



UMA ESTAÇÃO DE RADIOASTRONOMIA EXPERIMENTAL PARA ESTUDO DA VIA LÁCTEA, EM 1420 MHz, NO ENSINO DE ASTRONOMIA

AN EXPERIMENTAL RADIO ASTRONOMY STATION FOR THE MILKY WAY STUDY, AT 1420 MHz, IN ASTRONOMY TEACHING

Marcelo Lago Araújo¹, Germano Pinto Guedes², Marildo Geraldête Pereira³

¹ Mestre em Ensino de Astronomia oriundo do MPAstro/UEFS, marcelolago1@hotmail.com

² UEFS/Docente do Departamento de Física, germano.uefs@gmail.com

³ UEFS/Docente do Departamento de Física, marildogp@gmail.com

Resumo: *Uma proposta de estação de rádio para detectar a linha de emissão do Hidrogênio, foi testada em um contexto de radioastronomia experimental e é recomendada para aplicação no ensino técnico em Eletrônica ou na graduação em Física e Engenharia. Presente na vastidão do meio interestelar da Galáxia, o Hidrogênio neutro possui emissão característica que pode ser detectada em 1420 MHz. Com base numa proposta com receptor de rádio definido por software da página RTL-SDR e outros acessórios, as atividades envolvem planejamento para aquisição, organização de recursos e definição de procedimentos. Englobando conhecimentos da Astronomia à Eletrônica, contempla elementos desafiadores para motivar estudantes com interesse em conteúdos STEAM e habilitar professores com mais recursos para o ensino de Astronomia. É uma abordagem que associa conhecimentos teóricos com prática intensiva, que requer estudo inicial dos procedimentos para montagem da estação e entendimento de como o Hidrogênio rarefeito presente na Galáxia possui uma assinatura que pode ser detectada. Mesmo com recursos relativamente modestos, que podem ser aperfeiçoados para, eventualmente, se transformar em acervo de laboratório para ensino de Astronomia e Física.*

Palavras-chave: Radioastronomia e Ensino STEAM; Linha de emissão do Hidrogênio; Via Láctea; Receptor SDR; Eletromagnetismo.

Abstract: *A radio station proposal for hydrogen line emission detections, it was tested from an experimental radio astronomy context and is recommended for an application in technical education in Electronics, or for Physics and Engineering degree. Present in the vastness of the Galaxy interstellar medium, neutral hydrogen has characteristic emission that can be detected at 1420 MHz. Based on a proposal with a software-defined radio receiver, from the RTL-SDR page, and other accessories, activities involve planning for buying, organizing resources and defining procedures. Encompassing knowledge from Astronomy to Electronics, it includes challenging elements to motivate students interested in STEAM content, and empower teachers with more resources for Astronomy teaching. It is an approach that combines theoretical knowledge and intensive hands on activities, which requires an initial study of the procedures for setting up the station and an understanding of how the rarefied hydrogen present in the Galaxy has a signature that can be detected. Even with relatively modest material, which can be improved to, eventually, become a laboratory resource for teaching Astronomy and Physics.*

Keywords: Radio Astronomy and STEAM Teaching; Hydrogen emission line; Milky Way; SDR receiver; Electromagnetism.

INTRODUÇÃO

A Radioastronomia experimental amadora é usualmente menos conhecida do que a Astronomia amadora praticada com os telescópios óticos convencionais. Nas faixas de rádio, é possível observar descargas atmosféricas e sua interação com a magnetosfera na Terra, emissões de Júpiter, do Sol e até mesmo da Via Láctea. Cada objeto de estudo exigindo procedimentos e dispositivos diferentes, inerentes aos respectivos comprimentos de onda eletromagnética. Assim como as observações óticas, as observações em rádio também requerem, idealmente, baixos níveis de interferências (RFI, *Radio frequency Interference*). Num ambiente de ensino, nem sempre é possível dispor de recursos, do tempo e local adequados. Ainda assim, a radioastronomia experimental é rica em elementos teóricos, práticos, lúdicos, com apelo para ser efetivada como atividade educacional. Esta proposta decorre de testes realizados com uma estação de radioastronomia de caráter amador (Figura 4), para estudo da emissão da linha do Hidrogênio, originária do meio interestelar na nossa Galáxia.

A montagem foi realizada conforme proposta da página RTL-SDR¹, com adaptações. Há outras propostas semelhantes na Internet, e o que determinou este modelo está relacionado ao receptor do tipo SDR (*Software Defined Radio*) que foi possível utilizar. Desde a emergência da COVID19, os testes foram realizados em ambiente residencial, com obstrução parcial para o céu e intensa RFI, em Salvador/BA, e em Barra do Jacuípe/BA. Ainda assim, foi possível registrar o tênue espectro em torno de 1420 MHz², quando do trânsito do plano da galáxia no lóbulo principal da antena. Por ser um trabalho que demanda conteúdos relacionados à Astronomia, à Física do Eletromagnetismo, Tecnologias da Informação e Comunicação, Língua Inglesa, organização de recursos e tempo, é relevante para cursos técnicos de Eletrônica, graduação em Física ou Engenharia, especialmente para abordar conhecimentos de tecnologias “*Wireless*”, amplamente utilizadas. Também é indicado para apresentação em feiras de Ciências, mobilizando habilidades e interesses dos estudantes por STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*). Englobando os trabalhos práticos, ao professor também caberá a necessária mediação dos aspectos teóricos e históricos.

BREVE HISTÓRICO SOBRE A LINHA DO HIDROGÊNIO EM 1420 MHz (21 cm)

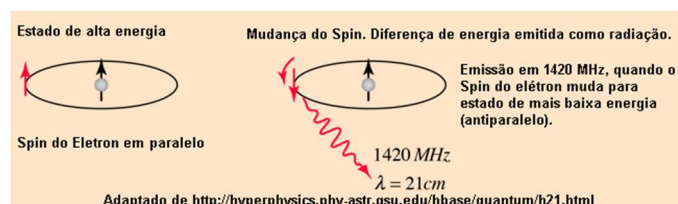


Figura 01: Mecanismo de emissão do Hidrogênio em rádio, em 1420 MHz

Conforme HEY descreve em seu livro, *The Radio Universe* (1971, p. 28), a radiação de linha espectral é um tipo distinto de emissão de rádio, pois concentra-se próxima a um comprimento de onda (tradução livre). Ele destaca que quando um átomo absorve energia, pode liberar a energia novamente emitindo radiação e saltando de volta para o estado inferior, esquematizado na Figura 1.

¹ Artigo da página RTL-SDR.COM: Cheap and Easy Hydrogen Line Radio Astronomy with an RTL-SDR.

² No Brasil, a faixa de 1400 a 1427 MHz está atribuída, pela Anatel, também para Radioastronomia.

Ao fazer essa transição, o átomo irradia uma quantidade de energia (conhecida como quantum) que está relacionada à frequência, pela Lei de Planck (HEY, 1971, p. 28 - 29). Considerando os possíveis mecanismos de linhas de emissão em rádio, Hendrick C. van de Hulst, em 1944, sugeriu que o Hidrogênio neutro presente no meio interestelar poderia ser uma fonte a se considerar, em 1420 MHz (21 cm) (KRAUS, 2005, p. 1-11). Harold Ewen e Edward Purcell foram os primeiros que registraram o fenômeno (EWEN, PURCELL, 1951), e outros logo confirmaram a descoberta. Com o desenvolvimento de amplificadores comerciais de baixo ruído, filtros, rádios SDR, podemos revisitar o experimento com recursos mais acessíveis. Os sinais gerados no meio interestelar podem ser utilizados para definir a estrutura da nossa galáxia, mesmo que estejamos em seu interior.

UMA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL EM 1420 MHz

A estação adaptada do artigo da página RTL-SDR está esquematizada na Figura 2. RTL-SDR é especializada em apresentar projetos e novos usos para receptores da marca. Rádios definidos por *software* funcionam por meio de processamento digital de sinal, para detectar radiofrequências (RF). Capazes de lidar com extensa faixa de operação (de kHz a GHz, tipicamente), com boa sensibilidade e diversos tipos de modulação. São geralmente interligados à porta USB do computador, onde algum *software* controla frequência, modulação, ganho, largura de faixa etc. Geralmente, o programa de controle do SDR permite visualizar o espectro (Intensidade x Frequência), salvar telas e até os sinais demodulados. Aqui, foi utilizado o receptor “Airspy R2” que também alimenta (com 5 V, conexão coaxial, interface “Bias Tee”) o LNA (*Low Noise Amplifier*), modelo “SAWbird+ H1”³.

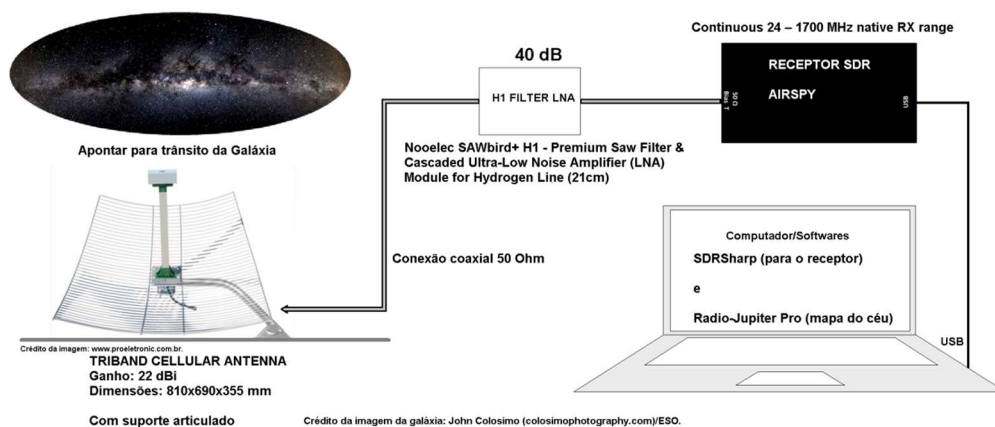


Figura 02: Esquema da estação receptora experimental

Como o sinal a ser recebido é muito fraco, requer antena direcional, com ganho relativamente alto, cerca de 22 dBi (a antena comercial usada é projetada para frequência maior que 1420 MHz e o ganho será menor nesta faixa). A necessária amplificação adicional é fornecida pelo LNA, cujo modelo possui filtro para a linha do Hidrogênio e ganho elevado, 40 dB. O receptor SDR indicado é compatível com o *software* SDRSharp⁴ e com o *plugin* “IF Average”. Instruções detalhadas para sua instalação, no artigo da RTL-SDR, requerem estudo para o passo a passo e teste de instalação. O *plugin* é essencial para a observação, pois,

³ Nooelec SAWbird+H1 - SAW Filter & Cascade LNA Module for Hydrogen Line (21cm), 1420MHz Center Frequency: <https://www.nooelec.com/store/sawbird-h1.html>.

⁴ Endereço para o SDRSharp: <https://airspy.com/download/>.



permite calibragem inicial, com a carga de 50 Ohm em lugar da antena e, depois, com a antena conectada, integrará amostras do sinal captado, no tempo predeterminado. Os ajustes devem ser realizados em tentativas de encontrar o que melhor se aplique aos dispositivos e ao local. Assim, o sinal da linha do hidrogênio eventualmente se destacará do patamar de ruído. Para mitigar ruídos a mais no sistema, as conexões envolvendo sinais de RF devem ser curtas e diretas. Para minimizar RFI da rede elétrica, a observação pode ser feita, por algum tempo, apenas com a bateria interna do *laptop*. Evitar potenciais fontes de interferências próximas, como torres de telecomunicações, rádio e TV, cabos de energia, que devem estar o mais distante possível da linha de visada da antena para o céu.

Há outras práticas⁵ e propostas de receptores experimentais para a linha de 21 cm, disponíveis na Internet. Algumas replicam a montagem de Ewen e Purcel, construindo a antena em forma de corneta⁶, com receptor de alta sensibilidade, e filtro capaz de minimizar ruídos indesejáveis. Na montagem proposta aqui, não é necessário construir a antena de corneta nem guia de onda e acopladores. São empregados recursos disponíveis em fornecedores com páginas na Internet: antena, LNA com filtro integrado, receptor SDR, cabos e conectores. No Quadro 1, o resumo dos materiais da estação. Para o receptor funcionar, será necessário instalar o *software* SDRSharp, e, posteriormente, o *plugin* IF Average, conforme instruções da página RTL-SDR. Para monitorar em tempo real o trânsito da Via Láctea do céu local, foi usado o *software* Radio-Jupiter Pro⁷, que também é utilizado pelo Projeto *Radio JOVE*. Este programa permite configurar o tipo de antena e as coordenadas.

Quadro 01: Recursos para estação experimental 1420 MHz

Materiais/Dispositivos	Observação
Antena Celular Tri Band 22dBiPQAG-3022; Adaptador coaxial da antena para o LNA;	Faixa de 1710 a 2170 MHz, com Ganho de 22 dBi nesta faixa, impedância de 50 ohm. Para 1420 MHz o ganho será menor;
LNA do fabricante Nooelec, modelo SAWbird+H1. Adaptadores N/SMA para antena e SDR;	O LNA é alimentado por tensão DC, <i>Bias-Tee</i> , fornecida pela linha coaxial, configurado no <i>software</i> SDRSharp;
SDR: <i>Software Defined Radio</i> ;	Modelo Airspy R2, fabricado pela Airspy;
Carga de RF de 50 Ohm;	Utilizada em lugar da antena na calibração inicial;
Cabos USB e extensão USB;	Utilizados conforme a distância entre dispositivos;
<i>Software</i> SDRSharp, com o <i>plugin</i> "IF Average" para receptor Airspy R2;	Instalado conforme procedimentos da página RTL-SDR. Necessário realizar ajustes conforme níveis de RFI;
<i>Software</i> Radio-Jupiter Pro;	Para coordenadas do local e monitorar a Via Láctea;
<i>Laptop</i> ;	Para controle do SDR e registro das observações;
Bússola.	Para referência dos pontos cardeais.

Especial atenção é necessária à instalação do *software* SDRSharp e, depois, do IF Average. É recomendável primeiro testar o funcionamento do receptor Airspy R2 para, então, instalar e testar o IF Average. O procedimento de calibração com a carga de 50 Ohm é necessário para que, posteriormente, com a antena conectada, seja possível a integração correta dos sinais recebidos de modo que aquilo que for recebido, em torno de 1420,406 MHz, seja corretamente o sinal oriundo da antena e não artefatos dos próprios circuitos do SDR (como indicado na

⁵ Liu, L. 2008, The Hydrogen 21 cm Line and Its Applications to Radio Astrophysics: <http://web.mit.edu/lululiu/Public/8.14/21cm/21cm.pdf>.

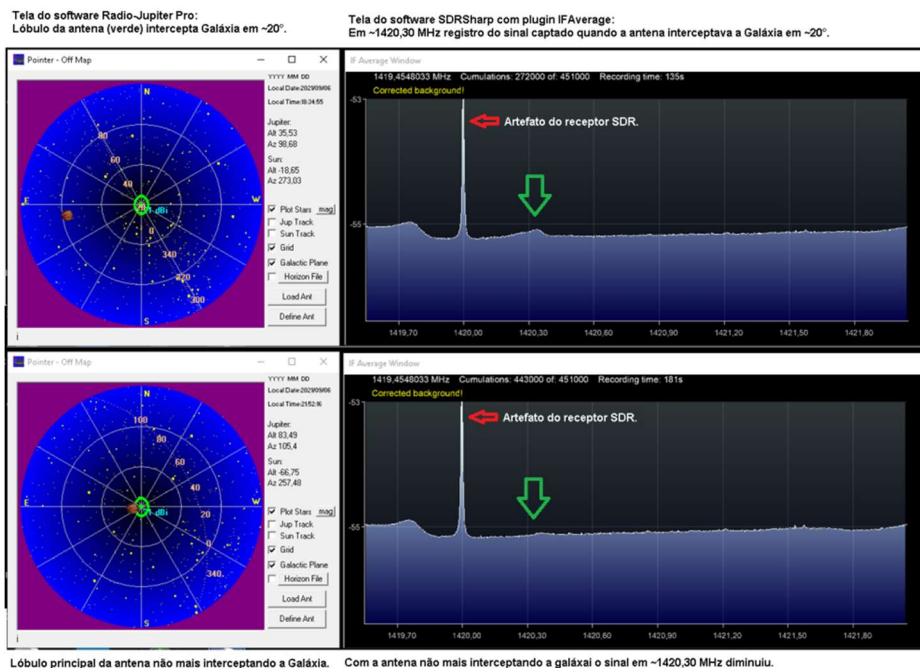
⁶ Montagem "A low-cost home-built horn antenna for 21 cm astronomy", no endereço: <http://rishipatel.blogspot.com/2013/10/summary-of-horn-antenna-project.html>. Ou: "First Experiences With An SDR Radio System": <https://radio-astronomy.org/pdf/JonWallace-Article-SARAJournal-Feb-2019.pdf>.

⁷ Endereço para o Radio-Jupiter Pro 3: <https://radiosky.com/rjpro3ishere.html>.

Figura 3, com seta vermelha). Na prática, são necessárias diversas sessões para que se aprenda a lidar com o comportamento do receptor e seja possível perceber os sinais indesejáveis. É comum haver picos de RFI, na tela do SDRSharp, em relação ao que se espera observar, que é, de fato, um sinal muito tênue, com aspecto de bojo. Deve-se, com o Radio-Jupiter Pro, adotar a prática de verificar antecipadamente, para as coordenadas do local de observação, quando haverá a interceptação do lóbulo principal da antena com o plano da Via Láctea. Idealmente, com a antena diretamente apontando para o zênite, cabe organizar o horário de observação, englobando algumas horas antes e depois do trânsito, de modo que seja possível realizar a comparação dos sinais, antes e depois (Figura 3), o que também servirá para aprendizagem das características do fenômeno.

O que foi possível observar

As emissões do Hidrogênio neutro são registradas com desvios de frequência devido ao efeito Doppler, nas diferentes longitudes da galáxia, correspondentes às regiões ou braços espirais específicos, que estejam se aproximando ou se afastando, relativamente ao nosso ponto de vista. Com melhores recursos, uma observação com sinal relativamente livre de RFI, também poderia caracterizar diferenças de densidade do Hidrogênio nas regiões mais densas em direção ao seu plano e mais rarefeitas nas outras áreas. O ambiente interestelar contém gases cuja concentração costuma ser muito baixa e, ainda assim, no caso do Hidrogênio, as eventuais colisões de partículas nas vastas regiões do espaço são capazes de produzir a assinatura de rádio.



Crédito das imagens: Radio-Jupiter Pro: Radio-Sky Publishing, www.radiosky.com e SDRSharp: <https://airsipy.com/download/>, detalhe do plugin IF Average.

Figura 03: Telas de sessão de observação em 06/09/2021

Na Figura 3, registro da observação realizada em 06/09/2021, num local com menor nível de RFI, em Barra do Jacuípe/BA, próximo a Salvador/BA. Outras sessões foram realizadas em Salvador/BA, e, dependendo da RFI no momento da observação, foi possível identificar o tênue sinal (seta verde indicando o bojo). Para fins comparativos, na Figura 3, a imagem superior à direita com o melhor nível que

foi possível captar, com a antena apontando diretamente para o zênite, quando o trânsito da Via Láctea coincidia com o lóbulo principal da antena (esquerda, elipse em verde a $\sim 20^\circ$), e depois, na imagem inferior, quando a antena já não interceptava mais o plano da galáxia. As imagens à esquerda são do Radio-Jupiter Pro, com indicação da Via Láctea (diagonal) e do lóbulo da antena (elipse em verde).

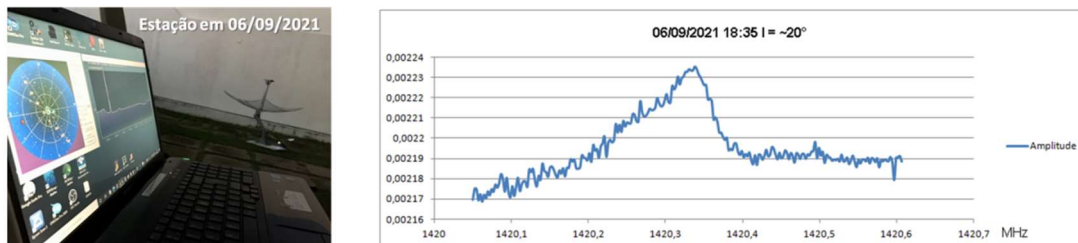


Figura 04: A estação e gráfico com dados do IF Average, da observação de 06/09/2021

No *plugin* IF Average, há um comando para salvar os dados da observação como arquivo de texto, com os valores de amplitude relativa e frequências. Na Figura 04, os dados salvos foram usados para criar um gráfico em que seja possível visualizar com mais destaque a observação de 06/09/2021. Ao longo do ano 2021, durante vários períodos (diurno e noturno), foram monitoradas regiões distintas da galáxia, dependendo do local e da época do ano de observação, com resumo no Quadro 2. As frequências menores do que 1420,406 MHz são indicação de componente de velocidade que está se afastando de nós e as maiores indicam componente radial de velocidade que está se aproximando de nós. Comparações com estudos detalhados em outras estações experimentais são recomendadas⁸.

Quadro 02: Frequências (MHz) por longitude (*l*) da Galáxia

Mês/Ano	Longitude / Galáxia	Frequência (MHz)	Observação
03/2021	$\sim 195^\circ$	$\sim 1420,2$	Salvador/BA, RFI, sinal fraco
03/2021	$\sim 55^\circ$	$\sim 1420,5$	Salvador/BA, RFI, Sinal muito fraco
09/2021	$\sim 20^\circ$	$\sim 1420,3$	Barra do Jacuípe/BA, Sinal mais definido
10/2021	$\sim 20^\circ$	$\sim 1420,3$	Barra do Jacuípe/BA, RFI, Sinal mais definido

Erros inerentes à metodologia de observação

Os erros nas observações compreendem desde o apontamento da antena até características dos receptores. A antena de modelo comercial foi projetada para 1710~2170 MHz, e o ganho será menor em 1420 MHz. Possui abertura de feixe de $14 \pm 4^\circ$ vertical, $10 \pm 2^\circ$ horizontal, que não é muito estreito. Há perdas associadas a descasamentos de impedância nos diversos terminais empregados, mesmo com padrão de 50 Ohm. Os suportes mecânicos e eventuais erros de alinhamento do alimentador com o refletor podem resultar em apontamento para região diversa da longitude da Galáxia, diferente daquela que se monitora em tempo real no programa Radio-Jupiter Pro. O LNA projetado para ganho de 40 dB com filtro para HI também introduz ruído no sistema. No receptor SDR há artefatos e erros associados a desvios de frequência, inerentes aos seus osciladores, para batimento de frequência (estágio heteródino de recepção). Tais erros podem causar susceptibilidade a RFI mascarando o sinal da Galáxia, bem como erros nos valores das frequências esperadas, por longitude da Galáxia, devido ao apontamento, eventualmente precário, e à largura do lóbulo da antena, apontando para região mais extensa que o

⁸ Hydrogen-line observations of the galaxy and the magellanic clouds (Mal Wilkinson and John Kennewell): <https://www.spaceacademy.net.au/spacelab/projects/hlineobs/hlineobs.htm>.



esperado. Testes com alimentadores artesanais de 1420 MHz, acoplados na antena, foram realizados para tentar melhorar o nível do sinal, mas a RFI inviabilizou os resultados. São testes que devem ser repetidos em local mais apropriado.

As sessões de observação duram algumas horas, podem estar sujeitas a problemas como travamento do computador, RFI de diversas origens, requerendo atenção a muitos detalhes, observação de calibração a cada nova sessão, organização de materiais e de estratégias para salvar e analisar os dados: tais erros e dificuldades emulam as práticas de observações profissionais, e são oportunidade formativa, nos diversos conteúdos implicados.

ABORDAGEM STEAM PARA O ENSINO DE ASTRONOMIA

A metodologia envolve montar a estação, a partir do artigo da RTL-SDR, configuração e testes, durante várias sessões com registros para estudos, comparações, entendimento do fenômeno. Para maior relevância como projeto educacional, deve-se considerar o tempo para uma atividade de longa duração, envolvendo diferentes turmas e habilidades dos estudantes. A partir da heurística de GOWIN e NOVAK (1984, p. 71-72), aplicando-a “para resolver um problema ou para entender um procedimento”, a pesquisa com a radioastronomia experimental pode buscar desde evidências de que o sinal observado é mesmo o característico da emissão do Hidrogênio neutro, até a definir procedimentos de como melhorar a relação sinal/ruído. No Quadro 3, a esquematização de alguns conhecimentos relativos à prática sugerida, que estão relacionados aos conhecimentos STEAM:

Quadro 03: Exemplos dos diversos conteúdos relacionados à estação experimental

Área	Conhecimentos recomendados
Ensino	Diagramas Heurísticos e Mapas Conceituais (NOVAK, GOWIN, 1984);
Eletrônica e Informática	Antenas, circuitos sintonizados, receptores do tipo SDR, <i>softwares</i> ;
Física	Eletromagnetismo, características e propagação de ondas eletromagnéticas;
Astronomia	Sistema de coordenadas e estrutura da Galáxia;
Radioastronomia	Mecanismos de emissão de rádio. Estratégias de observação em campo.

Estudar a estrutura da galáxia estando em seu interior é um desafio possível de ser realizado ao se correlacionar as diferentes regiões mapeadas no céu, as frequências, correspondentes às diferentes longitudes, com a técnica aplicada. As etapas para entendimento e montagem da estação possuem aplicações diretas em programas educacionais, que podem aprofundar outros conhecimentos da radioastronomia, já propostos para o ensino (ARAÚJO, 2017). As mais óbvias são voltadas para o ensino de Astronomia, Engenharias e Física, especialmente na Graduação. Também pode se converter em um legado para equipar o laboratório da instituição de ensino.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta proposta foi baseada no artigo do RTL-SDR, testado em sessões de radioastronomia experimental e é recomendada para aulas com conteúdos de Astronomia, Física, especialmente relacionados ao eletromagnetismo, aplicados para dispositivos de recepção de rádio, antenas e mecanismos de emissão em 1420 MHz. Ao ser possível realizar observações iniciais, a despeito das limitações de mobilidade, de espaço, tempo, das dificuldades com obtenção de materiais, e da alta incidência de RFI, é viável propor este tipo de estação como projeto didático, para oficinas, feiras de ciências, atividades de divulgação científica, e buscando condições mais favoráveis, um observatório. O objetivo inicial de testar a estação,



em termos de radioastronomia experimental amadora foi alcançado. Para estudos continuados e comparativos das diversas épocas de observação e regiões do céu, seria desejável uma estação experimental em local definido e afastado de RFI, com antenas melhores. Com a amplitude de saberes necessários, este é um tipo de trabalho que pode ser realizado ao longo de ao menos um semestre, envolvendo os estudantes que poderão organizar as tarefas, dividir os custos e elaborar o passo a passo de procedimentos descritos no artigo da RTL-SDR, obtenção e organização dos materiais e *softwares*, podendo, inclusive, realizar melhorias nos procedimentos.

Apesar de os registros da linha característica da emissão do Hidrogênio da Galáxia, com os recursos usados, serem tênues, muitas vezes inviabilizados quando há excessiva RFI, a possibilidade de captá-los com dispositivos acessíveis comercialmente merece ser considerada para usos educacionais. Quando se aponta um telescópio ótico para objeto brilhante no céu e se constata que, de fato, é um planeta como Júpiter, de modo semelhante é intrigante apontar uma antena para a Via Láctea e captar outro registro, complementar ao visível, no estudo de suas características peculiares, como os desvios de frequência inerentes ao movimento relativo das estruturas. Atividades como esta podem se converter numa estação experimental para uso compartilhado e continuado e não somente para demonstrar o seu funcionamento, agregando mais recursos a laboratórios de ensino de Astronomia. Podem, adicionalmente, abrir caminho para conhecimentos mais amplos, com aplicação acadêmica e profissional para professores e estudantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL. **Mosaico - Módulo de Canalização - Quadro de Atribuição de Faixa de Frequência.** Disponível em: <<https://sistemas.anatel.gov.br/mosaico/canalizacao/publicView/relatorios/relatorioFaixaFrequencia/consultar.xhtml>>. Acessado em: 12/09/2022.

ARAÚJO, M. L. **Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de Astronomia no nível médio.** Feira de Santana/BA, Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, 2017. 253p. Dissertação de Mestrado.

EWEN, H.I., PURCELL, E.M. Observation of a Line in the Galactic Radio Spectrum: Radiation from Galactic Hydrogen at 1,420 Mc./sec. **Nature** 168, 356 (1951).

HEY, J. S. **The Radio Universe.** Pergamon Press. Oxford, 1971.

KRAUS, J. D. **Radio Astronomy** - 2nd edition. Library of Congress. University of New Hampshire Printing Services, 2005.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a Aprender.** Plátano Edições Técnicas. Lisboa, 1984.

Radio-Jupiter Pro 3. Disponível em: <<https://radiosky.com/rjpro3ishere.html>>. Acessado em 13/09/2022.

RTL-SDR. **Cheap and Easy Hydrogen Line Radio Astronomy with an RTL-SDR, WiFi Parabolic Grid Dish, LNA and SDRSharp.** Disponível em: <<https://www.rtl-sdr.com/cheap-and-easy-hydrogen-line-radio-astronomy-with-a-rtl-sdr-wifi-parabolic-grid-dish-lna-and-sdrsharp/>>. Acessado em 13/09/2022.

WILSON, T. L.; ROHLFS, K. R.; HÜTTEMEISTER, S. **Tools of Radio Astronomy.** Springer, Sixth Edition. New York, 2013.