distância (Mpc)	Vel. (km/s)
6822		
598		
221		
224		
5457		
4736		
5194		
4449		
4214		
3031		
3627		
4826		
5236		
1068		
5055		
7331		
4258		
4251		
4382		
4472		
4486		
4649		

Tabela 8: Galáxias estudadas por Edwin Hubble em seu trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*.

de Hubble.

- (i) Note que os valores do parâmetro de Hubble foram diferentes no próprio artigo de Hubble de 1939 (atividade #3) e o valor do parâmetro de Hubble através dos dados aceitos atualmente (Atividade #4), isso se deu por um erro de diferenciação da natureza das estrelas cefeidas na época da medição de Hubble, o qual não soube que haviam cefeidas do Tipo I e do Tipo II que variam de forma diferentes suas luminosidades ao longo do tempo. Por fim deixamos como discussão essa curiosidade para o caro leitor.

Tabela 9: Tempos

Galáxia (NGC)	Distância (Mpc)	Vel. (km/s)
6822	0,520	-57
598	0,869	-179
221	0,768	-200
224	0,784	-300
5457	6,872	241
4736	5,126	308
5194	7,196	463
4449	3,864	207
4214	2,968	291
3031	3,686	-34
3627	9,464	727
4826	5,367	408
5236	6,498	513
1068	10,853	1137
5055	7,762	484
7331	13,520	816
4258	7,300	448
4251	14,732	1066
4382	15,243	729
4472	15,816	981
4486	16,560	1284
4649	16,554	1110

Tabela 10: Dados atualmente aceitos para as galáxias estudadas por Edwin Hubble em seu trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*.

Proposta de atividade prática # 5

Nessa atividade propomos a obtenção do valor do parâmetro de Hubble usando os dados de Supernovas. Disponibilizamos duas tabelas para a escolha da atividade. A primeira mais enxuta contendo 25 dados de Supernovas e a última mais exhaustiva contendo 75 dados.

- (a) Fornecemos a Tabela a com os dados obtidos da distância e da velocidade de um conjunto de estrelas Supernovas.
- (b) Faça um gráfico através de um aplicativo de gráficos que possa plotar valores e tenha a ferramenta de ajuste linear, sugerimos o uso do aplicativo *software* gratuito *Qtiplot*⁹ para computador ou *Vernier Graphical Analysis*¹⁰ para computador e *smartphone*, para fazer um gráfico velocidade por distância ($V \times D$);
- (c) Tendo plotado os dados faça o ajuste linear e obtenha o valor do coeficiente angular. Este coeficiente angular é o valor obtido para o parâmetro de Hubble.

⁹<https://www.qtiplot.com/download.html>

¹⁰<https://www.vernier.com/products/software/ga/>

Supernova	Distância (Mpc)	Vel. (km/s)
1993ah	83,48	8550
1992bo	61,09	5160
1992bc	59,16	5880
1992ag	74,13	8190
1992p	89,13	7950
1990o	92,04	9180
2001cz	45,92	4890
2001ba	94,19	9150
2000ca	73,45	7350
2000bh	70,47	7200
1999gp	84,33	7800
1994em	74,82	7290
1995ak	66,68	6600
1996c	96,38	8250
1996bv	49,89	5010
1996bo	45,08	4890
2000fa	70,47	6540
2000dk	48,98	4920
2000cn	74,13	6960
1999gd	69,18	5790
1999ek	52,72	5280
1999cc	99,54	9450
1998eg	77,27	7050
1998ef	45,29	5010
1998co	53,70	5100
1998ab	74,13	8370
1998v	127,64	5160
1997dg	111,69	9000
1997y	52,72	4980
2001ay	109,14	9270
2001da	48,75	4800

Tabela 11: Dados de um conjunto de estrelas Supernovas obtidos do artigo *A simple determination of Hubble's constant* de Benedetto, A Feoli and S Principe.

Supernova	Distância (Mpc)	Vel. (km/s)	Supernova	Distância (Mpc)	Vel. (km/s)
1993ah	83,48	8550	2003u	84,33	7830
1992bo	61,09	5160	2003w	60,81	6330
1992bc	59,16	5880	2004as	107,65	9630
1992ag	74,13	8190	2004bg	68,87	6630
1992p	89,13	7950	2004ef	90,36	8940
1990o	92,04	9180	2005eq	92,90	8520
2001cz	45,92	4890	2005iq	112,72	9900
2001ba	94,19	9150	2005ki	62,81	6120
2000ca	73,45	7350	2005ls	59,43	6150
2000bh	70,47	7200	2005mc	84,39	7800
1999gp	84,33	7800	2s 5ms	86,30	7770
1994em	74,82	7290	2005na	82,41	8040
1995ak	66,68	6600	2006ac	72,44	7170
1996c	96,38	8250	2006ar	77,89	6870
1996bv	49,89	5010	2006ax	54,20	5400
1996bo	45,08	4890	2006az	96,38	9450
2000fa	70,47	6540	2006bq	68,87	6450
2000dk	48,98	4920	2006br	97,72	7650
2000cn	74,13	6960	2006bt	103,28	9750
1999gd	69,18	5790	2006bw	95,06	9240
1999ek	52,72	5280	2006cc	117,49	9810
1999cc	99,54	9450	2006ej	63,10	5760
1998eg	77,27	7050	2006en	102,33	9240
1998ef	45,29	5010	2006et	66,37	6360
1998co	53,70	5100	2006gj	98,17	8310
1998ab	74,13	8370	2006kf	65,16	6240
1998v	127,64	5160	2006le	50,12	5190
1997dg	111,69	9000	2006mp	77,98	6990
1997y	52,72	4980	2006os	95,50	9630
2001ay	109,14	9270	2006qo	93,33	9240
2001da	48,75	4800	2006Es	109,65	9870
2001g	50,58	5190	2006sr	73,90	6900
2001ie	95,06	9360	2006te	106,66	9630
2001n	67,92	6630	2007ai	104,23	9600
2001v	41,50	4800	2007au	61,94	6270
2002bf	64,86	7470	2007bc	66,37	6570
2002ck	95,50	9090	2007bd	93,33	9600
2002de	90,36	8490	2007ci	56,23	5760
2002he	80,54	7440	2007co	82,79	7980
2002hu	112,72	8760	2007cq	68,55	7410
2002hw	54,95	4800	2007f	78,34	7260
2002jy	72,78	5610	2007qe	75,86	6870
2002kf	63,97	5850	2007r	107,15	9360
2003ch	97,72	7680	2008bf	69,50	7530
2003it	77,27	7200	2008l	53,70	5670

Tabela 12: Dados de um conjunto de estrelas Supernovas obtidos do artigo

Proposta de atividade prática # 6

Nesta atividade você medirá a distância que as galáxias do Grupo do Escultor estão do Sol a partir do valor do parâmetro de Hubble obtido da atividade anterior. O Grupo do Escultor é um grupo de galáxias perto do pólo sul galáctico. O grupo é um dos mais próximos ao Grupo Local.

- O primeiro passo é acessar a *homepage* da NED que pode ser feito acessando o *link* <https://ned.ipac.caltech.edu>
- O segundo passo é clicar no menu *original panel menu*, que lhe encaminhará para o portal clássico de busca.

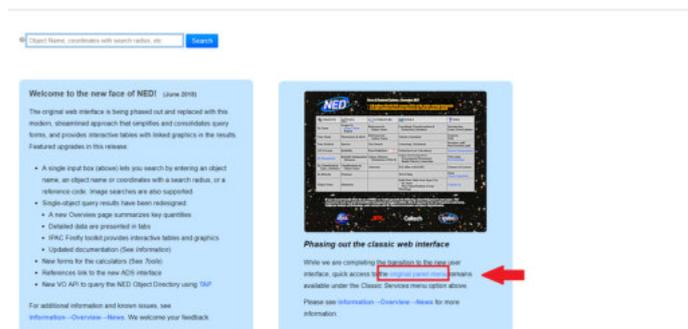


Figura 18: Homepage da NED.

- Nesta página você poderá encontrar diversas maneiras de buscas e ferramentas astronômicas, clique no menu *By Name*.
- Agora digite o nome da galáxia desejada que esteja em uma das tabelas abaixo. No exemplo digitamos a NGC 7582, e clicamos no botão *Enter*. Veja a Figura d.
- Aparecerá numa nova página alguns dados concernentes a galáxia escolhida. Essas informações são de grande importância para astrônomos profissionais e amadores, mas para a nossa atividade os importantes são as informações sobre o desvio para o vermelho *Redshift z*, a velocidade

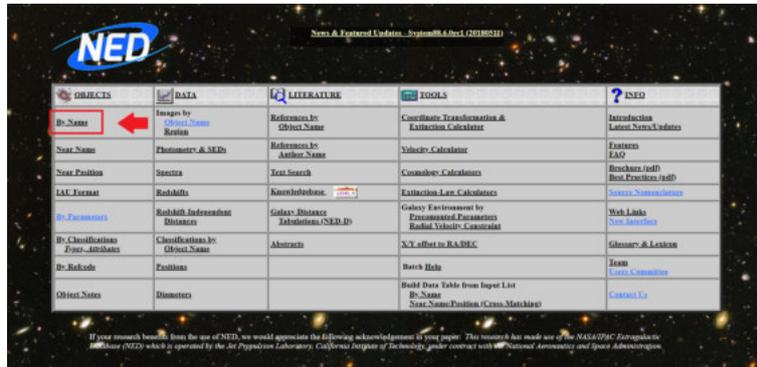


Figura 19: Homepage da NED.

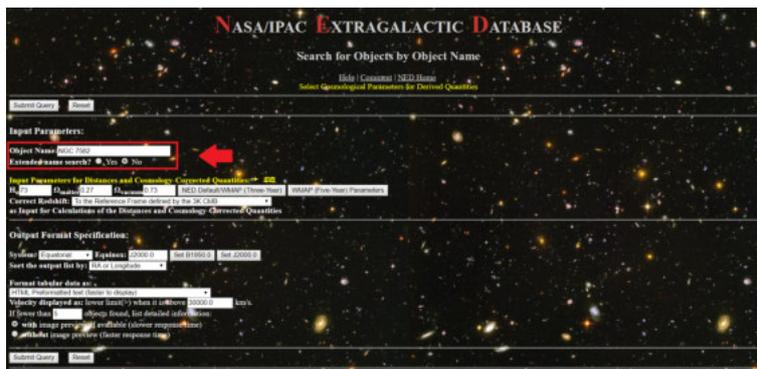


Figura 20: Homepage da NED.

da galáxia *Velocity* (km/s) e descendo a página você poderá encontrar a distância *Metric Distance* (Mpc).

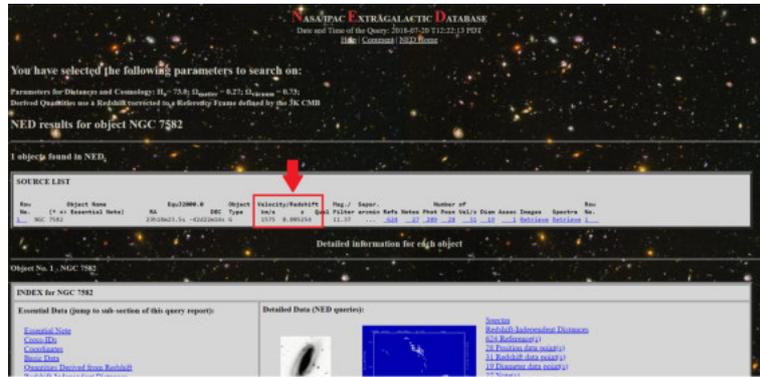


Figura 21: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (Velocidade e desvio).



Figura 22: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (distância).

(f) Complete a Tabela h com os valores da velocidade de cada galáxia e calcule as suas respectivas distância através da equação abaixo

$$v = H_0 \cdot d \quad (2)$$

(g) Após o preenchimento da tabela volte para o site do NED e obtenha o valor atual da distância em Mpc das respectivas galáxias.

-
- (h) Após ter completado a Tabela h com os valores da distância calculados e os atualmente aceitos de cada galáxia, calcule o desvio percentual através da equação abaixo. O desvio percentual obtem o quanto o seu resultado se diferenciou do valor atual da distância.

$$desvio = \frac{d - d_{NED}}{d_{NED}} 100, \quad (3)$$

Galáxia	v (km/s)	d (Mpc)	d(Mpc)(NED)	desvio
IC 1574				
NGC 59				
NGC 247				
NGC 625				
NGC 7793				
PGC 2881				
PGC 2933				
PGC 6430				
PGC 621				
NGC 253				
UGCA 15				
UGCA 442				

Tabela 13: Grupo de galáxias que pertencem ao superaglomerado de Virgem.

- (i) Os valores da distância aceitos atualmente podem diferenciar dos valores obtidos através da Lei de Hubble, pois a distância é obtida através de diversos métodos e dependendo da distância da galáxia a velocidade própria terá valor considerável.

Aplicação em sala de aula

As propostas de atividades pedagógicas foram aplicadas no dia 26 de Junho de 2018 em uma Turma de 9º ano do Ensino Fundamental no Colégio Tauá (Ilha do Governador/RJ) durante dois tempos de aula com 50 minutos cada. A abordagem em sala começou com um resumo das principais características

conceituais de uma onda, suas propriedades, efeito Doppler sonoro, espectro de luz, efeito Doppler relativístico, estrelas Cefeidas e Supernovas, e por fim a Lei de Hubble. Em seguida, para a familiarização dos alunos com a plataforma NASA/NED, eles realizaram a atividade 2, na qual utilizaram os dados cedidos pelo NASA/NED e calcularam a velocidade radial de cada galáxia utilizando do valor do parâmetro z e o efeito Doppler relativístico na aproximação $z \ll 1$.

Após a familiarização com a plataforma NASA/NED, foi apresentado aos alunos o aplicativo *Vernier* para *smartphone*, com o qual eles poderiam fazer um tratamento de dados e obter o ajuste linear. Após isso, os alunos utilizaram a tabela de dados de estrelas supernovas e realizaram a atividade 5, utilizando os dados de suas distâncias e velocidades. Os alunos obtiveram o parâmetro de Hubble concluindo que a velocidade de uma estrela ou galáxia está relacionada linearmente com a sua distância em relação ao Sol.

Uma discussão pós aula mostrou que os alunos foram capazes de entender os seguintes conceitos:

1. gráficos, leitura e aplicação de dados experimentais,
2. ajuste linear, obtendo a melhor reta entre os dados,
3. nosso universo é maior que a Via Lactea, e existem diversas galáxias,
4. o efeito Doppler sonoro e luminoso,
5. A idéia que as galáxias estão estatisticamente afastando-se do observador.

Os alunos apresentaram um grande interesse pelo conteúdo do trabalho, despertando grandes curiosidades sobre a formação do universo, galáxias e estrelas; com isso tivemos um desafio de não desvirtuar das atividades propostas e dos conteúdos abordados, porém sem coibir as curiosidades; além disso tivemos alguns desafios com o download durante a aula, pois apesar de possuírem *smartphones* alguns alunos não possuíam pacotes de internet e o sinal de rede de algumas operadoras de telefonia era fraco na sala de aula, limitando assim alguns alunos de fazerem as atividades em sua plenitude.

Após as atividades os alunos tiveram a assimilação de que o sistema solar não é todo o universo, que existem diversas estrelas em nossa Via Láctea, a Via Láctea não é a única galáxia do universo, que existem bilhões de galáxias com bilhões de estrelas, e essas galáxias se afastam uma das outras de acordo com a expansão do universo.

Para concluir chamamos a atenção que há espaço para o aperfeiçoamento destas atividades, pois na nossa avaliação as duas aulas de 50 minutos fornecem tempo suficiente para uma turma de 3º ano do Ensino Médio, pois certos conceitos e tópicos já seriam trabalhados em momentos anteriores ao longo do ano letivo, sobrando, assim, mais tempo para o aproveitamento de maior quantidade de dados para a obtenção do parâmetro de Hubble.



Figura 23: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 24: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 25: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 26: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.

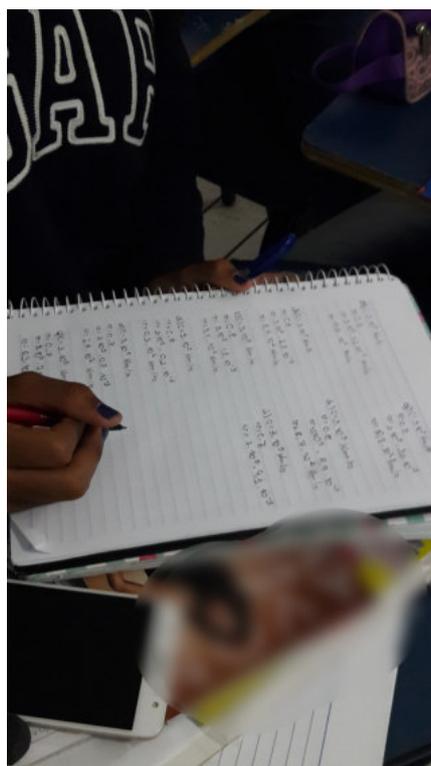


Figura 27: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.

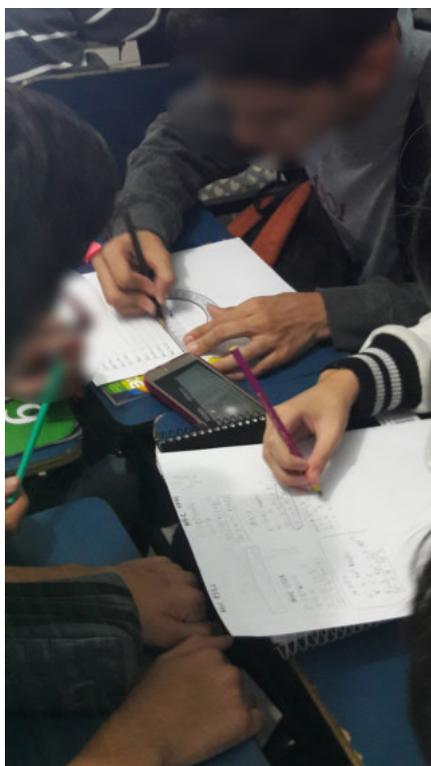


Figura 28: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 29: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.