

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DJAMILTON FOICINHA CAMPELO

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ESTUDO DO EFEITO
FOTOVOLTAICO EM UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL NA PERSPECTIVA
DA TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD**

São Luís-MA

2019

DJAMILTON FOICINHA CAMPELO

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ESTUDO DO EFEITO
FOTOVOLTAICO EM UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL NA PERSPECTIVA
DA TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física pelo UFMA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Processos de ensino e aprendizagem e tecnologias de informação e comunicação no ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Karl Marx Silva Garcez

Coorientadora: Prof.^a Dra. Karla Cristina Silva Sousa

São Luís-MA

2019

DJAMILTON FOICINHA CAMPELO

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ESTUDO DO EFEITO
FOTOVOLTAICO EM UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL NA PERSPECTIVA
DA TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Maranhão – UFMA – no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Karl Marx Silva Garcez (Orientador)
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
Presidente

Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Cláudio Rejane da Silva Dantas
Doutor em Física – Universidade Regional do Cariri
(Examinador Externo)

Dedico este trabalho à minha mãe Geraldina Foicinha Campelo e à minha irmã Antônia Pimentel Miranda (*in memoriam*), que infelizmente não puderam estar presentes neste momento tão importante da minha vida. Também dedico a meu pai Djalma Campelo, minha esposa Greiciane Pinto Lima e minha filha Elise Lima Campelo.

Deus é nosso refúgio e nossa força, socorro que não falha em tempos de aflição. Salmos 46:1 (BÍBLIA SAGRADA).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, pela oportunidade e por me manter de pé.

A minha família por acreditar e incentivar em todos os momentos.

A Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Ao Professor Dr. Karl Marx Silva Garcez pela paciência e orientação

A Professora Dr^a Karla Cristina da Silva Sousa pelas orientações e bons conselhos.

Ao Professor Me. José Clet pela inspiração, por todos os conhecimentos compartilhados nas aulas de laboratórios e pela amizade.

A minha musa Greiciane Pinto Lima por acreditar em mim e por todo incentivo e ajuda.

Aos Professores do Mestrado polo 47 em especial ao Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho, pelas boas conversas e incentivo.

Ao Prof. Watson Oliveira pelas conversas valiosas e por todas as contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo Ajax Rosa pela colaboração e incentivo.

A todos os colegas do mestrado, pela amizade e companheirismo, em especial, a Carlos Adriano e Gyulianna Pinheiro.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001, pelo fomento a este programa de Pós-Graduação.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho aborda a trajetória da construção de um produto educacional desenvolvido para promover o ensino do efeito fotovoltaico para turmas de terceiro ano do ensino médio. Este produto educacional é composto por Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) que são uma maneira organizada de promover o ensino, de modo a traduzir fenômenos físicos em problemas interessantes para os alunos, possíveis de serem resolvidos e cujas resoluções encaminhem os estudantes em direção aos conhecimentos científicos. Durante a pesquisa elaboramos uma SEI que investiga os conhecimentos prévios dos alunos sobre a conservação da energia e uma SEI que estuda o efeito fotovoltaico. As SEIs foram elaboradas de acordo com a Teoria de Campos Conceituais, onde utilizamos simulações e experimentos como recursos didáticos, as atividades de avaliação incluíram mapas conceituais e questionários. Após a aplicação do produto, em uma turma de terceiro do ano, verificamos que análise das avaliações demonstrou o desenvolvimento da linguagem técnica e científica dos alunos, também foi possível identificar de possíveis invariantes operatórios que apareceram nas respostas dos alunos em situações propostas aos estudantes envolvendo conceitos do campo conceitual da conversão da energia.

Palavras-Chave: Sequência de Ensino Investigativa. Efeito Fotovoltaico. Teoria dos Campos Conceituais.

ABSTRACT

This work discusses the trajectory of the construction of an educational product developed to promote the teaching of the photovoltaic effect for third year classes of high school. This educational product is composed of Investigative Teaching Sequences (SEIs) that are an organized way of promoting teaching, in order to translate physical phenomena into interesting problems for students, which can be solved and whose resolutions lead students towards knowledge scientific. During the research, we developed a SEI that investigates students' prior knowledge about energy conservation and a SEI that studies the photovoltaic effect. The SEIs were developed according to the Theory of Conceptual Fields, where we use simulations and experiments as didactic resources, the evaluation activities included concept maps and questionnaires. After the application of the product, in a third class of the year, we found that analysis of the evaluations demonstrated the development of the technical and scientific language of the students, it was also possible to identify possible operative invariants that appeared in the students' responses in situations proposed to students involving concepts from the conceptual field of energy conversion.

Keywords: Investigative Teaching Sequence. Photovoltaic Effect. Theory of Conceptual Fields.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Piranômetro moderno típico (modelo padrão secundário SR20)	24
Figura 2-Diagrama de energia de um semicondutor e fundamentos básicos da conversão solar da conversão fotovoltaica.....	27
Figura 3 Junção p-n com detalhe da região de depleção, da difusão e da ação do campo elétrico interno sob elétrons e lacunas.....	30
Figura 4-Representação do processo de conversão fotovoltaica	31
Figura 5-Representação da curva I-V da junção p-n da célula fotovoltaica.....	32
Figura 6-Curva característica corrente-tensão de uma célula de silício no escuro e iluminada	33
Figura 7-Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica	36
Figura 8-Curva- I –V, curva de potência (P –V) de um sistema fotovoltaico.....	38
Figura 9-Minigerador eólico.....	60
Figura 10-Miniforno solar	61
Figura 11-Mini-placa solar	61
Figura 12-Plataforma do Phet Colorado.....	64
Figura 13-Tela inicial da simulação energia na pista de skate	65
Figura 14-Pista de skate sem considerar a influência do atrito	67
Figura 15-Pista de skate considerando a influência do atrito	67
Figura 16-Análise do questionário aberto 1-Grupo A.....	70
Figura 17-Mapa conceitual apresentado pelo grupo A.....	78
Figura 18-Mapa conceitual desenvolvido pelos alunos do grupo B.....	79
Figura 19-Mapa conceitual desenvolvido pelos alunos do grupo C.....	80
Figura 20-Mapa conceitual desenvolvido com auxílio do <i>Cmap Tools</i>	81
Figura 21-Tela da simulação -Formas de energias e transformações.....	82
Figura 22-Circuito placa-led utilizada na SEI 02	84
Figura 23-Conexões na mini-placa.....	85

Figura 24-Células iluminada durante a atividade de investigação	85
Figura 25-Circuito em paralelo	86
Figura 26-Circuito em série.....	87
Figura 27-medindo a área da mini-placa	88
Figura 28-Professor e alunos realizando atividades de investigação	89
Figura 29-Caixa 1-bateria e Medidores	91
Figura 30- Montagem do circuito.....	92
Figura 31- <i>Display</i> do voltímetro e amperímetro digital.....	92
Figura 32-Conexão da placa na caixa 2 com resistores.....	93
Figura 33-Mapa conceitual-Grupo B.....	103
Figura 34-Mapa Conceitual produzido pelo Grupo E na SEI 02	104
Figura 35-Mapa Conceitual do grupo F	105
Figura 36-Mapa Conceitual do Grupo G.....	106
Figura 37-Mapa Conceitual do grupo A.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Taxonomia SOLO -Definição dos níveis de complexidade da taxonomia SOLO...	57
Quadro 2-Descrição das atividades-chave da SEI 1	64
Quadro 3-Equações sobre energia	67
Quadro 4-Descrição do nível de abrangência do questionário 01	68
Quadro 5-Classificação Taxonômica das respostas do questionário 01.....	71
Quadro 6-Análise das respostas do grupo A (questionário 01).....	72
Quadro 7-Possíveis Invariantes Operatórios	74
Quadro 8-Possíveis invariantes operatórios encontrados no mapa conceitual do grupo A.....	75
Quadro 9-Descrição das atividades-chave da SEI 02.....	83
Quadro 10-Conteúdos da SEI 2	90
Quadro 11-Resumo das variáveis elétricas do painel	94
Quadro 12-Nível Taxonômico do questionário 2	96
Quadro 13-Identificação dos conjuntos envolvidos em cada questão do questionário 2	97
Quadro 14-Classificação Taxonômica das respostas do questionário 2.....	101

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA E O EFEITO FOTOVOLTAICO.....	20
2.1. Energia e sua conservação	20
2.2. A energia solar	23
2.3. Sistema fotovoltaico	25
2.4. Características elétricas das células e módulos fotovoltaicos.....	26
3. TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA CONSIDERANDO UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	40
3.1. Campos Conceituais	42
3.2. Conceitos	42
3.3. Situações	43
3.4. Esquemas	44
3.5. Invariantes operatórios.....	45
3.6. O professor e o ensino na perspectiva de Vergnaud.....	45
4. METODOLOGIA	47
4.1. Ensino e a importância da alfabetização científica.....	48
4.2. Procedimentos de construção de uma SEI para o estudo do efeito fotovoltaico	50
4.3. Mapas conceituais como instrumentos de avaliação	53
4.4. A taxonomia SOLO como ferramenta de análise de resultados das SEIs	55
5. APLICAÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DE ENSINO INVESTIGATIVAS	57
5.1. Sujeitos da pesquisa e espaço de investigação.....	58
5.2. Primeiro encontro	59
5.3. Segundo encontro	62
5.3.1. Utilizando a Taxonomia SOLO na SEI 01	68
5.3.2. Mapas conceituais da SEI 01	76
5.4. Terceiro encontro.....	81
5.5. Quarto encontro	83
5.6. Quinto encontro	89
5.6.1. Observações sobre a aplicação dos experimentos	95
5.6.2. Respostas do questionário 02	98
5.6.3. Mapas conceituais apresentados pelos grupos na SEI 02.....	102
5.7. A questão dos invariantes operatórios analisados por grupo	108
5.7.1. Grupo A	108
5.7.2. Grupo B	108
5.7.3. Grupo C	109

5.7.4. Grupo D	109
5.7.5. Grupo E	110
5.7.6. Grupo F.....	110
5.7.7. Grupo G	110
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
REFERÊNCIAS	114
APÊNDICE A: Informações sobre a energia solar	117
APÊNDICE B: Produto Educacional	122

1. INTRODUÇÃO

Começando com uma breve apresentação, me formei em 2008 na primeira turma do curso de Física licenciatura da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), minha trajetória como professor começou em 2006 em uma pequena escola particular, onde comecei ministrando aulas de matemática para o 6º ano. Nos anos seguintes assumir a disciplina de Ciências nas turmas do 9º ano até 2008. A partir de 2009 comecei a ministrar aulas no ensino médio como professor de Física contatado pela rede Estadual de ensino do Estado do Maranhão. No ano de conclusão deste trabalho (2019), assumi o cargo de professor substituto na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e desde 2014 atuando também como professor de Física em uma Faculdade particular. Assim como eu, muitos professores (principalmente no início da carreira) precisam ministrar aulas em várias instituições de ensino pra manter seu sustento, passei por muitas instituições tanto na rede pública como na rede particular, com isso fui ganhando experiências de sala de aula me deparando com todas as problemáticas da profissão desde a educação básica até superior. A ideia de fazer um mestrado sempre me ocorreu, mas devido a carga de trabalho, ficava adiando. A fim de refinar as habilidades que adquiri na graduação e agregar novos conhecimentos na área específica de Física, bem como desenvolver competências metodológicas necessárias ao bom desempenho da atividade docente, ingressei em 2017 no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – programa em rede, com polos em vários estados, coordenado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) e que tem como foco o aperfeiçoamento de professores de física da educação básica. Com essa oportunidade, pude conciliar os estudos ao trabalho e assim concluir este trabalho como uma pequena contribuição para o ensino de Física. A seguir iremos comentar os argumentos que justificam este trabalho.

No cotidiano da sala de aula de Física, o professor se depara com muitos desafios, como a falta de laboratórios de ciências em muitas escolas, material de pesquisa (livros, acesso à internet), e o de desenvolver novos conceitos através das abstrações do raciocínio e conseguir torná-lo concreto na mente dos alunos. Apoiando-se no livro didático e com uso de analogias, o professor desenvolve suas aulas sob um discurso fundamentado nas teorias Físicas, mas de forma muito abstrata. Outra dificuldade do ensino de Física é encontrar uma relação entre os conteúdos teóricos e os experimentais. Nem sempre nas escolas, existem laboratórios apropriados para o desenvolvimento das atividades experimentais, com isso, o

professor precisa desenvolver suas estratégias de forma criativa elaborando atividades experimentais com matérias de uso cotidiano para realizar algumas dessas atividades. Aulas de laboratório são necessárias no desenvolvimento da aprendizagem por terem visibilidade e chamarem a atenção para os efeitos envolvidos na prática mostrando como se desenvolve o pensamento científico. Experiências simples em sala de aula podem contribuir para a atenção e confiança dos alunos nos assuntos que o professor desenvolve teoricamente em sala de aula. Na minha experiência como professor, trabalhando em mais de cinco escolas de ensino médio, em São Luís-MA no período de 2006 a 2012 em nenhuma delas encontrei laboratórios de Física, algumas apenas apresentavam alguns materiais e peças, mas nada padronizado.

Esta dissertação apresenta uma proposta de estudo sobre o efeito fotovoltaico no ensino médio por meio de um *kit* experimental utilizando como estratégia de ensino, Sequências de Ensino Investigativas (SEIs), de modo a investigar o desenvolvimento da aprendizagem sobre o tema visando a conceitualização, tentando diminuir a distância entre teoria e prática e explorando as aplicações dos conteúdos envolvidos.

Pensando em um ensino voltado para inserção dos alunos na cultura científica as Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) são uma maneira organizada de promover o ensino em sala de aula, traduzindo fenômenos Físicos em problemas interessantes para os alunos, possíveis de serem resolvidos e, principalmente, que suas resoluções encaminhem os estudantes na direção dos conhecimentos científicos (CARVALHO, SASSERON 2012).

Encaminhar os alunos na direção dos conhecimentos científicos é papel de todo professor além de uma contribuição a uma melhor qualidade de vida, entendendo a Ciência (em particular a Física) como uma forma de compreensão das transformações que ocorrem na natureza. Assim, é importante que se conduza o estudo de forma responsável para que o aluno compreenda bem a importância que tem a Ciência.

Entender a ciência nos facilita, também, contribuir para controlar e prever as transformações que ocorrem na natureza. Assim, teremos condições de fazer com que essas transformações sejam propostas, para que conduzam a uma melhor qualidade de vida. Isto é, a intenção é colaborar para que essas transformações que envolvem o nosso cotidiano sejam conduzidas para que tenhamos melhores condições de vida (CHASSOT, 2018).

A construção destas SEIS foi fundamentada na Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud. É uma teoria psicológica de conceitos, uma teoria cognitiva do processo de conceitualização do real (VERGNAUD, 1990). Tal teoria estuda a evolução dos conceitos

cotidianos para os conceitos científicos. O ser humano quando enfrenta a realidade, interpreta-a por meio de seus significados e suas representações. O ensino e a aprendizagem de Física buscam aproximar esses significados e representações daqueles compartilhados pela comunidade científica.

Este trabalho foi desenvolvido com estudantes do terceiro ano do ensino médio de uma escola localizada na cidade de São Luís – MA e contou com a colaboração do professor regente da turma que disponibilizou sua sala de aula para que esta pesquisa fosse realizada. No período de aplicação do trabalho, não estava atuando como professor do ensino médio.

Quanto a elaboração e desenvolvimento das Sequências de Ensino Investigativas (SEIs), baseamo-nos nas contribuições de CARVALHO (2011) e (CARVALHO e SASSERON, 2013) como instrumentos norteadores para a construção da nossa proposta, cujo objetivo geral é propor uma SEI baseada em problemas envolvendo o efeito fotovoltaico. Foram realizadas duas SEIs. A primeira SEI trata dos princípios físicos relacionados à conservação da energia, como forma de verificar os conhecimentos prévios dos alunos a respeito do tema, estudado em séries anteriores, e uma segunda SEI que trabalha o fenômeno físico do efeito fotovoltaico e conceitos relacionados.

Considerando que em nossa sociedade é cada vez mais comum a discussão sobre energias renováveis e meios de produção de energia, assim como o reconhecimento de problemas relativos à crise energética, se faz necessária a realização de uma pesquisa, ainda que parcial, relativa aos trabalhos desenvolvidos e publicados na área. Optamos por destacar diretamente quatro trabalhos que envolvem ensino sobre o efeito fotovoltaico, apresentando-os de forma resumida a abordagem do efeito fotovoltaico em trabalhos aplicados no ensino médio.

No trabalho denominado Princípios quânticos no ensino médio: energia solar como ferramenta de ensino Sousa (2015), traz como proposta a implementação da Mecânica Quântica ainda no ensino médio através da energia solar fotovoltaica. Seu trabalho foi laborado de maneira que possa servir de guia para confecção de aulas a serem aplicadas no ensino médio sobre Mecânica Quântica. Ainda segundo o autor, a energia solar fotovoltaica é uma ótima ferramenta para a aplicação dos conteúdos básicos da física desenvolvida no último século. Diante do cenário atual, onde o grau de envolvimento do desenvolvimento científico e tecnológico no cotidiano do educando é considerado alto, seremos pouco sensatos se deixarmos os assuntos da Física moderna contemporânea de fora da educação básica. Este trabalho sugere uma opção de adaptar o ensino da Mecânica Quântica no ensino médio com a

intensão de dar ao aluno um maior significado ao tema através da Energia Solar Fotovoltaica. A energia solar fotovoltaica aqui é usada como a ligação entre a realidade diária do aluno da educação básica de nível médio e a realidade abstrata da Mecânica Quântica, que vista de maneira independente parece algo inconcebível.

O segundo trabalho que destacamos, *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e Aplicações para o Ensino Médio*, Souza (2016) apresenta uma proposta de ensino com experimentos destinados para a educação básica com o objetivo de incentivar e despertar a aprendizagem na área de energias renováveis. Apresenta o tema: “energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos”, seguido de um conjunto de teorias que descrevem todo o processo, desde o comportamento de semicondutores com a temperatura e irradiação solar, assim como é abordado teoricamente como é realizada a dopagem de semicondutores e junção PN até a construção de painéis solares e sua utilização na geração de energia elétrica. O autor desenvolve um material didático muito amplo, que se preocupa em levar em consideração os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e as Leis de Diretrizes Bases da Educação Nacional (LDB), se preocupou também na construção e disponibilização de um material didático completo que pode ser usado tanto no ensino médio, ensino técnico, e universitário.

Em seu trabalho *Energia solar fotovoltaica: um tema gerador para o aprendizado de física* (SILVA, J. A. *et al*, 2017) apresentam uma proposta didático-metodológica para o ensino de Física no Ensino Médio, no qual foram feitos vários debates com os alunos a respeito do uso racional das fontes de energias renováveis e da preocupação com as mudanças climáticas que vem ocorrendo no planeta. Dentro deste enfoque, os alunos foram subsidiados com conceitos básicos da Física Moderna alinhados com atividades virtuais (simulações) e vídeos. No trabalho foi abordado a energia solar e suas aplicações com aulas ministradas sobre os conceitos de Física Moderna relacionados ao tema da energia solar e realizadas as simulações computacionais com o software gratuito Phet e a apresentação dos vídeos. As aulas expositivas e os experimentos virtuais enfatizaram o efeito fotoelétrico com o efeito fotovoltaico nas células. Ainda, segundo (SILVA, J. A. *et al*, 2017) foram feitas analogias com os fótons da radiação solar incidentes sobre os painéis fotovoltaicos para geração direta de eletricidade e a apresentação de vídeos simulando a dopagem e construção das células de silício, bem como o funcionamento de pequenas centrais geradoras solares, residenciais e industriais. Na pesquisa, observou-se que o uso de metodologias que privilegiem a experimentação, seja real ou virtual, e temas atuais, são imprescindíveis ao processo de aprendizagem. Facilitam a compreensão das ideias expostas melhorando a eficiência dos discentes e tornando a aprendizagem lúdica e significativa.

No trabalho, Micro usina solar e o efeito fotovoltaico para alunos do terceiro ano do ensino médio Soares (2018) propõe uma sequência didática aplicada para alunos do terceiro ano do ensino médio cujo tema é Energia Solar. A abordagem é feita em nível introdutório, por meio dos seguintes enfoques: (i) micro usina solar, como ferramenta experimental; (ii) efeito fotovoltaico; (iii) discussões sociais sobre o tema, que resulta na inserção do conteúdo ministrado no cotidiano do aluno. Segundo Soares (2018), a aplicação da sequência didática ocorreu em uma escola de ensino médio na cidade satélite de Brasília. Para aplicação da sequência didática foram utilizados seis encontros de aulas duplas no turno matutino e tal conteúdo foi inserido na grade curricular do terceiro ano desta escola. Como resultado, o autor destaca o crescimento na linguagem técnica e científica dos alunos e o interesse deles em convergir o conteúdo ministrado com temas contextualizados e controversos. Para a aplicação da sequência didática foram oferecidos aos alunos materiais como: questionário inicial, pré-teste, que serviu para avaliação de conhecimentos prévios dos mesmos e comparativo com um questionário final, pós-teste e textos de apoio para melhor compreensão dos conceitos envolvidos, roteiros experimentais, vídeos sobre o assunto e sites de pesquisas. Todo esse material está disponível no produto educacional como material de apoio ao professor que poderá ser utilizado para realização de trabalhos similares.

Estes foram alguns exemplos de trabalhos desenvolvidos com o objetivo de promover ao estudo da energia solar no ensino médio, em nossa proposta de trabalho apresentamos uma metodologia diferente baseada na teoria de Campos Conceituais e desenvolvida através de SEIs.

O conceito energia é essencial para a Física e fundamenta aplicações em várias áreas, como Química, Biologia, engenharia, além de desempenhar um papel fundamental na vida humana de modo que,

a energia desempenha um papel fundamental na vida humana: ao lado de transportes, telecomunicações e águas e saneamento, compõe a infraestrutura necessária para incorporar o ser humano ao desenvolvimento vigente. Por isso, o tratamento dos temas energéticos no seio dessa infraestrutura será da maior importância para que se caminhe na busca de um desenvolvimento sustentável. Isso requer uma abordagem holística, multidisciplinar, num cenário composto por todas as dimensões do problema: tecnológicas, econômica, sociais, políticas e ambientais (REIS, 2011, p.5).

Neste trabalho, destacamos como objetivo geral, o desenvolvimento de um produto educacional que possibilite um estudo do efeito fotovoltaico através de SEIs em aulas no ensino médio como metodologia alternativa para o ensino de Física.

Destacamos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar invariantes operatórios dos estudantes sobre o conceito de energia e sua conservação por meio de mapas conceituais;
- Elaborar e avaliar uma SEI que integre uma proposta experimental para o estudo do efeito fotovoltaico visando a promoção da alfabetização científica dos alunos.
- Elaborar um material instrucional para nortear o estudo do efeito fotovoltaico em uma abordagem experimental por outros professores.

O trabalho se estrutura da seguinte maneira: (i) descrição sobre energia no ensino médio e a geração de energia elétrica, a fundamentação teórica do efeito fotovoltaico e as características elétricas das células e painéis fotovoltaicos; (ii) apresenta o referencial teórico que norteia a abordagem pedagógica – nesse capítulo destacamos os princípios da Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud (1990); (iii) descrição do percurso metodológico destacando os passos na elaboração das SEIs norteadas nos trabalhos de CARVALHO (2011) e (CARVALHO e SASSERON, 2013) mostrando a relação com a Teoria de Campos Conceituais, além de descrever os instrumentos de avaliação das SEIs (os mapas conceituais e a taxonomia SOLO; (iv) no quinto capítulo, apresentamos os detalhes metodológicos e análise de resultados das SEIs aplicadas junto aos alunos, descrevendo os encontros formais e realizando a análise dos resultados. As aulas para aplicação da pesquisa foram chamadas de “encontros formais”, foram necessários cinco encontros para o desenvolvimento deste trabalho. Para finalizar, no sexto capítulo, apresentamos resumidamente, as principais constatações identificadas nesta dissertação a partir da aplicação da proposta didática.

2. A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA E O EFEITO FOTOVOLTAICO

2.1. Energia e sua conservação

A energia é conceito fundamental para Física e transversa todos os campos conceituais da Física. A importância do conceito de energia reside no princípio da conservação da energia a energia é uma grandeza que pode ser convertida de uma forma para outra, mas que não pode ser criada nem destruída. Por exemplo, em um motor de um automóvel, a energia química armazenada no combustível é convertida parcialmente em energia térmica e parcialmente na energia mecânica que acelera o automóvel. Em um forno de micro-ondas, a energia eletromagnética obtida da companhia que fornece energia elétrica é convertida na energia térmica que cozinha o alimento. Nesses e em outros processos, a energia total permanece constante, ou seja, a soma de todas as formas de energia envolvidas permanece a mesma (YOUNG, FREEDMAN, 2008, p. 181).

Mais importante do que ser capaz de definir energia, é compreender como ela se comporta ou se transforma. Podemos entender melhor os processos e transformações que ocorrem na natureza se os analisarmos em termos de transformações de energia de uma forma para outra ou de transferências de um lugar para outro. O estudo das diversas formas de energia e suas transformações de uma forma em outra levaram a uma das maiores generalizações da física, a lei de conservação da energia: a energia não pode ser criada ou destruída; pode apenas ser transformada de uma forma para outra, com sua quantidade total permanecendo constante (YOUNG, FREEDMAN, 2008, p. 181).

Por exemplo, a enorme compressão provocada pela gravidade e temperaturas extremamente altas no interior profundo do Sol fundem núcleos de átomos de hidrogênio para formar núcleos de hélio. Este processo é denominado fusão termonuclear, onde há liberação de energia radiante, pequena parte desta atinge a Terra. A energia que alcança a Terra incide sobre as plantas, (e outros organismos capazes de realizar a fotossíntese), e parte é estocada na forma de carvão mineral. Outra parte sustenta a vida na cadeia alimentar que começa com as plantas (e outros fotossintetizadores), e parte dessa energia é mais tarde armazenada na forma de petróleo. Parte da energia originada pelo Sol serve para evaporar a água nos oceanos, e parte desta retorna à Terra na forma de chuva, que pode ser acumulada numa represa. Em virtude de sua posição elevada, a água por trás da represa possui energia potencial que pode

ser usada para alimentar uma usina elétrica logo abaixo, onde é transformada em energia elétrica. A energia viaja pelos cabos elétricos até as casas, onde é utilizada para iluminar, aquecer, cozinhar e fazer funcionar aparelhos elétricos (HEWITT, 2008, p. 118).

Trabalho e Energia

O conceito de trabalho que costumamos utilizar no cotidiano, como atividade de esforço físico ou mental, é bem diferente daquele utilizado na Física. Em Física, o trabalho é a transferência de energia através de uma força (BAUER, WESTFALL, DIAS, 2012). Se uma pessoa esticar uma mola puxando-a com sua mão, energia é transferida da pessoa para a mola. A energia transferida pode se tornar evidente quando se larga a mola e esta contrai rapidamente e depois volta a se expandir em um movimento vibratório. Para uma força constante, o trabalho é igual à componente da força no sentido do deslocamento vezes a magnitude do deslocamento ($W = F_x \cdot \Delta x = F \cos \theta |\Delta x|$), onde F é a magnitude da força constante, $|\Delta x|$ é a magnitude do deslocamento do ponto de aplicação da força e θ é o ângulo entre os sentidos dos vetores força e deslocamento

A energia de um sistema é uma medida de sua habilidade de realizar trabalho. Quando forças realizam “trabalho” sobre uma partícula, o resultado é uma variação de energia associada ao movimento da partícula, a chamada energia cinética. Podemos expressar da seguinte maneira:

$$W_{total} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (2.1)$$

Onde W_{total} , é o trabalho total realizado sobre a partícula, m é a massa, v_f é a velocidade final, v_i é a velocidade inicial. O termo $\frac{1}{2}mv^2$ é uma grandeza escalar que representa a energia cinética K da partícula (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 170).

A energia cinética depende apenas da rapidez da partícula e de sua massa, e não da direção do movimento. Além disso, esta energia é zero apenas quando a partícula está em repouso. A quantidade do lado direito da equação (2.1) é a variação da energia cinética da partícula. Assim, a equação (2.1) nos fornece a relação entre o trabalho total realizado sobre a

partícula e a energia cinética da partícula, ou seja, o trabalho total realizado sobre uma partícula é igual a variação da energia cinética da partícula, expresso na equação abaixo:

$$W_{total} = \Delta K \quad (2.2)$$

Este resultado é conhecido como **teorema do trabalho-energia cinética**.

Energia Potencial

No entanto, às vezes uma partícula é parte de um sistema consistindo em duas ou mais partículas e precisamos examinar o trabalho externo realizado sobre o sistema. Com frequência, a energia transferida a um tal sistema, pelo trabalho realizado por forças externas sobre ele, não irá aumentar a energia cinética total do sistema. Em vez disso, a energia transferida é armazenada como energia potencial: energia associada às posições relativas das diferentes partes do sistema. A configuração de um sistema é a maneira pela qual as diferentes partes do sistema se posicionam umas com relação às outras. A energia potencial é uma energia associada à configuração do sistema, enquanto a energia cinética é uma energia associada ao movimento (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 197).

Lei de conservação de energia

Energia cinética e energia potencial são duas entre as muitas formas de energia, e são a base para outras tais, como energia química, energia nuclear e a energia transportada com o som e a luz. A energia cinética do movimento molecular aleatório está relacionada com a temperatura; as energias potenciais de cargas elétricas são responsáveis pela voltagem; e as energias potencial e cinética do ar em vibração definem a intensidade do som. Mesmo a energia luminosa origina-se do movimento de elétrons no interior dos átomos. Cada forma de energia pode ser transformada em qualquer outra forma (HEWITT, 2008, p. 117).

Quando trabalho é realizado por um sistema sobre outro, energia é transferida entre os dois sistemas. Por exemplo, quando você empurra um trenó, você cede energia, parte como

energia cinética do trenó, parte como energia térmica resultante do atrito entre o trenó e a neve. Ao mesmo tempo, a energia química interna de seu corpo diminui. O resultado efetivo é a transformação de energia química interna de seu corpo em energia cinética externa do trenó mais energia térmica de trenó e neve. Esta transferência de energia evidencia um dos mais importantes princípios da ciência, a lei de conservação da energia, que estabelece que a energia total de um sistema e seus vizinhos não se altera. Sempre que a energia de um sistema varia, podemos dar conta desta variação pelo aparecimento ou desaparecimento de energia em algum outro lugar. A energia total do universo é constante. Energia pode ser convertida de uma forma para outra, ou transferida de uma região para outra, mas energia nunca pode ser criada nem destruída. A energia total E de muitos sistemas do dia-a-dia pode ser contabilizada completamente pela energia mecânica E_{mec} , pela energia térmica $E_{térmica}$ e pela energia química $E_{Química}$. Para sermos abrangentes e incluirmos outras possíveis formas de energia, tais como a eletromagnética e a nuclear, incluímos E_{Outras} . Em situações em que este é o único modo de transferência de energia para ou do sistema, a lei de conservação da energia é expressa como: $W_{ext} = \Delta E_{sis} = \Delta E_{mec} + \Delta E_{térm} + \Delta E_{quím} + \Delta E_{outras}$ (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 214).

2.2. A energia solar

Os sistemas baseados no uso da energia transmitida à Terra pelo Sol para geração de eletricidade podem ser divididos em alguns tipos básicos, dos quais os dois mais conhecidos são: Os sistemas fotovoltaicos autônomos, que efetuam a transformação da energia solar em elétrica diretamente e os sistemas termossolares, em que a energia solar é usada para produzir o vapor que acionará uma termelétrica ou uma máquina (motor *Stirling*, por exemplo) a vapor (ZILLE *et al.* 2012).

Em todos os casos, a grandeza básica para o aproveitamento da energia solar é a radiação solar incidente no sistema de geração de eletricidade. A transmissão da energia do Sol para a Terra se dá pela radiação eletromagnética de ondas curtas, pois 97% da radiação solar está contida entre comprimentos de onda que variam entre 0,3 e 3,0 μm (REIS, 2011). A radiação solar é o fluxo de energia emitida pelo Sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética (REIS, 2011).

Devido às flutuações climáticas, a radiação solar incidente no limite superior da atmosfera, sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o seu percurso até o solo. A incidência total da radiação solar sobre um corpo localizado no solo é uma soma dos componentes direto, difuso e refletido. Radiação direta é aquela proveniente diretamente do disco solar sem sofrer nenhuma mudança de direção, além da provocada pela refração atmosférica. Radiação difusa é aquela recebida por um corpo após a direção dos raios solares ter sido modificada por reflexão ou espalhamento na atmosfera. A radiação refletida depende das características do solo e da inclinação do equipamento captador (REIS, 2011).

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra variam com as estações do ano, devido principalmente à inclinação de seu eixo de rotação em relação ao plano da órbita em torno do Sol. Variam também de acordo com a região, devido às diferenças de latitude, condições meteorológicas e altitude (CRESESB, 2018).

A radiação pode ser medida com uso de diversos instrumentos, o mais frequentemente utilizado é o piranômetro, que tem o sensor localizado no plano horizontal, recebendo, portanto, radiação em todas as direções no hemisfério.

Figura 1-Piranômetro moderno típico (modelo padrão secundário SR20)



Fonte: (HUKSEFLUX BRASI¹L, 2018)

Os dados solarimétricos são apresentados habitualmente na forma de energia coletada ao longo de um dia, produzindo uma média mensal ao longo de muitos anos. As unidades de medição mais frequentemente são: *Langley*/dia (ly/dia), cal/cm².dia, Wh/m² e intensidade média diária W/m² (1ly/dia =11,63 wh/m² = 0,4846W/m²). Em condições atmosféricas

¹ Disponível em: < <https://huksefluxbrasil.com.br/produto/detalhe/sr20-d2-piranometro>> acesso em ago. 2018.

ótimas, ou seja, céu claro sem nenhuma nuvem, a iluminação máxima observada ao meio-dia num local situado ao nível do mar é de 1 kW/m^2 e atinge um valor de $1,05 \text{ kW/m}^2$ a 1.000 metros de altura e, nas altas montanhas, chegando a $1,1 \text{ kW/m}^2$. Fora da atmosfera, a intensidade se eleva a $1,377 \text{ kW/m}^2$. Esse índice é chamado constante solar, sendo utilizado um valor médio, pois varia com a distância da Terra em torno do Sol. Além disso, a radiação solar total incidente varia em diferentes locais da superfície da Terra. Uma superfície horizontal no sul da Europa ocidental (sul da França) recebe em média por ano uma radiação de 1.500 kWh/m^2 , ou mais, e no Norte, a energia varia entre 800 e 1.200 kWh/m^2 . Enquanto uma superfície no deserto do Saara recebe cerca de 2.600 kWh/m^2 ano. O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente o nordeste brasileiro. Na região do semiárido estão os melhores índices, com valores típicos de 200 a 250 W/m^2 de potência contínua, o que equivale entre 1.753 kWh/m^2 a 2.190 kWh/m^2 por ano de radiação incidente. Isto coloca o local entre as regiões do mundo com maior potencial de energia solar (REIS, 2011). A cidade de São Luís-MA, onde foi desenvolvido este trabalho, apresenta um potencial energético de 5.21 kWh/m^2 dia (CRESESB, 2018).

2.3. Sistema fotovoltaico

A energia solar pode ser convertida diretamente em eletricidade, utilizando-se das tecnologias de células fotovoltaicas². Essa tecnologia encontra viabilidade econômica, principalmente, em aplicações de pequeno porte de sistemas isolados (iluminação, bombeamento de água, etc.), serviços profissionais (transmissores de sinais, aplicações marítimas) e produtos de consumo (relógios, calculadora), (REIS, 2011).

Segundo Reis (2011) o mercado fotovoltaico é ainda uma fração do que poderia ser, por dois motivos principais:

I – Existe uma parcela significativa da população mundial, cerca de 2 bilhões de habitantes ou aproximadamente 33% da população mundial, localizada principalmente nas áreas rurais, que não têm acesso à eletricidade.

² Dispositivo elétrico de estado sólido capaz de converter a luz proveniente do sol (energia solar) diretamente em energia elétrica por intermédio do efeito fotovoltaico.

II – A energia solar está disponível em qualquer lugar da Terra e, como os preços dos sistemas fotovoltaicos estão em contínuo decréscimo, há fortes correntes apoiando a ideia de um futuro energético solar, inclusive no desempenho ambiental desse tipo de energia (REIS, 2011).

O ano de 1958 marcou o início, com grande sucesso, da utilização de fotocélulas nos programas espaciais, sendo este o principal uso das células solares até o final da década de 1970. Um impulso foi dado à utilização terrestre de geração fotovoltaica a partir da crise mundial de energia em 1973/1974. A partir do final da década de 1970, o uso terrestre superou o espacial, sendo que essa diferença tem aumentado grandemente. Esse uso crescente vem sendo acompanhado por inovações que permitem o aumento da eficiência de conversão de energia das fotocélulas, bem como uma significativa redução de seus custos (FREITAS, 2008).

2.4. Características elétricas das células e módulos fotovoltaicos

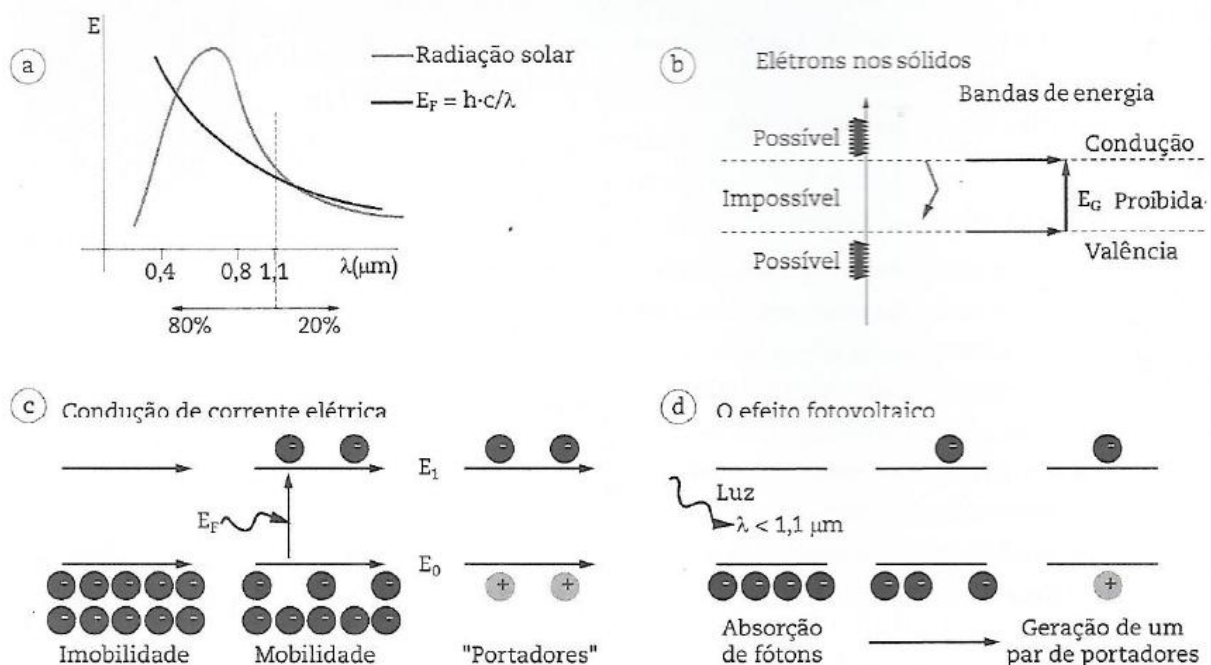
A transformação da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica um fenômeno físico conhecido como efeito fotovoltaico. Observado primeiramente pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade. A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas. Com isso, cargas elétricas são liberadas e podem ser utilizadas para realização de trabalho (BUHLER, 2011).

Os semicondutores utilizados nos dispositivos de conversão fotovoltaica são compostos de elementos capazes de absorver a energia da radiação solar e transferir parte dessa energia para os elétrons, produzindo, assim, pares de portadores de carga (elétrons e lacunas). Os materiais utilizados para fabricar dispositivos com essa finalidade são escolhidos levando em conta a equivalência de suas características de absorção com espectro solar, além do custo de fabricação e os impactos ambientais causados na deposição do material. Os elementos semicondutores mais utilizados na indústria de dispositivos de conversão fotovoltaica são: silício (Si) monocristalino, policristalino e amorfo; arseneto de gálio (GaAs);

disseleneto de cobre e índio (CuInSe_2); disseleneto de cobre, gálio e índio (CuInGaSe_2); e telureto de cádmio (CdTe) (ZILLE *et al.* 2012).

A descrição do fenômeno fotovoltaico só foi possível a partir do desenvolvimento da teoria da mecânica quântica. Esta afirma que qualquer tipo de radiação eletromagnética é composta de partículas, denominadas de fótons, que carregam certa quantidade de (“pacotes”) de energia E_f . A energia em um fóton é dada pela equação familiar, $E_f = h \frac{c}{\lambda}$, onde h é a constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$), c é a velocidade da luz ($c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$) e λ é o comprimento de onda do fóton em metros. Uma vez que a energia no nível atômico é tipicamente expressa em elétron-volt ($1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$) e o comprimento de onda é tipicamente expresso em micrômetro, é possível expressar o produto $h \cdot c$ em unidades apropriadas tal que, se λ é expresso em μm , então E_f será expresso em eV . A expressão de conversão será $E_f(\text{eV}) = 1,24/\lambda$. Portanto, a energia em um fóton depende das características espectrais de sua fonte e varia inversamente com o comprimento de onda da emissão eletromagnética como pode ser percebida na figura 2.

Figura 2-Diagrama de energia de um semiconductor e fundamentos básicos da conversão solar da conversão fotovoltaica.



Fonte: ZILLE *et al.* 2012

Na figura 2 (a) ilustração do espectro da radiação solar e da energia contida em cada fóton em função do comprimento de onda, (b) disposição dos elétrons nos sólidos de acordo com as bandas de energia, (c) absorção da energia do fóton e liberação do elétron da banda de

valência e (d) geração do par elétron-lacuna para o silício monocristalino-efeito fotovoltaico (ZILLE *et al.* 2012).

De acordo com a teoria quântica da matéria, a quantidade de energia que os elétrons possuem está relacionada à banda ou camada em que esse portador de carga se encontra em relação ao núcleo do átomo de origem. Desse modo, define-se banda de valência como aquela de baixo nível de energia que é ocupada por elétrons capazes de efetuar ligações químicas com elétrons de outros átomos. Em determinadas circunstâncias, alguns elétrons da banda de valência podem adquirir energia suficiente capaz de fazê-los migrar para uma região de maior energia, chamado de banda de condução, na qual os elétrons podem se movimentar livremente pelo material, e assim, produzir corrente elétrica. Nesse processo de migração, fica na banda de valência uma lacuna, daí a denominação de par elétrons-lacuna quando um fóton consegue estimular o átomo para tal (MAHON, 2011).

A energia necessária para fazer os elétrons mudarem de banda é chamada energia de *gap* (E_G), que é usualmente dada em elétron-volt (eV) e depende do tipo do material utilizado. Na figura 3 é possível observar que, como consequência da energia de *gap* necessária para geração do par elétron-lacuna, no caso particular dos dispositivos de conversão monocristalinos $E_G = 1,1 eV$, apenas os fótons de comprimento de onda inferior a $1,1 \mu m$ contribuem para a conversão fotovoltaica $E_G(eV) = 1,24/\lambda(\mu m)$ (ZILLE *et al.* 2012).

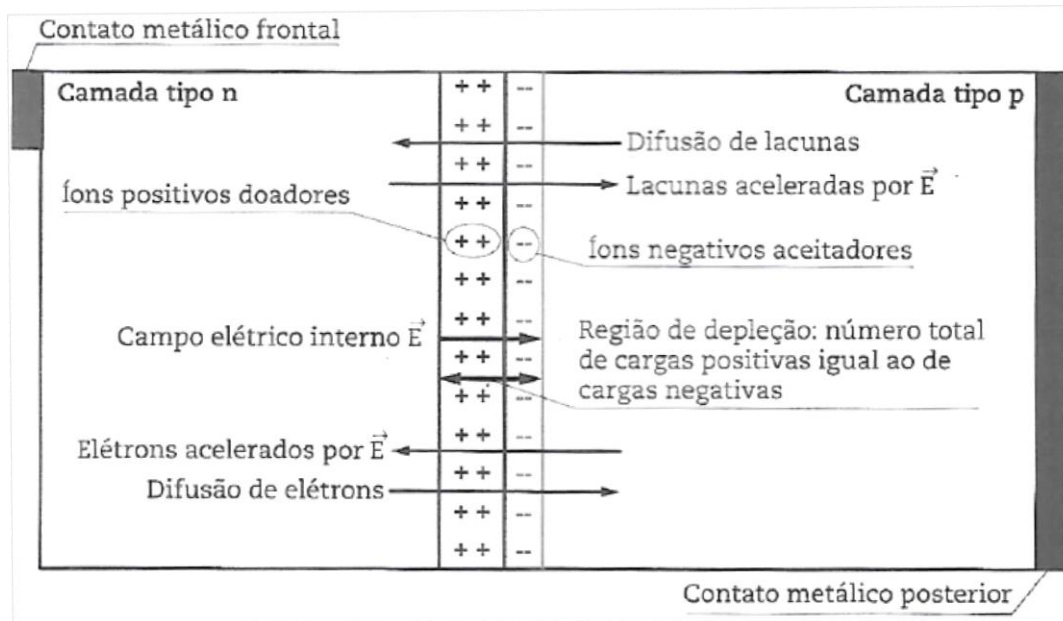
Mesmo com o surgimento de cargas elétricas após a incidência de fótons nesses dispositivos, o aproveitamento dessas cargas elétricas não é trivial, elas se recombinam rapidamente, impedindo sua utilização. Há, portanto, a necessidade de fazer uma série de tratamentos físico-químicos no material para que este possa se transformar em dispositivos fotovoltaicos capazes de gerar eletricidade de forma eficiente. Para que as cargas liberadas pela luz possam gerar energia elétrica, é preciso que os elétrons circulem, de forma que é necessário extraí-los do material semicondutor, fazendo com que passem por um circuito elétrico externo, caso contrário, os elétrons liberados retornariam ao seu estado inicial na periferia do átomo. Essa extração de cargas se consolida por meio de uma junção criada voluntariamente pelo semicondutor, com o objetivo de gerar um campo elétrico no interior do material. Esse campo interno, por sua vez, se encarregará de separar as cargas negativas das positivas. Isso é possível graças ao processo conhecido como dopagem do semicondutor. A dopagem eletrônica, ou simplesmente dopagem, é o processo de adição de impurezas químicas (usualmente boro ou fósforo) em um elemento químico semicondutor puro

(germânio ou silício, notadamente este último), com finalidade de dotá-lo de propriedades de semicondução. A adição de boro, elemento trivalente, provoca o aparecimento de cargas positivas (ou “lacunas”), enquanto que a adição de fósforo, elemento pentavalente, provoca o aparecimento de cargas negativas (elétrons livres) (ZILLE *et al.* 2012).

O semicondutor intrínseco, ou seja, no seu estado puro, é dopado para a formação da região tipo p. Adiciona-se material dopante do tipo receptor, o que leva deficiência de elétrons, conhecida como “lacuna” ou “buracos”, na banda de valência, caracterizando uma região com uma densidade de carga positiva. Posteriormente, para formação da região tipo n, é adicionado o material dopante do tipo doador, o que ocasiona o aparecimento de elétrons livres. Entre as regiões do tipo p e tipo n formam-se a junção p-n, que tem como principal função criar um campo elétrico interno que é responsável pela consolidação da conversão fotovoltaica (TORRES, 2012).

Com a dopagem, a região n fica com uma alta concentração de elétrons, que tendem a migrar para a região p. Concomitantemente, na região p, a qual está com alta concentração de lacunas, haverá o fluxo destas para a região n. Porém, quando o elétron caminha do lado n para o lado p, deixa para trás um íon doador positivo no lado n, exatamente na junção. De forma similar, quando uma lacuna deixa o lado p para o lado n, deixa para trás um íon aceitador negativo no lado p. Se um grande número de elétrons e lacunas trafegam através da junção, um grande número de cargas, íons positivos e negativo fixos, é deixado nos limites da junção. Esses íons fixados, como resultado da lei de Gauss, produzem um campo elétrico que se origina nos íons positivos e termina nos íons negativos. Consequentemente, o número de íons positivos no lado n da junção deve ser igual ao número de íons negativos do lado p da junção (ZILLE *et al.* 2012). Então, na junção p-n, surge um campo elétrico em razão dessa difusão de elétrons e lacunas, o qual se opõe à difusão original das cargas, criando uma barreira de potencial numa região de transição entre as camadas chamadas de **região de depleção** (em reconhecimento à diminuição da mobilidade dos portadores de carga na região). Nessa situação, a corrente associada ao fluxo de elétrons e lacunas compensa a corrente original pelo campo elétrico, levando o semicondutor a um estado de equilíbrio elétrico, tal, como mostra a figura 3.

Figura 3 Junção p-n com detalhe da região de depleção, da difusão e da ação do campo elétrico interno sob elétrons e lacunas.

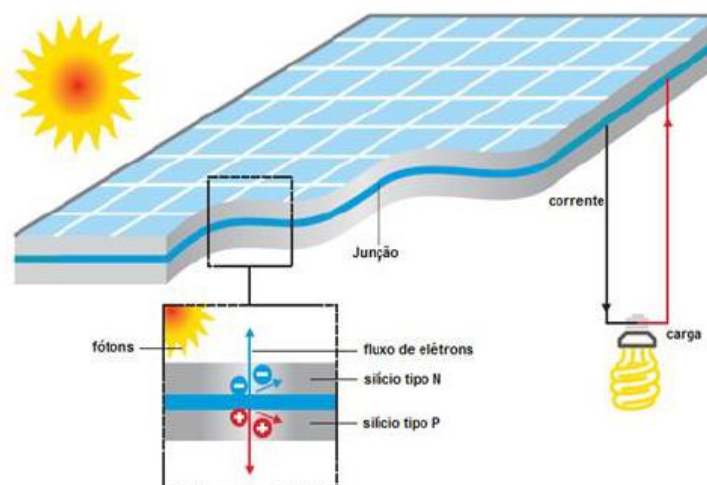


Fonte: ZILLE *et al.* 2012

Quando o semicondutor é iluminado, esse estado de equilíbrio é quebrado. Quando um elétron da banda de valência é atingido por um fóton, ele absorve a energia deste e, se essa energia for suficiente para libertá-lo de sua ligação química, ele passa para a banda de condução, criando um par elétron-lacuna. O campo elétrico criado anteriormente atrai o elétron para a região n ao mesmo tempo que a lacuna é atraída para a região p (ZILLE *et al.* 2012).

Com a incidência de mais fótons, mais pares elétron-lacuna são formados e separados pelo campo, ocorrendo assim, um desequilíbrio nas correntes da junção e o estabelecimento de uma diferença de potencial decorrente do acúmulo de portadores de carga em cada lado da junção (elétrons na região n e lacunas na região p). Se em cada lado da junção forem conectados terminais metálicos e estes forem interligados por um condutor, estabelece-se uma corrente elétrica chamada de fotocorrente, a qual estará presente enquanto houver radiação solar incidindo no semicondutor. A Figura 4 ilustra o processo de conversão fotovoltaica com o aproveitamento da corrente fotogerada (SWART, 2008).

Figura 4-Representação do processo de conversão fotovoltaica



Fonte: IEA (Agência Internacional de Energia)

Por tanto, o efeito fotovoltaico ocorre quando a célula é exposta à radiação solar e o aproveitamento desse efeito é consolidado por meio do campo elétrico da junção p-n e de um circuito elétrico externo. Se a célula não estiver conectada a nenhuma carga, aparecerá em seus terminais, quando iluminada, uma tensão chamada de tensão de circuito aberto (V_{OC}). Por outro lado, se a célula estiver conectada a uma carga, haverá circulação de corrente no circuito formado entre a carga e a célula. É possível representar a célula a partir de seus parâmetros elétricos de saída (tensão e corrente) em função de fatores que influenciam os parâmetros de entrada (irradiância e temperatura da célula), (SWART, 2008). As características elétricas mais importantes de um módulo fotovoltaico, assim como em qualquer gerador elétrico, são a potência nominal, a tensão e a corrente. O valor da máxima potência de um módulo sob as condições padrão de teste (ou STC, do inglês *Standard Test Conditions*) é fornecido pelo fabricante como informação da placa. As condições padrão de teste (ou condições de referência) são definidas para valores de 1.000 W/m^2 de irradiância, 25°C de temperatura de célula e $AM = 1,5$ para a massa de ar³. A máxima potência (P_{mp}) de um módulo fotovoltaico, dada em watt-pico (W_p), é atingida quando se obtém a corrente máxima de potência (I_{mp}) e tensão máxima de potência (V_{mp}). Outros parâmetros de suma importância são a corrente de curto-circuito (I_{SC} – *short circuit current*), obtida da

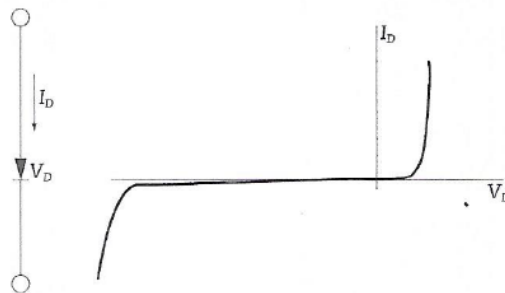
³ Massa de Ar se refere à quantidade de luz que tem que passar pela atmosfera terrestre antes que possa atingir a superfície da Terra, está relacionado com o ângulo do sol em relação a um ponto de referência sobre a terra.

aferição da corrente do módulo quando o mesmo está em curto-circuito, e a tensão de circuito aberto (V_{OC} – *open circuit voltage*), obtida da aferição da tensão do módulo quando o mesmo não apresenta carga (TEIXEIRA, 2003).

Circuito equivalente real e ideal

A junção $p-n$ do semiconductor pode ser representada como um diodo⁴, cuja curva característica é mostrada na figura 5. Nota-se que, no primeiro quadrante, quase não há fluxo de corrente para níveis de tensão baixos, mas que, a partir de certo valor, a corrente cresce rapidamente. Já no terceiro quadrante, que mostra o comportamento reversamente polarizado da junção, o fluxo de corrente é bloqueado até certo valor de tensão, a partir do qual há a destruição do componente, tornando-se condutivo (TEIXEIRA, 2003).

Figura 5-Representação da curva I-V da junção p-n da célula fotovoltaica



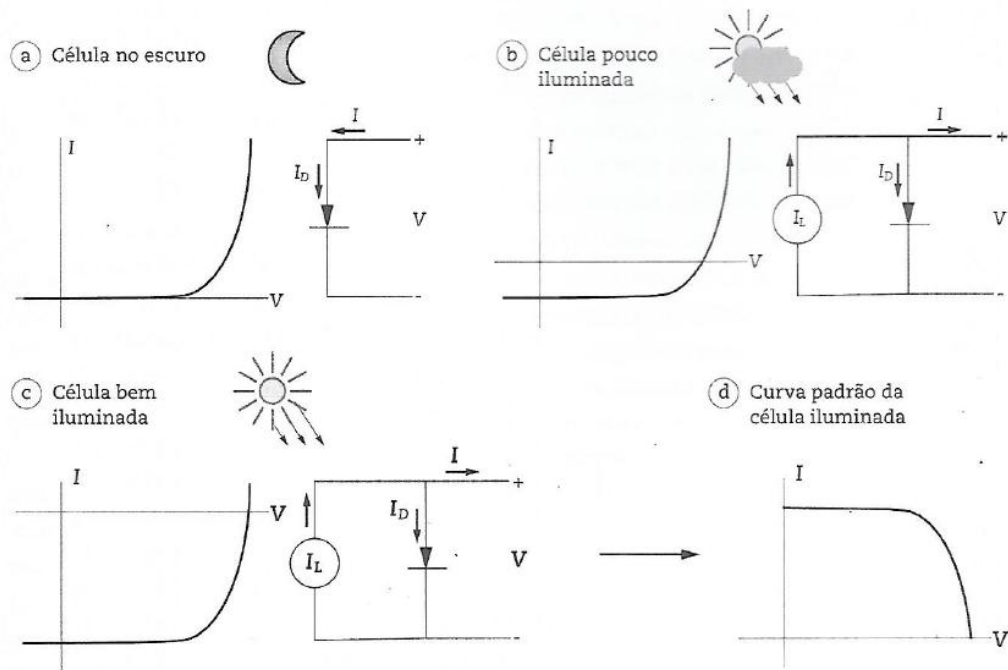
Fonte: TEIXEIRA, 2003

A curva corrente x tensão ($I - V$) da célula fotovoltaica é obtida por meio da superposição da corrente fotogerada com a curva do diodo, levando em conta apenas o primeiro quadrante da figura 6. No escuro, a célula tem as mesmas características elétricas de um diodo não polarizado, e uma corrente pequena flui pela junção quando a célula está conectada a uma carga (p. ex., uma bateria). À medida que a célula é iluminada, sua curva se desloca para ao quarto quadrante (quadrante de geração), pelo fato de o sentido da corrente agora ser inverso ao caso anterior. Quanto maior a intensidade da radiação solar, maior o

⁴ Componente eletrônico composto de um cristal semiconductor de silício ou germânio numa película cristalina cujas faces opostas são dopadas por diferentes materiais durante sua formação, o que causa a polarização.

deslocamento da curva. Convencionalmente, a curva da célula iluminada é espelhada no eixo de tensão. A figura 6 mostra os esboços da curva (I - V) nas situações descritas anteriormente, assim como os circuitos equivalentes para cada uma, detalhando a polaridade da tensão e o sentido da corrente para cada caso (ZILLE *et al.* 2012).

Figura 6-Curva característica corrente-tensão de uma célula de silício no escuro e iluminada



Fonte: ZILLE *et al.* 2012

A célula fotovoltaica ideal é uma fonte de corrente variável, em que a corrente fotogerada (I_L) varia de acordo com a mudança do nível de radiação no plano da célula e, em menor escala, com as mudanças de temperatura do dispositivo. Desse modo, é possível representar a célula a partir do circuito ideal mostrada na figura 7c (ZILLE *et al.* 2012).

Analisando-se o circuito anterior e utilizando-se a lei de Kirchhoff⁵, tem-se:

$$I = I_L - I_D \quad (2.3)$$

A corrente que flui através de um diodo, em função da tensão, é dada por:

⁵ A Lei de Kirchhoff, chamada de Lei dos Nós, se aplica aos pontos do circuito onde a corrente elétrica se divide. Ou seja, nos pontos de conexão entre três ou mais condutores, indica que a soma das correntes que chegam em um nó é igual a soma das correntes que saem, esta lei é consequência da conservação da carga elétrica, cuja soma algébrica das cargas existentes em um sistema fechado permanece constante.

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{mkT_C}\right) - 1 \right] \quad (2.4)$$

onde:

I_0 - corrente de saturação reversa do diodo no escuro (a saturação significa que não se podem obter mais portadores minoritários do que os termicamente gerados);

V - Tensão aplicada aos terminais do diodo;

e - Carga do elétron;

m - Fator de idealidade do diodo (entre 1 e 2 para o silício monocristalino);

k - Constante de Boltzmann;

T_C - Temperatura equivalente de operação da célula fotovoltaica. Sendo os valores de e e k iguais a $1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ e $1,381 \times 10^{-23} \text{J/K}$, respectivamente, e $T_C = 298,15 \text{ K}$ (25°C), o termo $V_t = kT_C/e$, conhecido como tensão térmica, é aproximadamente igual a 26 mV (FREITAS, 2008).

O aumento da temperatura de cada célula causa também um ligeiro aumento na corrente fotogerada I_L . Esse fato é representado pelo coeficiente de temperatura da corrente de curto-circuito. Em um diodo de junção p-n, a corrente reversa decorre do fluxo de elétrons do lado p para o lado n e das lacunas do lado n para o lado p . Por isso, a corrente reversa de saturação I_0 depende do coeficiente de difusão de elétrons e lacunas. Os portadores minoritários são termicamente gerados; logo, a corrente de saturação reversa é altamente sensível a mudanças de temperatura T_C . Na prática, a maioria dos dispositivos não exibe um coeficiente de idealidade do diodo (m) igual à unidade, isto é, existe um caminho em paralelo à fonte de corrente permitindo a passagem de um fluxo de corrente. É comum adicionar um parâmetro m para levar em conta essas não idealidades. O fator de idealidade do diodo pode ser um parâmetro variável (em vez de ser fixado em 1 ou 2), constituindo o Modelo de Único Diodo, ou então podem ser introduzidos dois diodos em paralelo com diferentes valores de corrente de saturação (um com $m = 1$, outro com $m = 2$), representando o Modelo de Dois Diodos (ZILLE *et al.* 2012).

Substituindo a equação (2.3) na (2.4), a corrente da célula fotovoltaica, em função da tensão, pode ser expressa por:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{mkT_C}\right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

A partir da análise da equação (2.3), verifica-se que, na condição de curto-circuito ($V = 0$), a corrente do dispositivo é a própria corrente fotogerada I_L , e na condição de circuito aberto ($I = 0$), ocorre uma autopolarização com uma tensão tal que a corrente de polarização equilibra a fotocorrente. Trata-se da chamada tensão de circuito aberto (V_{OC}), que pode ser calculada pela Eq.2.6.

$$V_{OC} = \frac{mkT_C}{e} \ln\left(1 + \frac{I_L}{I_0}\right) \quad (2.6)$$

No caso de $I_L \gg I_0$, tem-se que:

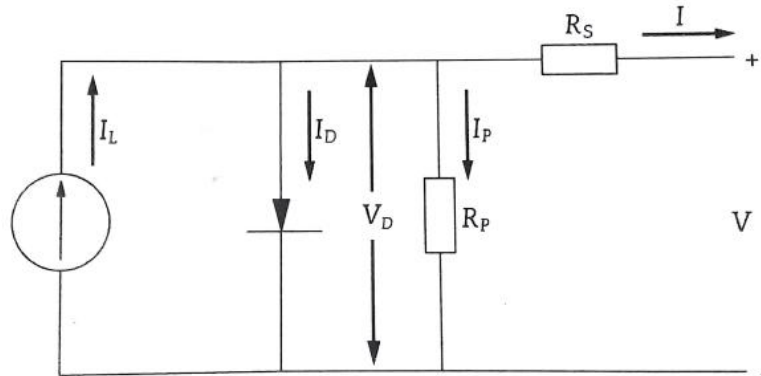
$$V_{OC} = \frac{mkT_C}{e} \ln\left(\frac{I_L}{I_0}\right) \quad (2.7)$$

É importante ressaltar que V_{OC} aumenta com o logaritmo de I_L ; portanto, com o logaritmo natural da intensidade de iluminação. Por outro lado, decresce com a temperatura, apesar do termo $\frac{mkT_C}{e}$. De fato, a corrente de saturação I_0 depende da superfície do diodo (quer dizer, da dependência da temperatura compensa demasiadamente o termo mkT_C/e). Portanto, a tensão de circuito aberto diminui com a temperatura, o que é importante no dimensionamento do sistema. Percebemos que o circuito equivalente ideal não leva em conta as perdas resistivas decorrentes do processo de conversão fotovoltaica e transmissão da corrente fotogerada. Por outro lado, temos o circuito equivalente real onde estes fatores citados acima serão levados em consideração.

Em uma célula real existem alguns fatores, citados anteriormente, que levam à alteração do circuito equivalente, resultando em um circuito mais complexo e completo, tal como mostrado na figura 7, na qual são incluídas uma resistência em série e uma resistência em paralelo para levar em consideração as perdas internas. Esse circuito equivalente também é válido para módulos fotovoltaicos, onde R_S representa a resistência série que leva em conta as perdas ôhmicas do material, das metalizações e do contato metal-semicondutor, e R_P representa a resistência paralelo que procede das correntes parasitas entre as partes superior e

inferior da célula, pela borda sobretudo, e do interior do material por irregularidades ou impurezas (FREITAS, 2008).

Figura 7-Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: Fonte: (ZILLE *et al.* 2012).

Ao se repetir análise feita para o circuito equivalente anterior, obtém-se a equação 2.8:

$$I = I_L - I_D - I_P \quad (2.8)$$

A parcela de corrente I_P representa as correntes de fuga. Assim, a equação 3.6, depois de efetuadas as devidas substituições, pode ser escrita como:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_D}{mkT_C}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_P} \quad (2.9)$$

No caso de um módulo fotovoltaico com apenas células conectadas em série, à equação 2.9 acrescenta-se um termo que representa o número de células conectadas em série, resultando na equação:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{e(V + IR_S)}{N_S mkT_C}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_P} \quad (2.10)$$

Aqui, V , R , R_S e R_P representam a tensão de saída, as resistências série e paralelo totais do módulo, e N_S é o número de células associadas em série.

Curva corrente *versus* tensão (I-V) e ponto de máxima potência

Do ponto de vista prático, para um profissional na área de sistemas fotovoltaicos, a parte útil da curva $I-V$ é a que produz energia elétrica. Com relação à figura 10, percebe-se

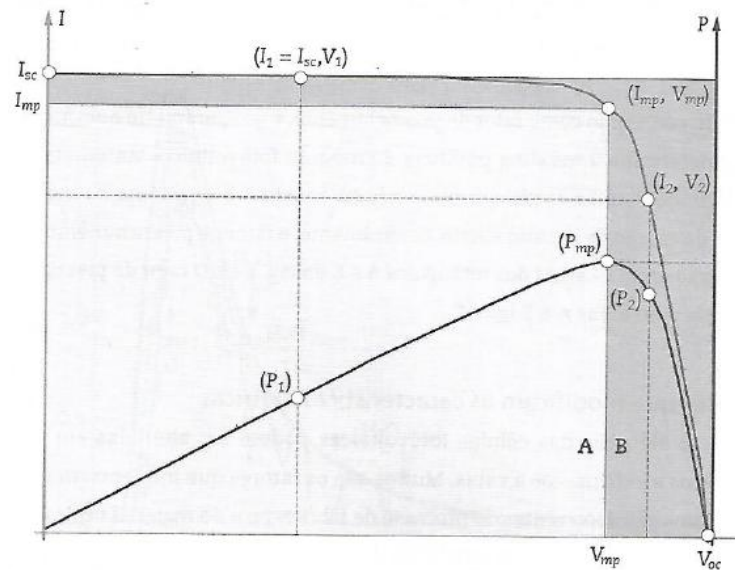
que isso não ocorre no ponto de tensão de circuito aberto ($0, V_{OC}$) e nem no ponto de curto-circuito ($I_{SC}, 0$). Nesses pontos não se produz nenhuma energia, uma vez que a potência instantânea obtida a partir do produto entre corrente e tensão é igual a zero. A curva característica corrente *versus* tensão é definida como a “representação dos valores da corrente de saída de um conversor fotovoltaico em função da tensão, para condições preestabelecidas de temperatura e radiação”. A partir da curva $I - V$, determinada sob as condições padrão de teste (ou STC), de uma célula ou módulo fotovoltaico, obtêm-se os principais parâmetros que determinam sua qualidade e desempenho, entre eles I_{SC} , V_{OC} , V_{mp} , I_{mp} e P_{mp} (ZILLE *et al.* 2012).

I - Tensão de circuito aberto, V_{OC} : tensão que se forma entre os terminais do diodo do circuito equivalente da figura 8 quando toda corrente fotogerada circula por esse diodo. Ou seja, é a tensão formada quando não há carga conectada à célula. Para células de silício monocristalino, esse valor fica na faixa de $0,5\text{ V} - 0,7\text{V}$, enquanto aquelas de silício amorfo ficam em torno de $0,6\text{V} - 0,9\text{V}$.

II - Corrente de curto-circuito, I_{SC} : medida do fluxo de portadores de corrente quando os terminais da célula estão no mesmo nível de referência, ou seja, curto-circuitados.

III - Ponto de máxima potência, P_{mp} : ponto da curva (I_{mp}, P_{mp}) onde ocorre a máxima transferência de potência da célula para a carga, e se localiza no “joelho” da curva $I - V$. A figura 8 mostra uma curva ($I - V$) genérica e curva de potência ($P - V$) para o mesmo nível de irradiação. Esta última é traçada fazendo-se a multiplicação ponto a ponto dos valores de tensão e corrente equivalente à curva ($I - V$) (ZILLE *et al.* 2012).

Figura 8-Curva- I –V, curva de potência (P –V) de um sistema fotovoltaico



Fonte: (ZILLE *et al.* 2012)

A partir da análise da figura 8, percebe-se que, apesar dos valores de V_{OC} e I_{SC} serem os mais significativos em termos de magnitudes de tensão e corrente, não há transferência de potência quando a célula trabalha nesse ponto, uma vez que, em circuito aberto, não há carga conectada ao sistema e, em curto-circuito, a tensão entre os terminais da célula é zero (ZILLE *et al.* 2012).

A máxima transferência de potência ocorre em razão de uma única combinação de valores de tensão e corrente. Esse ponto é localizado no “joelho” da curva e possui valores típicos, chamados de V_{mp} e I_{mp} . Esses valores podem ser estimados tendo como base V_{OC} e I_{SC} (figura 8), conforme mostram as equações 2.11 e 2.12.

$$V_{mp} \approx (0,75 - 0,90). V_{OC} \quad (2.11)$$

$$I_{mp} \approx (0,85 - 0,90). I_{OC} \quad (2.12)$$

Contudo, é importante ressaltar que uma célula ou módulo fotovoltaico pode trabalhar em uma potência baixa; por exemplo, a uma inferior a V_{mp} , ponto (I_1, V_1) ou trabalhar a uma corrente inferior a I_{mp} , ponto (I_2, V_2) (ZILLE *et al.* 2012).

Outro conceito importante adotado na concepção da tecnologia fotovoltaica e que deve ser esclarecido diz respeito ao fator de forma FF (do inglês *fill factor*). Essa figura 8 de mérito define o quão próximo à curva $I - V$ está da idealidade, ou seja, do retângulo formado com vértices em V_{OC} e I_{SC} . O FF depende muito das características de construção da célula (tipo de

semicondutores, dopagem, conexão etc.), uma vez que este fator é sensível às resistências série e paralelo da célula, as quais são as responsáveis por tornar a curva $I - V$ com características menos retangular. Valores típicos do FF são de 0,6 a 0,85 para células monocristalinas e de 0,5 a 0,6 para as de silício amorfo (FREITAS, 2008). Matematicamente, esse fator é dado pela Eq. 2.13.

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} \quad (2.13)$$

Assim o FF , também conhecido como fator de preenchimento, é um parâmetro que, juntamente com V_{OC} e I_{SC} , determina máxima potência do módulo fotovoltaico. Matematicamente é definido como a razão entre a potência máxima e o produto da corrente de curto-circuito e da tensão de circuito aberto. Graficamente, o fator de forma de preenchimento pode ser definido pela razão entre as áreas dos retângulos A e B da figura 8. O fator de preenchimento ideal seria aquele com área A e B iguais. O fator de forma é chamado assim por causa da relação com a curva característica. Quanto maior for o valor de FF mais a curva se aproxima de retângulo. Idealmente se o ponto da potência máxima fosse igual ao produto ($V_{OC} \cdot I_{SC}$) o valor de FF seria igual a 1 e a curva exatamente um retângulo. Fisicamente o fator de forma é a variação das características elétricas I e V em função das perdas resistivas das ligações em série e paralelo das células, por diversos motivos, principalmente por causa da temperatura de operação das células e da irradiação solar (FREITAS, 2008).

Eficiência de conversão

Como qualquer fonte de energia elétrica, as células fotovoltaicas não têm a capacidade de transformar toda a energia incidente em eletricidade, por causa das limitações da tecnologia e das perdas inerentes ao processo (FREITAS, 2008).

A eficiência de conversão de energia é o parâmetro mais importante das células fotovoltaicas e é definida como a razão entre a máxima potência elétrica gerada pelo dispositivo e a potência nele incidente. Esse último parâmetro depende exclusivamente do espectro da luz incidente no plano da célula. Algebricamente, a eficiência pode ser vista como:

$$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{incidente}} = \frac{FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}}{P_{incidente}} \quad (2.14)$$

Os painéis fotovoltaicos são classificados por sua energia, relacionada à transformação da energia luminosa em energia elétrica.

3. TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA CONSIDERANDO UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Gérard Vergnaud é um matemático, filósofo e psicólogo francês. Formado em Genebra, professor emérito do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS), em Paris. Vergnaud é pesquisador em didática da matemática, tendo elaborado a “Teoria dos Campos Conceituais” (PLAISANCE, VERGNAUD, 2003).

A teoria de campos conceituais de Gerard Vergnaud é uma teoria psicológica de conceitos, uma teoria cognitiva do processo de conceitualização do real. (VERGNAUD, 1990). Tal teoria estuda a evolução dos conceitos cotidianos para os conceitos científicos. O ser humano quando enfrenta a realidade, interpreta-a por meio de seus significados e suas representações. O ensino e a aprendizagem de ciências buscam aproximar esses significados e representações daqueles compartilhados pela comunidade científica.

Para Vergnaud (1990), o conhecimento está organizado em campos conceituais. O sujeito se apropria destes campos conceituais ao longo de muito tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem. Ele define campo conceitual como um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente relacionados durante o processo de aquisição.

O conceito de campo conceitual é, então, introduzido como a unidade de estudo adequada para dar sentido às dificuldades observadas nesse processo. Esse conceito é definido como um conjunto de situações cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas (VERGNAUD, 1990, p. 146). As situações⁶ referidas nesta definição são aquelas que dão sentido aos conceitos, ou seja, um conceito torna-se significativo para o sujeito por meio de uma variedade de situações e diferentes aspectos de um mesmo conceito estão envolvidos em distintas situações. Por outro lado, uma situação não pode ser analisada por intermédio de um só conceito. Por isso, deve-se falar em campos conceituais, ao invés de situações isoladas ou conceitos isolados (VERGNAUD, 1994).

Dessa forma,

um argumento essencial a favor do estudo de campos conceituais, mais que de conceitos isolados, é que um conceito ganha sentido em situações de grande variedade; que não se analisa uma situação graças a um conceito único, mas graças a um conjunto deles; e que os mesmos aspectos do mesmo conceito não são adequados para tratar diferentes situações ou para diferentes procedimentos de tratamento (PLAISANCE, VERGNAUD, 2003. p.76).

Assim como as situações dão sentido aos conceitos, os esquemas dão sentido às situações. São os esquemas evocados no sujeito por uma situação que constituem o sentido dessa situação para esse sujeito. Esquema é uma organização invariante da conduta para uma determinada classe de situações (PLAISANCE, VERGNAUD, 2003).

Segundo (GRINGS, *et. al*, 2006), os conceitos-chave da teoria dos campos conceituais são, além do próprio conceito de campo conceitual, os conceitos de esquema, situação,

⁶ O conceito de situação empregado por Vergnaud não é o de situação didática, mas sim o de tarefa, sendo que toda situação complexa pode ser analisada como uma combinação de tarefas, para as quais é importante conhecer suas naturezas e dificuldades próprias.

invariante operatório (teorema-em-ação ou conceito-em-ação), e a sua concepção de conceito. Destes componentes, os mais importantes são os invariantes operatórios, cujas principais categorias são os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação, pois eles é que fazem a articulação entre teoria e prática, constituindo a base conceitual, em grande parte implícita, que permite obter informação apropriada e, a partir dela e dos objetivos, inferir as regras de ação mais pertinentes para abordar as situações. Teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente.

A escolha pela teoria de Vergnaud se justifica pelo fato de que o fenômeno que apresentado (efeito fotovoltaico) não faz parte dos conteúdos estudados no ensino médio, sendo abordado como conteúdo complementar. Por tanto será trabalhado de maneira que os alunos compreendam bem os conceitos envolvidos nesse fenômeno. Assim, a teoria dos campos conceituais supõe que a conceitualização é a essência do desenvolvimento cognitivo (ibid).

Os conceitos de campo conceitual, conceito, situações, esquema, invariante operatório (teorema-em-ação ou conceito-em-ação), são a espinha dorsal da teoria de Vergnaud. Dessa forma, procuramos discutir aspectos destes conceitos nas seções seguintes.

3.1. Campos Conceituais

Campo conceitual é também definido por Vergnaud como um conjunto de problemas e situações cujo tratamento requer conceitos, procedimentos e representações de tipos diferentes, mas intimamente relacionados (MOREIRA, 2002, p.3). Um campo conceitual pode ser uma unidade de estudo, cujas situações, conceitos e procedimentos podem ser tratados de forma independente de outros conjuntos. Um campo conceitual é um conjunto de conteúdos, mas não somente de conteúdos que estão fortemente interligados entre si, e sim que podem estar relacionados com outros campos conceituais.

3.2. Conceitos

Na teoria de Campos conceituais, Vergnaud define conceito como um triplete de três conjuntos, ou seja, $C = (S, I, R)$. Onde o conjunto S é um grupo de situações que dão sentido ao conceito. O conjunto I tem como elementos os invariantes (objetos, propriedades e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto. Enquanto R é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) que podem ser usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com estas.

O primeiro conjunto de situações é o referente ao conceito, o segundo de invariantes operatórios é o significado do conceito, enquanto o terceiro de representações simbólicas é o significante (VERGNAUD, 2011).

Uma definição pragmática poderia considerar um conceito como um conjunto de invariantes utilizáveis na ação, mas esta definição implica também um conjunto de situações que constituem o referente e um conjunto de esquemas⁷ postos em ação pelos sujeitos nessas situações. Daí o triplete (S, R, I) onde, em termos psicológicos, S é a realidade e (I, R) a representação que pode ser considerada como dois aspectos interagentes do pensamento, o significado (I) e o significante (R) (MOREIRA, 2002, p. 4).

Dessa forma, isso implica que para estudar o desenvolvimento e uso de um conceito, ao longo da aprendizagem ou de sua utilização, é necessário considerar esses três conjuntos simultaneamente. Não há, em geral, correspondência biunívoca entre significantes e significados, nem entre invariantes e situações; não se pode, portanto, reduzir o significado nem aos significantes nem às situações (VERGNAUD 1990). De acordo com a Teoria de Campos Conceituais, um único conceito não se refere a um só tipo de situação e uma única situação não pode ser analisada com um só conceito. Assim, neste trabalho, procuramos inserir os alunos em diversas situações para explorar diversos conceitos científicos envolvidos nos fenômenos físicos.

3.3. Situações

⁷ A organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações.

No contexto da teoria de Campos conceituais o conceito de situação não é o de situação didática, mas sim o de tarefa, de tal forma que toda situação complexa pode ser vista como um conjunto de tarefas, as quais apresentam dificuldades próprias, que são importantes conhecer. A ideia de campo conceitual levou ao conceito de conceito como sendo definido através do referente, do significado e do significante, mas são as situações que dão sentido ao conceito (VERGNAUD, 2011).

Como são as situações que dão sentido aos conceitos, é natural definir campo conceitual como sendo, sobretudo, um conjunto de situações. Um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações (VERGNAUD, 1994), mas o sentido não está nas situações em si mesmas, assim como não está nas palavras nem nos símbolos (VERGNAUD, 1990). O sentido é uma relação do sujeito com situações e significantes.

3.4. Esquemas

Para Vergnaud (1990, p.136), esquema é uma organização invariante do comportamento para uma classe de situações dada. É nos esquemas que estão os conhecimentos-em-ação do sujeito, isto é, os elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória.

Esquema é um conceito introduzido por Piaget para dar conta de formas de organização, tanto das habilidades sensório-motoras como das habilidades intelectuais. Os esquemas referem-se a situações em que o sujeito tem condições de dar conta imediatamente ou situações em que o sujeito necessita de um tempo para reflexão, para solucionar, ou não, a situação (PLAISANCE, VERGANUD, 2003, p. 66).

Vergnaud considera que os esquemas necessariamente se referem a situações, a tal ponto que dever-se-ia falar em interação esquema-situação ao invés de interação sujeito-objeto. Esquemas têm como ingredientes essenciais aquilo que Vergnaud chama de invariantes operatórios, i.e., conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que constituem a parte conceitual dos esquemas, i.e., os conhecimentos contidos nos esquemas. Teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento tida como pertinente (MOREIRA, 2002). Esse conhecimento é principalmente implícito e o aprendiz tem dificuldades em explicá-lo ou expressá-lo, mas isso não significa que tal conhecimento não possa ser explicitado. É através do processo de explicitação do

conhecimento implícito, aí o professor tem um papel mediador fundamental, que os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação podem tornar-se verdadeiros teoremas e conceitos científicos.

3.5. Invariantes operatórios

Os conhecimentos contidos em um esquema são denominados conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. Esses também podem ser chamados pela expressão mais abrangente, invariantes operatórios. Esquema é o que há de invariante na organização da conduta frente a uma certa classe de situações, teoremas-em-ação e conceitos-em-ação são invariantes operacionais, logo são componentes essenciais dos esquemas e determinam as diferenças entre eles (LIMA, SANTOS, 2015).

Teorema-em-ação é uma proposição tida como verdadeira sobre o real. Conceito-em-ação é um objeto, um predicado, ou uma categoria de pensamento tida como pertinente, relevante (MOREIRA, 2002).

Assim, o conhecimento está organizado em campos conceituais que são grandes conjuntos de situações, cujo progressivo domínio requer o conhecimento de vários conceitos. Por sua vez, os conceitos são constituídos por conjuntos de situações, conjuntos de invariantes operatórios e conjuntos de representações simbólicas. Um conceito só tem significado através de uma variedade de situações. Os esquemas ou as ações e sua organização, quando acionados pelo sujeito, dão significados a uma situação para este indivíduo. Interpretamos a conversão da energia na Física como sendo um campo conceitual repleto de situações e diversidade de conceitos (energia cinética, energia potencial, energia térmica, energia eletromagnética e etc.).

3.6. O professor e o ensino na perspectiva de Vergnaud

Um determinado campo conceitual, como o da conversão da energia, por exemplo, pode ser progressivamente dominado por um aprendiz, mas o ensino, através da ação mediadora do professor, é essencial para isso. Professores são mediadores. Sua tarefa é a de ajudar os alunos a desenvolver seu repertório de esquemas e representações (VERGNAUD, 1998). Desenvolvendo novos esquemas, os alunos tornam-se capazes de enfrentar situações cada vez mais complexas. Novos esquemas não podem ser desenvolvidos sem novos

invariantes operacionais. A linguagem e os símbolos são importantes nesse processo. Os professores usam palavras e sentenças para explicar, formular questões, selecionar informações, propor metas, expectativas, regras e planos. Contudo, sua ação mediadora mais importante é a de prover situações (de aprendizagem) frutíferas para os estudantes (MOREIRA, 2002). Tais situações devem ser cuidadosamente escolhidas, ordenadas, diversificadas, apresentadas no momento certo e dentro da zona de desenvolvimento proximal⁸ do aluno. Sem dúvida, uma tarefa difícil, mas essencial.

O ensino de ciências tradicionalmente envolve três aspectos principais profundamente interrelacionados: o conhecimento teórico (conceitos, leis, princípios, equações), as práticas de laboratório (experimentos, demonstrações, procedimentos científicos) e a resolução de problemas (abertos, fechados, como investigação, de papel e lápis). Obviamente, qualquer professor experiente sabe que essa distinção é artificial: o conhecimento científico é produzido através da interação entre o domínio conceitual e o metodológico. Porém, na perspectiva de Vergnaud esta interdependência entre a teoria e a prática fica muito clara (MOREIRA, 2002).

Ao longo deste texto, foram comentadas que são as situações que dão sentido aos conceitos; um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações, os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que encontram e progressivamente, dominam. Embora o conceito de situação tenha, na teoria dos campos conceituais, o significado de tarefa, podemos supor que no âmbito das ciências situação significa também problema. Ou podemos falar em situações e problemas como faz o próprio (VERGNAUD 1994, p.42) ao dizer que “a aquisição de conhecimento é moldada pelas situações e problemas previamente dominados e, portanto, o conhecimento do sujeito tem muitos aspectos locais”.

Isso significa que a resolução de problemas ou as situações de resolução de problemas são essenciais para a conceitualização, mas, como chama atenção Vergnaud (1994, p. 42) “um problema não é um problema para um indivíduo a menos que ele ou ela tenha conceitos que o/a tornem capaz de considerá-lo como um problema para si mesmo”. Ou seja, há uma relação dialética e cíclica entre a conceitualização e a resolução de problemas. Para Vergnaud, a

⁸ Conceito elaborado por Vigotsky, que define a distância entre o nível de desenvolvimento atual, determinado pela capacidade de resolver um problema sem ajuda, e sua gama de possibilidades, determinado através de resolução de um problema sob a orientação de um adulto ou em colaboração com outro companheiro (LIMA, e SANTOS, 2015).

problematização vai muito além da abstração de regularidades do mundo observável. Quando uma classe de problemas é resolvida por um indivíduo (o que significa que ela ou ele desenvolve um esquema eficiente para lidar com todos ou quase todos os problemas dessa classe), o caráter problemático dessa classe específica desaparece (ibidi). Mas essa competência desenvolvida pelo indivíduo o habilita a reconhecer ou considerar novos problemas para si mesmo; trata-se então, de um processo cíclico.

A teoria dos campos conceituais de Vergnaud por ser uma teoria psicológica de conceitos, na qual a conceitualização é considerada a pedra angular da cognição, acreditamos ser uma metodologia que está de acordo com a proposta do presente trabalho. Neste trabalho o campo conceitual estudado da conversão da energia no qual foram trabalhado conceito de geração de energia elétrica, geradores, receptores, tensão, corrente, elementos de circuito, transformações energéticas e o efeito fotovoltaico. Foram promovidas situações para que os alunos trabalhassem de forma investigativa os conceitos relacionados a conversão da energia contida na radiação luminosa para energia elétrica e as perdas envolvidas durante o processo. Com estas situações os alunos ampliaram seu repertório de esquemas (na visão de Vergnaud) na busca de conhecimento e os aplicaram durante a atividade experimental.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo descreveremos as estratégias utilizadas para realização deste trabalho, descrevendo o processo de elaboração das Sequencias de Ensino Investigativas (SEIs), os instrumentos de coleta de dados e as ferramentas de avaliação.

A pesquisa desenvolveu-se em cinco encontros formais, cada encontro com duração de 90 minutos (horários duplos) no turno vespertino entre os meses de novembro e dezembro de 2018. Chamamos de “encontro formal” o encontro específico para aplicação das sequências de ensino investigativas. Além dos encontros formais, os alunos utilizavam os “encontros informais” para um bate papo mais leve e tirar algumas dúvidas a respeito das atividades envolvidos.

Para alcançar nossos objetivos, organizamos as aulas (os encontros) de maneira compatível com os referenciais teóricos, o que não é tarefa fácil, pois a sala de aula é um ambiente muito dinâmico e por isso necessita que as aulas sejam bem planejadas. Alguns pontos são importantes para entender todo o processo. O primeiro, no capítulo 3, descrevemos a Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud como referencial teórico, uma teoria cognitiva do processo de conceitualização do real que estuda a evolução dos conceitos cotidianos para os conceitos científicos, onde o ser humano, quando enfrenta a realidade, interpreta-a por meio de seus significados e suas representações. O ensino e a aprendizagem de Física buscam aproximar esses significados e representações daqueles compartilhados pela comunidade científica. Nesse sentido a teoria de Campos Conceituais atende bem nossos anseios para o estudo teórico dos conceitos envolvidos no efeito fotovoltaico. O segundo ponto importante, é a maneira como as aulas são organizadas para conduzir o estudo do efeito fotovoltaico, para isso, utilizamos as SEIs que estão descritas na seção 4.2. As SEIs são maneiras organizadas de promover o ensino e que visam a alfabetização científica dos alunos. questionários de forma aberta foram utilizados como instrumento de coleta de dados. O último ponto, são as ferramentas de avaliação, a taxonomia SOLO para analisar os questionários e correção dos mapas conceituais do ponto de vista da Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud.

Nas seções seguintes serão descritas, a importância do estudo que visa a alfabetização científica dos alunos, assim como as etapas de elaboração das SEIs e as ferramentas de avaliação.

4.1. Ensino e a importância da alfabetização científica

Um dos objetivos deste trabalho é promover a alfabetização científica dos alunos, assim descreveremos um pouco a respeito do tema. O conceito de alfabetização científica deriva originalmente do termo inglês *scientific literacy* e foi utilizado pela primeira vez em 1958, por Paul Hurd, estudioso do currículo das Ciências. O autor defende a necessidade de aulas de Ciências que ensinem o que está no cotidiano dos alunos; salienta que, uma vez que a sociedade depende dos conhecimentos cientificamente construídos, é preciso que esta mesma sociedade saiba mais sobre as Ciências e seus empreendimentos (SASSERON, CARVALHO, 2011).

Segundo (CHASSOT, 2018), a alfabetização científica pode ser considerada como uma das dimensões para potencializar alternativas que privilegiam uma educação mais comprometida. A ciência é uma linguagem; assim, ser alfabetizado cientificamente é saber ler a linguagem em que está escrita a natureza.

A ciência é considerada como uma linguagem construída por homens e mulheres para explicar o nosso mundo natural. Assim, compreendermos essa linguagem (da ciência) como entendemos algo escrito numa língua que conhecemos (por exemplo, quando se entende um texto escrito em português). Por isso, quando discutimos alfabetização científica nesse trabalho, nos referimos na necessidade de considerá-la como “o conjunto de conhecimentos” que facilitariam aos nossos alunos fazer uma leitura do mundo onde vivem.

Dessa forma é importante destacar a importância da alfabetização científica para que os alunos desenvolvam a linguagem científica.

A preocupação com a formação geral dos estudantes demanda estender estas fronteiras: não basta mais que os alunos saibam apenas certos conteúdos escolares; é preciso formá-los para que sejam capazes de conhecer esses conteúdos, reconhecê-los em seu cotidiano, construir novos conhecimentos a partir de sua vivência e utilizá-los em situações com as quais possam se defrontar ao longo de sua vida. A educação escolar deixa de ter a obrigação de explorar apenas os assuntos de cada disciplina e precisa formar os alunos para viver em sociedade (SASSERON, CARVALHO, 2011).

Seria desejável que os alfabetizados cientificamente não apenas tivessem facilitada a leitura do mundo em que vivem, mas entendessem as necessidades de transformá-lo e, preferencialmente, transformá-lo em algo melhor. Nesse sentido, entendemos que o ensino de Física deve ser para todos, e não mais só para aqueles que tenham aptidão para essa disciplina.

Como docente, percebemos a curiosidade dos alunos e a necessidade em compreender os princípios básicos por trás das tecnologias disponíveis.

Sendo assim acredita-se que,

no caso da aprendizagem de Física, isso significa, sobretudo, a aquisição pelos alunos de novas práticas e linguagem, sem deixar de relacioná-las com as linguagens e práticas do cotidiano. A aprendizagem como enculturação ou alfabetização científica traz um novo olhar sobre os conteúdos e atividades trabalhados nas aulas de Física, abrangendo aspectos diversos da construção dos conhecimentos científicos, desde seu caráter de produção humana até a importância dos símbolos na construção dos conceitos científicos (CAPECCHI; CARVALHO, 2004).

Segundo Sasseron e Carvalho (2011), a alfabetização científica deve desenvolver em uma pessoa qualquer a capacidade de organizar seu pensamento de maneira lógica, além de auxiliar na construção de uma consciência mais crítica em relação ao mundo que a cerca.

De modo prático, a alfabetização científica visa dar ao estudante condições de entender o processo pelo qual os conhecimentos científicos são formulados e validados. Para tal, é necessário desenvolver no aluno habilidades, verificadas por indicadores tais como: seriação de informações, organização de informações, classificação de informações, levantamento de hipóteses, teste de hipóteses, justificativa, previsão, explicação e argumentação. Essas habilidades têm maior chance de ocorrer em sala de aula ao dar aos alunos a oportunidade de acompanhar e interpretar as etapas de um problema. Ou seja, prioriza não apenas a aprendizagem de conteúdo, mas estimula o raciocínio crítico a respeito do processo de produção do conhecimento. E considera a resolução de problemas, o pensar científico, o uso das múltiplas linguagens e da argumentação como habilidade científica e como forma de ensinar. Estes três indicadores: justificativa, explicação e previsão estão fortemente imbricados entre si, e a completude da análise de um problema se dá quando é possível construir afirmações que mostram relações entre eles, pois, desse modo, têm-se elaborada uma ideia capaz de estabelecer um padrão de comportamento que pode ser estendido a outras situações. Além disso, essa ideia, se bem estruturada, deve permitir que se percebam as relações existentes entre os fenômenos do mundo natural e as ações humanas sobre ele. Caso isso ocorra, estaremos diante de outra habilidade importante para o desenvolvimento da alfabetização científica, principalmente para a Física: a construção de modelo explicativo capaz de tornar clara a compreensão que se tem de um problema qualquer assim, as relações podem ser construídas entre esse conhecimento e outras esferas da ação humana (SASSERON, CARVALHO, 2008).

Na próxima seção descreveremos os procedimentos de elaboração das SEIs

4.2. Procedimentos de construção de uma SEI para o estudo do efeito fotovoltaico

A pesquisa se desenvolveu por meio da construção e avaliação de Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) fundamentada nos trabalhos de CARVALHO (2013) e CARVALHO e SASSERON (2012), utilizadas como metodologia de ensino para o estudo do efeito fotovoltaico no ensino médio.

As Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) são uma maneira organizada de promover o ensino em sala de aula traduzindo fenômenos físicos em problemas interessantes para os alunos, possíveis de serem resolvidos e principalmente que suas resoluções encaminhem os estudantes na direção dos conhecimentos científicos. Para CARVALHO (2013),

uma sequência de ensino investigativa deve ter algumas atividades-chaves: na maioria das vezes a SEI inicia-se por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico desejado e ofereça condições para que pensem e trabalhem com variáveis relevantes do fenômeno científico central do conteúdo programático. Ainda segundo a autora, é preciso após a resolução do problema, uma atividade de sistematização por meio da leitura de um texto escrito quando os alunos podem novamente discutir. A terceira atividade importante é aquela que promova a contextualização do cotidiano dos alunos, pois, neste momento, eles podem sentir a importância da aplicação do conhecimento construído do ponto de vista social. Ao final do ciclo de atividades o professor deve propor atividades de avaliação.

Dessa forma, foram realizadas duas SEIs, uma chamada de “SEI 1-Energia na pista de skate”, que trabalha os conceitos de energia e conversões de energia estudados pelos alunos em séries anteriores, como forma de verificar os conhecimentos prévios e identificar possíveis invariantes operatórios a respeito do tema “conversão de energia” e uma segunda sequência chamada de “SEI 2-O efeito fotovoltaico”, onde novos conceitos referentes a energia e ao efeito fotovoltaico foram apresentados e estudados por meio de situações propostas.

Durante o desenvolvimento do trabalho, em cada encontro, os alunos foram divididos em grupos, sete no total. As atividades foram realizadas e avaliadas também por grupo. As SEIs estão disponíveis no Produto educacional.

A seguir, uma descrição das etapas de elaboração de Sequências de ensino Investigativas baseadas nos trabalhos de CARVALHO (2013).

Etapas na elaboração de uma SEI

O problema: nesta etapa é onde apresentamos a situação de investigação, o fenômeno físico, as variáveis envolvidas e as condições de realização da investigação. O problema pode ser teórico ou experimental.

Atividade de sistematização: após a solução do problema proposto, é importante a busca por mais informações sobre os conceitos envolvidos na situação do problema proposto, um texto ou um vídeo, para que os alunos se voltem para a discussão.

Em nossa pesquisa, nesta etapa, foram utilizados questionários com questões abertas (instrumento de coleta de dados) a respeito do problema proposto. Esses questionários estão descritos nos encontros formais no capítulo cinco.

Atividade de contextualização: nesta etapa, o conteúdo investigado é relacionado ao cotidiano dos estudantes, onde os alunos compartilham os conhecimentos adquiridos levando em consideração a importância da aplicação desses conhecimentos do ponto de vista social. Nessa atividade de contextualização, propomos aos alunos um debate entre os grupos em que foram formados durante as aulas (os encontros formais).

Atividade de avaliação: última etapa da SEI, onde os resultados são discutidos de maneira a conduzir os estudantes aos conhecimentos científicos, fortalecendo as respostas cientificamente corretas e corrigindo aquelas que estejam mais distantes do conhecimento científico.

Como instrumentos de avaliação das SEIs, utilizamos a elaboração de mapas conceituais como representação dos conhecimentos adquiridos e taxonomia SOLO para avaliar os questionários.

A sequência de ensino investigativa e a Teoria de Campos Conceituais

Buscando um trabalho que promova a alfabetização científica dos alunos e que contribua na construção do conhecimento científico, procurou-se alinhar as sequências de ensino investigativas com a Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud. Desse modo, a maneira como são conduzidas as aulas se torna muito importante para que os alunos se sintam parte do processo de construção do conhecimento.

A competência de um indivíduo pode ser definida, segundo Vergnaud, a partir de três critérios:

- a) o que ele é capaz de fazer face a uma classe ou conjunto de situações;
- b) se ele dispõe de um procedimento ou método mais rápido, mais econômico, mais eficaz, que lhe permita ter um desempenho superior;

c) se ele possui um repertório de procedimentos ou métodos alternativos que lhe permitem adaptar-se de uma maneira mais refinada às diversas situações que enfrenta, em função da avaliação das diferentes variáveis das situações.

Com isso, buscamos identificar e interpretar se o aluno utiliza e de que forma os campos conceituais que fazem parte de sua estrutura cognitiva para resolução de problemas, estabelece relação com as questões aplicadas, a teoria e sua aplicabilidade na solução dos problemas.

Sendo assim, o primeiro passo na proposta desta pesquisa foi detectar os invariantes operatórios (teoremas-em-ação). Feito isso, por meio da interação e as avaliações aplicadas, podemos verificar se os invariantes operatórios construídos pelos alunos correspondem aqueles da teoria. Para tanto, após a explicação de um determinado assunto, seguida de atividades de aprendizagem, avaliamos o nível de apreensão do conceito estudado.

Para Vergnaud (2011) quando ocorre o aprendizado, há o processo de acomodação, neste processo um novo esquema pode ser elaborado pelo aluno, por meio de uma nova abordagem realizada em uma aula de ciências: o uso de uma simulação computacional, um texto de uma revista científica, um problema experimental, ou qualquer outro meio de tentar fazer com que o estudante assimile o conteúdo. Se houver ou não a construção coerente do novo esquema, o professor poderá detectar por meio de tarefas, testes e outras formas de avaliações, como por exemplo, mapas conceituais.

Na seção seguinte, uma breve explicação sobre os mapas conceituais e sua utilização como instrumento de avaliação.

4.3. Mapas conceituais como instrumentos de avaliação

O mapa conceitual é uma ferramenta utilizada para auxiliar estudantes na reflexão sobre a estrutura de um conhecimento e em todo o processo de construção do mesmo. Trata-se, no entanto, de uma técnica desenvolvida em meados da década de setenta por Joseph Novak e seus colaboradores na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos. Tal ferramenta

tem por objetivo: representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição consiste em dois ou mais termos conceituais ligados por palavras de modo a formar uma unidade semântica. Na sua forma mais simples, um mapa de conceitos consta apenas de dois conceitos unidos por uma palavra de ligação de modo a formar uma proposição (MOREIRA 2010). Ou ainda,

mapas conceituais, são ferramentas gráficas para a organização e representação do conhecimento. Eles incluem conceitos, geralmente dentro de círculos ou quadros de alguma espécie, e relações entre conceitos, que são indicadas por linhas que os interligam. As palavras sobre essas linhas, que são palavras ou frases de ligação, especificamos relacionamentos entre dois conceitos (NOVAK, CAÑAS, 2010).

Mapas conceituais podem ser usados para mostrar relações significativas entre conceitos ensinados em uma única aula, em uma unidade de estudo ou em um curso inteiro. São representações concisas das estruturas conceituais que estão sendo ensinadas e, como tal, provavelmente facilitam a aprendizagem dessas estruturas. Entretanto, diferentemente de outros materiais didáticos, mapas conceituais não são auto-instrutivos: devem ser explicados pelo professor. Além disso, embora possam ser usados para dar uma visão geral do tema em estudo, é preferível usá-los quando os alunos já têm uma certa familiaridade com o assunto (MOREIRA, 2010).

Na elaboração de conhecimento novo, as ligações cruzadas muitas vezes representam saltos criativos por parte do produtor de conhecimento. Há duas características dos mapas conceituais importantes na facilitação do pensamento criativo: a estrutura hierárquica que é representada num bom mapa conceitual e a capacidade de buscar e caracterizar novas ligações cruzadas. Uma outra característica dos mapas conceituais são os exemplos específicos ou objetos que ajudam a esclarecer o sentido de um determinado conceito. Os instrumentos avaliativos são numerosos, e as possibilidades de utilização que oferecem variam conforme seus propósitos e suas características. O mapa conceitual é apenas uma das alternativas para a promoção de uma avaliação mais comprometida com a aprendizagem e o desenvolvimento do educando (SOUZA, BORUCHOVITCH, 2010). Dessa forma, acreditamos que uma das maneiras eficientes de avaliar o trabalho dos alunos (deste trabalho) é a utilização de mapas conceituais. Os mapas conceituais, foram utilizados como uma forma de representar os conhecimentos adquiridos durante a aplicação das SEIs.

A seção seguinte trata da taxonomia SOLO outro instrumento de avaliação utilizado para identificar possíveis invariantes operatórios durante a aplicação das SEIs usado para avaliar as respostas dos questionários.

4.4. A taxonomia SOLO como ferramenta de análise de resultados das SEIs

Para analisar as respostas obtidas do questionário da SEI 1 e do questionário da SEI 2, utilizamos a chamada Taxonomia SOLO, que diz respeito a um sistema de categorias para identificar patamares de formalização do pensamento. Os autores (BIGGS e COLLIS, 1982), defendem que esse sistema pode ser utilizado para avaliar a qualidade de aprendizagem ou para objetivos curriculares, uma vez que apresenta a possibilidade de identificar níveis hierárquicos de complexidade do entendimento sobre conteúdos de diferentes domínios, a partir de instrumentos desenvolvidos para esse objetivo.

Este modelo, denominado *Structure of Observing Learning Outcome* (Tradução livre: Estrutura de Observação dos resultados de Aprendizagem), proposta por BIGGS e COLLIS, foi desenvolvido a partir da concepção de que os sujeitos aprendem distintos conteúdos em estágios de complexidade ascendente e que mostram, em geral, a mesma sequência em diferentes tarefas; isso torna possível, a partir dos dados a que temos acesso, caracterizar de alguma forma os níveis de habilidades, ou ainda identificar a evolução de uma habilidade em tarefas particulares (AMANTES, 2005).

Para esses autores, no âmbito escolar podem ser identificados dois tipos de aprendizagem: a superficial e a profunda. A primeira forma de aprendizagem diz respeito a um processo no qual o estudante reproduz em detalhe o conteúdo ensinado. “A motivação é focalizar nos tópicos e elementos mais importantes, para tentar reproduzi-los com precisão; por isso os estudantes não vêem conexão entre os elementos ou significados e as implicações do que é aprendido” (AMANTES, 2005). A aprendizagem profunda se refere a um entendimento intrínseco sobre o conteúdo, e envolve processos de um nível cognitivo mais alto: “a procura por analogias, relações com o conhecimento prévio, teorização sobre o que foi aprendido e derivações de extensões e exceções” (BIGGS e COLLIS, 1982).

Esses dois tipos de aprendizagem podem ser identificados nos modos ou estágios cognitivos, e podem ser entendidas como consequências das diferentes formas em lidar com um conteúdo, seja quando a aprendizagem é realizada utilizando-se atributos de um único modo (unimodal) seja quando é realizada com atributos de vários modos simultaneamente (multimodal). Essas aprendizagens estão relacionadas aos níveis de complexidade na estruturação do entendimento de determinado conteúdo. Para analisar as respostas de

estudantes a testes específicos, BIGGS e COLLIS elaboraram uma taxonomia que levasse em conta esses dois tipos de aprendizagem. O objetivo foi identificar o tipo de pensamento exibido nas respostas de estudantes submetidos a tarefas de determinados conteúdos. Para eles, de acordo com as respostas, os estudantes podem exibir, dentro de um modo, níveis distintos de complexidade no seu entendimento:

Pré-estrutural (P), Uni-estrutural (U), Multi-estrutural (M), Relacional (R), Abstrato estendido (A). Esses níveis de complexidade em relação às respostas dos alunos estabelecem em cada estágio, formando ciclos de aprendizagem crescente, que podem se construir em um ou mais ciclos dentro de um mesmo modo. Dessa forma os questionamentos das sequências de ensino Investigativa puderam ser classificados.

Assim, foram aplicados questionários, onde não se definem os resultados como modelo de resposta correta ou incorreta, pois se tentou observar, gravar e interpretar modelos de comportamento, incluindo as manifestações dos alunos, tais como: a fala, a escrita, o desenho, mapas conceituais e as ações.

A Taxonomia SOLO fornece uma forma sistemática de descrever como a performance de um aprendiz cresce em complexidade quando realiza muitas tarefas, particularmente as escolares. “Uma sequência geral do crescimento na complexidade estrutural de muitos conceitos e destrezas é postulada, e tal sequência pode guiar a formulação de metas específicas de acesso a dados de saída específicos” (AMANTES, 2005).

As dificuldades dos alunos na aquisição de conceitos podem estar fundamentadas no fato de os conhecimentos-em-ação, por muito tempo implícitos, poderem funcionar também como obstáculos ou como antecedentes à aquisição de conceitos científicos. O conhecimento prévio é determinante no progressivo domínio de um campo conceitual, mas pode também, em alguns casos, ser impeditivo. É necessário identificar sobre quais conhecimentos prévios a pessoa pode se apoiar para aprender, mas é forçoso, também, distinguir quais as rupturas necessárias. Assim, é muito importante que os conhecimentos prévios dos estudantes sejam considerados no processo ensino-aprendizagem (MOREIRA, 2002).

No quadro 1, apresentamos de maneira simplificada a descrição dos níveis de complexidade da taxonomia SOLO, que foi utilizada para avaliar as respostas dos alunos por grupo dos questionários 1 e 2, depois apresentado em forma de tabela.

Quadro 1-Taxonomia SOLO -Definição dos níveis de complexidade da taxonomia SOLO

Nível de Complexidade	Descrição de cada nível
1- Pré-Estrutural (P)	Forma de pensar em que as respostas explicitadas são inadequadas/resposta sem relação lógica, com conclusões inconsistentes.
2- Uni-estrutural (U)	O foco é correto, mas o aprendiz obtém poucas informações dos dados e as respostas podem ficar inconsistentes.
3 Multi-estrutural (M)	O aprendiz se vale de características mais relevantes e corretas, mas elas não se integram totalmente; algumas inconsistências podem aparecer em suas respostas.
4 -Relacional (R)	As informações são acessadas, os dados são avaliados e as relações são estabelecidas. O todo se torna uma estrutura coerente; não há inconsistências.
5 - Abstrato estendido (A)	O aprendiz generaliza a estrutura para um novo quadro com características mais abstratas, representando um novo e elevado modo de operação, concluindo sem pressa e de forma aberta.

Fonte: autor

Em nosso trabalho utilizamos o sistema de categorias da taxonomia SOLO para analisar respostas dos estudantes a questões dos questionários sobre os conceitos de energia e o feito fotovoltaico. Nos questionários as questões são do tipo abertas a respeito dos conteúdos envolvidos em situações propostas nas sequencias de ensino considerando que:

muitas pesquisas educacionais têm utilizado a Taxonomia SOLO para avaliação de aprendizagem. Além das pesquisas na área educacional, esse sistema de categorias também tem sido utilizado como ferramenta para avaliação de atividades docentes, para avaliar progressão de estudantes dentro de sala de aula (feita pelos professores), para avaliar programas de ensino e para fins curriculares (AMANTES e BORGES, 2008. p. 11).

Assim acreditamos que este sistema seja um instrumento com bastante potencial para atender aos objetivos da nossa pesquisa. A taxonomia se revela promissora no sentido de fornecer o suporte necessário para avaliarmos a evolução do entendimento dos sujeitos pesquisados sobre os conteúdos propostos em uma unidade de ensino.

5. APLICAÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DE ENSINO INVESTIGATIVAS

Neste capítulo descreveremos como ocorreram os encontros formais e a aplicação das SEIs mostrando a análise dos resultados dos instrumentos de avaliação utilizando a metodologia apresentada no capítulo 4. O primeiro e segundo encontro foram dedicados a SEI 1 utilizada para apresentação do tema e estudo preliminar do conceito de energia. O terceiro, quarto e quinto encontros para aplicação da SEI 2 dedicado ao estudo do efeito fotovoltaico.

5.1. Sujeitos da pesquisa e espaço de investigação

Os sujeitos do estudo foram 27 alunos – jovens, 13 do sexo masculino e 14 do sexo feminino, na faixa etária de 17 a 20 anos. A aplicação da proposta didática ocorreu em uma escola pública; Escola C.E. Nerval Lebre Santiago, localizada na rua Barão de Itapary, s/n, no bairro da Camboa, no centro da cidade de São Luís/MA. Nesta escola, haviam duas turmas de terceiro ano no turno vespertino, mas a aplicação do produto educacional ocorreu em apenas uma das turmas. Das duas turmas de terceiro ano, apenas uma estava com horários disponíveis, a outra turma já estava cumprindo uma programação escolar com outros professores da escola. No terceiro ano do ensino médio, os alunos estudam conceitos de física relacionados à eletricidade, magnetismo e física moderna, o que favorece a aplicação do tema proposto como uma complementação dos conhecimentos já adquiridos pelos estudantes.

Essa escola possui 06 salas de aula, com capacidade para 35 alunos, com funcionamento nos turnos matutino e vespertino. Todas as salas são forradas e possuem ventiladores de paredes, mas somente três delas possuem sistema de refrigeração de ar condicionado. Além disso, possui um laboratório de informática com deztoitos computadores, auditório com capacidade para aproximadamente 80 pessoas, biblioteca, cantina, banheiros femininos e masculinos, sala de professores, sala da direção e secretaria. A infraestrutura da escola é deficitária e não possui laboratório experimental de Física, Química e Biologia, área de convivência, refeitório e quadra de esportes. O trabalho de campo envolveu da assessoria ao professor regente⁹ que ministrava a disciplina de Física na turma onde foi aplicado o trabalho. Atividades (questionários abertos, textos, listas de exercícios, vídeos e etc.) foram desenvolvidos em sala de aula. Estas atividades foram registradas com fotografias, gravação

⁹ No período de aplicação do produto educacional, já não estava ministrando aulas no ensino médio, estava atuando no ensino superior.

de áudios e através de anotações. Todos os registros produzidos pelos alunos foram objetos de análise e interpretação.

Tivemos duas formas de vivência com os alunos os chamados de encontros não formais, onde houve um bate papo com a turma e entrevistas a respeito do dia-dia da escola e das aulas de física, utilizadas como meio de aproximação e afinidade com a turma e outros momentos chamados de encontros formais, utilizados para fins metodológicos. Vale ressaltar que todos os documentos utilizados neste trabalho foram utilizados somente para fins acadêmicos e de pesquisa, ressaltando a privacidade dos alunos.

A seguir apresentamos de forma breve a ordem e os conteúdos dos encontros formais:

Encontro 01- Palestra de apresentação e fundamentação do trabalho. Neste encontro, iniciou-se o processo de sondagem, entrevistas (breve). Foi feita uma preleção com os seguintes objetivos: (i) explicar sobre o trabalho de pesquisa para a melhoria do ensino sobre conversão de energias; (ii) trabalhar temas sobre a produção de energias renováveis em especial a energia solar fotovoltaica; (iii) realização da divisão aleatória dos grupos.

Encontro 02-Seminário e aula utilizando uma simulação computacional para revisão dos conceitos de energia potencial gravitacional, energia cinética, energia mecânica e princípio de conservação de energia mecânica. Explicação e elaboração dos mapas conceituais.

Encontro 03-Correção das atividades do encontro anterior e discussão sobre os conceitos de energia térmica, ondulatória e radiação, preparando os alunos para o estudo investigativo do efeito fotovoltaico.

Encontro 04-Neste encontro iniciamos as chamadas atividades de investigação para discussão dos conceitos de conversão fotovoltaica utilizando um *kit* experimental.

Encontro 5-Continuação das atividades de investigação e construção dos mapas conceituais sobre os conteúdos estudados. Em seguida, a correção das atividades e as considerações finais sobre o trabalho aplicado.

A seguir a descrição de cada encontro com a análise dos resultados.

5.2. Primeiro encontro

Para que se estabelecesse uma relação de confiança, fomos apresentados a turma, no primeiro momento de forma informal e posteriormente como palestrante e docente auxiliar, que trabalharia em consonância às aulas do professor regente, ministrando aulas e aplicando a pesquisa.

Inicialmente, foi ministrada uma palestra para os alunos, juntamente com o professor regente da turma, apresentando e fundamentando o trabalho e iniciando o processo de sondagem. Foi proferida uma palestra sobre a importância do estudo de energia e suas transformações e como podemos utilizá-la de maneira sustentável, dentre as várias formas de conversão da energia apresentada, destacamos principalmente a conversão da energia luminosa em elétrica. A palestra foi bem aceita e elogiada pelos alunos, que demonstraram bastante empolgação o que também nos deixou animados.

Durante a palestra foram mostrados alguns materiais que pudessem contribuir para o entendimento e observações de tais fenômenos, como mostrado nas figuras 9, 10 e 11.

Figura 9-Minigerador eólico



Fonte: Autor

Na figura 9 uma imagem de um minigerador eólico. Um gerador eólico ou turbina eólica é um equipamento que tem a capacidade de captar a energia cinética contida nos ventos e transformá-la em energia elétrica (CRESESB, 2018).

O equipamento chamou atenção dos alunos despertando a curiosidade pelo fenômeno de conversão da energia. Soprando e conseguindo o giro nas lâminas (conectadas ao eixo do pequeno motor), conseguiram fazer com que o led brilhasse, com isso, foi o suficiente para inspirar as primeiras perguntas, tanto da parte dos alunos, quanto da minha a respeito de como se dava tal fenômeno físico.

O segundo equipamento é um pequeno forno solar (figura 10), onde colocando um pedaço de papel no ponto onde fica localizado o foco do espelho côncavo, os raios solares convergem e conseqüentemente ocorre o aumento de temperatura nesse ponto.

O forno solar é um equipamento que funciona usando a luz do sol como fonte de energia, e para ter uma boa eficiência é necessário que ele esteja o máximo possível do tempo voltado para o Sol. Para isso temos que levar em consideração dois fatores importantes, que são a angulação e a direção do Sol.

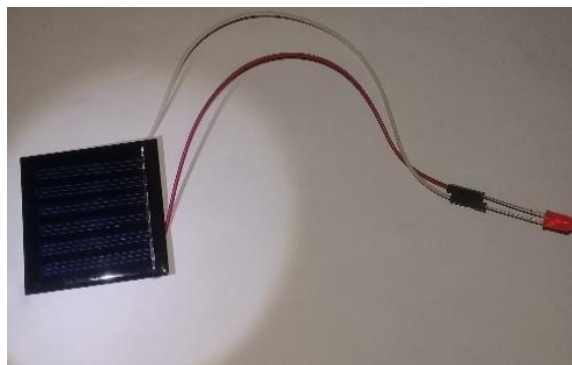
Figura 10-Miniforno solar



Fonte: autor

A figura 11 mostra uma pequena placa fotovoltaica conectada a um led. Iluminando-a com uma fonte de luz (uma lanterna por exemplo) ou colocando-a sob a luz do Sol o led acende devido ao efeito fotovoltaico.

Figura 11-Mini-placa solar



Fonte: autor

Todos esses equipamentos mostrados nas figuras 9, 10 e 11 utilizados na palestra além de outros recursos como projetor de imagens, ajudaram na discussão do tema conversões de energia e a importância dos efeitos físicos envolvidos.

Durante a apresentação desta palestra, podemos observar que os alunos se mostram interessados com as novidades e demonstraram conhecer algumas formas de energias, como a energia mecânica, energia térmica, energia solar e etc. De forma ainda que discreta, os alunos participavam citando algumas formas de energias que já tinham estudado, mas algumas respostas pareciam confusas quando relacionavam algumas formas de energia com outras ou quando se tratava de geração de energia. Como era uma turma de terceiro ano, os estudos em Física estavam concentrados em eletromagnetismo o que fez surgir muitas perguntas sobre geração de energia elétrica e energias renováveis. Os materiais apresentados aos alunos demonstraram um aspecto interessante, além de chamar muita atenção, mostrou que os alunos não tiveram em sua formação muitas atividades experimentais, isso se deu principalmente por que na escola não havia laboratório de Física. Dessa forma, foi importante neste primeiro contato, a aproximação com a turma, a apresentação de alguns materiais de laboratório, e também outras formas de geração de energia.

5.3. Segundo encontro

Em um segundo encontro formal, utilizamos uma simulação computacional para revisar os conceitos de energia cinética e energia potencial através da sequência de ensino investigativa 01 (descrita no quadro 2). Essa sequência de ensino investigativa, trata dos princípios físicos relacionados à conservação da energia mecânica. Como material instrucional de contextualização para sua aplicação, utilizamos uma simulação do Phet colorado¹⁰ denominada “Energia na pista de skate” que trabalha as ideias de energia relacionadas ao movimento e as configurações do sistema considerado. A escolha por essa tarefa se justifica devido a ser o primeiro contato que os alunos do ensino médio têm com este conteúdo (1º ano do ensino médio). Portanto torna-se importante verificar em quais

¹⁰O PhET *Interactive Simulations* é um projeto de recursos educacionais abertos sem fins lucrativos da Universidade do Colorado Boulder. Fornece simulações de ciências e matemática divertidas, gratuitas, interativas e baseadas em pesquisas. As simulações são escritas em Java, Flash ou HTML5 e podem ser executadas online ou baixadas em um computador (Suporte Phet, 2018).

conhecimentos prévios os alunos se apoiam. Para VERGNAUD (1990) o conhecimento prévio é determinante no progressivo domínio de um campo conceitual, mas pode também, em alguns casos, ser impeditivo. Continuidades e rupturas não são, no entanto, excludentes. Pode haver continuidade e ruptura. A Teoria de Campos conceituais não é, uma teoria de ensino de conceitos explícitos e formalizados. Trata-se de uma teoria psicológica do processo de conceitualização do real que permite localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual, por exemplo a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica apresentam continuidades, mas para aprender quântica é preciso rupturas com a Mecânica Clássica. Com base na teoria de Vergnaud, construímos uma sequência de ensino investigativa (SEI 01) onde pudéssemos verificar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao estudo de conversão da energia e em seguida outra sequência de ensino (SEI 02) onde novas formas de energia foram apresentadas, no caso a conversão fotovoltaica.

De acordo com CARVALHO (2013) uma sequência de ensino investigativa deve ter algumas atividades-chaves que na maioria das vezes inicia-se por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduza os alunos no tema desejado e ofereça condições para trabalharem com variáveis relevantes do fenômeno científico central do conteúdo programático. Esse tipo de atividade se encaixa no conceito de situação da Teoria de Campos Conceituais que segundo VERGNAUD (1990) não é o de situação didática, mas sim o de tarefa, de tal forma que toda situação complexa pode ser vista como um conjunto de tarefas, as quais apresentam dificuldades próprias, que são importantes conhecer.

Assim, entendemos que os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que encontram e progressivamente dominam, particularmente pelas primeiras situações suscetíveis de dar sentido aos conceitos estudados e procedimentos que queremos que aprendam. Segundo Vergnaud (1996 *apud*, MOREIRA 2002, p. 5), muitas de nossas concepções vêm das primeiras situações que fomos capazes de dominar ou de nossa experiência tentando modificá-las, ou seja, são as situações que dão sentido ao conceito. Assim, as situações propostas são fundamentais no processo de aprendizagem.

No quadro 2 apresentamos de forma resumida as atividades-chave para a elaboração da SEI 01.

Quadro 2-Descrição das atividades-chave da SEI 1

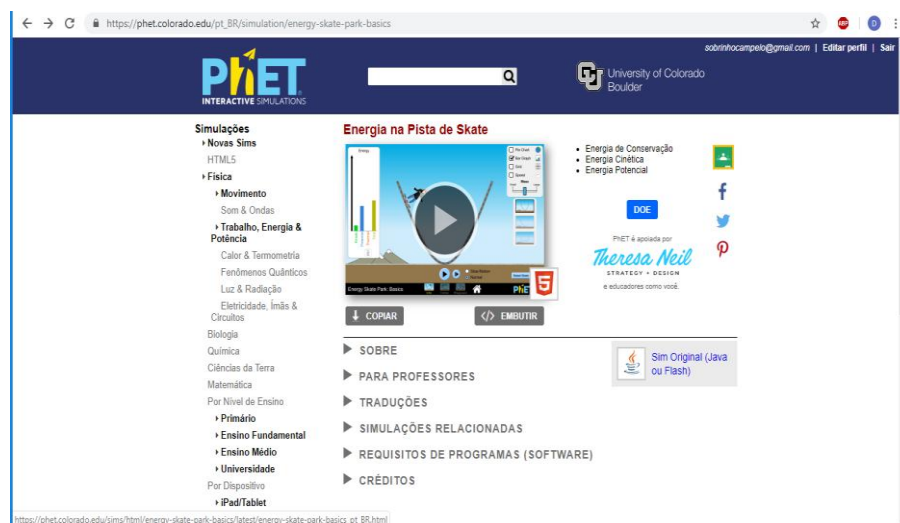
Seqüência de ensino investigativa 01-Energia na pista de skate

O problema	Examinar as energias envolvidas num sistema pista-skatista através de simulação computacional, primeiramente desprezando o atrito e em seguida considerando a influência do atrito. Como avaliar as transformações de energia que ocorrem num sistema formado por um skatista e uma pista de skate?
Atividade de sistematização	Apresentação dos resultados dos grupos para discussão e socialização das respostas
Atividade de contextualização	Debate envolvendo os grupos, e suas experiências com o tema e seus conhecimentos adquiridos.
Atividade de avaliação	questionário e mapa conceitual (em grupos).

Fonte: autor

Para iniciar as atividades da SEI 01, dividimos a turma em sete grupos com quatro componentes cada, em seguida utilizamos o projetor (data show) para exibir a simulação. A primeira simulação foi utilizada para discutir os conceitos de energia cinética, energia potencial gravitacional e o princípio de conservação da energia mecânica pode ser acessa na plataforma do Phet Colorado como podemos ver na figura 12.

Figura 12-Plataforma do Phet Colorado

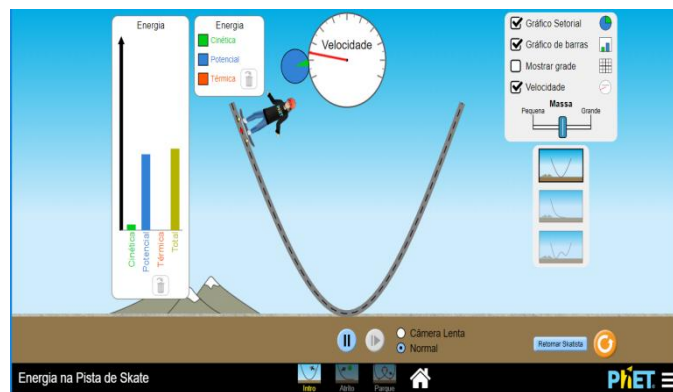


Fonte: Phet colorado

Optamos por começar a atividade de simulação da pista sem considerar a influência do atrito para depois aumentar o grau de dificuldade durante a tarefa.

Primeiramente, foi explicado como funcionam as ferramentas disponíveis na simulação e estabelecemos as condições em que elas ocorrem. Em seguida colocamos o skatista numa posição no alto da pista e durante o movimento, a simulação vai mostrando ao lado um gráfico de barras com as energias envolvidas no sistema considerado, como se pode ver na figura 13.

Figura 13-Tela inicial da simulação energia na pista de skate



Fonte: Phet Colorado

Exploramos diversos recursos da simulação, colocando o skatista na pista e ativando o simulador que mostra o gráfico de setores e o gráfico de barras, grade para valores de alturas e velocidade enquanto o skatista deslizava sobre a pista, os gráficos mostram a conversão e as variações das energias envolvidas. Depois de realizar a simulação, aplicamos um questionário do tipo aberto com sete questões aos grupos e em seguida abrimos um debate na turma para que os grupos socializassem suas respostas.

A seguir faremos uma breve discussão sobre os objetivos das questões do questionário 01.

Questionário 01 e os objetivos de cada questão

Q1-Quais os tipos de energias envolvidas no sistema (pista sem atrito)?

Esta questão tem como objetivo verificar a concepção dos alunos em relação ao sistema considerado e os tipos de energia envolvidos sob determinadas condições.

Q2-O que acontece com a energia potencial gravitacional durante a descida do skatista?

Aqui queremos investigar se o sujeito relaciona a energia potencial com a diferença de altura e o aumento da energia em outra modalidade.

Q3-Onde a energia cinética é máxima?

Nesta questão o objetivo é verificar se os alunos relacionam a trajetória com a energia cinética, se conseguem observar que esta é máxima justamente no ponto baixo da trajetória.

Q4-O que acontece com a energia total desse sistema?

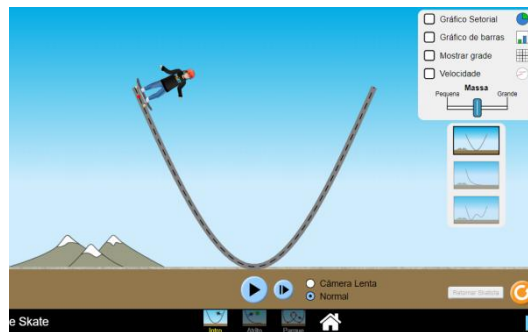
Buscamos identificar os conceitos e articulações mobilizadas sobre o princípio da conservação da energia mecânica.

Q5-Como você define energia? Quais são as modalidades de energia que você conhece? Há alguma relação entre as modalidades?

O objetivo desta questão é de verificar as concepções dos estudantes em relação ao conceito de energia. Também queremos investigar a capacidade dos alunos no que se refere a transformação e conservação da energia.

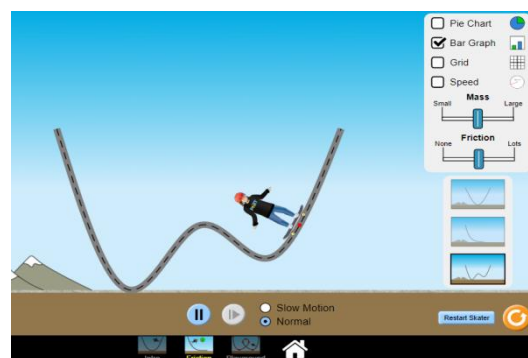
Q6-Analisando as figuras (14) pista sem atrito e (15) pista com atrito. Explique o que ocorre em cada uma das situações utilizando o conceito de energia.

Figura 14-Pista de skate sem considerar a influência do atrito



Fonte: Phet Colorado

Figura 15-Pista de skate considerando a influência do atrito



Fonte: Phet colorado

Esta questão tem por finalidade identificar os conceitos-em-ação em situações que envolvam conservação de energia mecânica em sistemas que envolvam forças conservativas e não conservativas e o que acontece com a energia total deste sistema.

Q7-As expressões no quadro 3, são usualmente apresentadas nas aulas de física no ensino médio. Cada uma delas se vale de símbolos que, sozinhos, representam alguma informação. No entanto, ao serem agrupados numa expressão nos trazem outras informações associadas a cada um dos símbolos.

a) Qual o significado (informação física) de cada um dos símbolos (sozinhos) que aparecem nas expressões?

b) Qual é o significado (informação física) de cada uma das expressões?

Quadro 3-Equações sobre energia

Expressão

$$1 \quad E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$2 \quad E_p = mgh$$

$$3 \quad E_{mec} = E_c + E_p$$

Fonte: autor

O objetivo desta pergunta é verificar a compreensão do significado físico dos símbolos utilizados.

Como vimos na Teoria de Campos Conceituais, um conceito não pode ser reduzido a sua definição. É através das situações e dos problemas a resolver que um conceito adquire sentido. Como vimos VERGNAUD (1990) define os conceitos a partir de três conjuntos: i) (S) um conjunto das situações que dão sentido ao conceito (referente); ii) (I) um conjunto de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) em que se baseia a operacionalidade do conceito (significado); iii) (R) um conjunto de formas de linguagem (ou não) que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento (significante). Assim, o item (iii) é uma linguagem que gostaríamos de observar se os alunos têm no seu repertório de esquemas.

5.3.1. Utilizando a Taxonomia SOLO na SEI 01

No quadro 4, exibimos o nível taxonômico conforme BIGGS e COLLIS (1982) de cada questão do questionário 01. Nosso objetivo é comparar o nível taxonômico das respostas dos alunos com aquele exigido pela questão. A escolha do nível taxonômico exigido foi analisada durante a elaboração das questões do questionário 01.

Quadro 4-Descrição do nível de abrangência do questionário 01

Questão	Enunciado	Conteúdo	Nível taxonômico Exigido
---------	-----------	----------	--------------------------

01	Que tipos de energias estão envolvidas nesse sistema (pista sem atrito)?	Classificação das energias	4
02	O que acontece com a energia potencial gravitacional durante a descida do skatista?	Conservação de energia	5
03	Onde a energia cinética é máxima?	Energia cinética, trajetória	4
04	O que acontece com a energia total desse sistema?	Conservação da energia mecânica	5
05	Como você define energia? Quais são as modalidades de energia que você conhece? Há alguma relação entre as modalidades?	Conceito de energia.	5
06	Analisando as figuras 21 e 22, pista sem atrito e pista com atrito (respectivamente). Explique o que ocorre em cada uma das situações utilizando a noção de energia.	Conversão de energia, conservação e perdas. Conservação da energia total.	5
07	As expressões abaixo são usualmente apresentadas nas aulas de física no ensino médio. Cada uma delas se vale de símbolos que, sozinhos, representam alguma informação física. No entanto, ao serem agrupados numa expressão nos trazem outras informações associadas a cada um dos símbolos. a) Qual o significado (informação física) de cada um dos símbolos (sozinhos) que aparecem nas	Posição, velocidade, energia potencial, energia cinética.	4

expressões abaixo?

b) Qual é o significado (informação física) de cada uma das expressões abaixo?

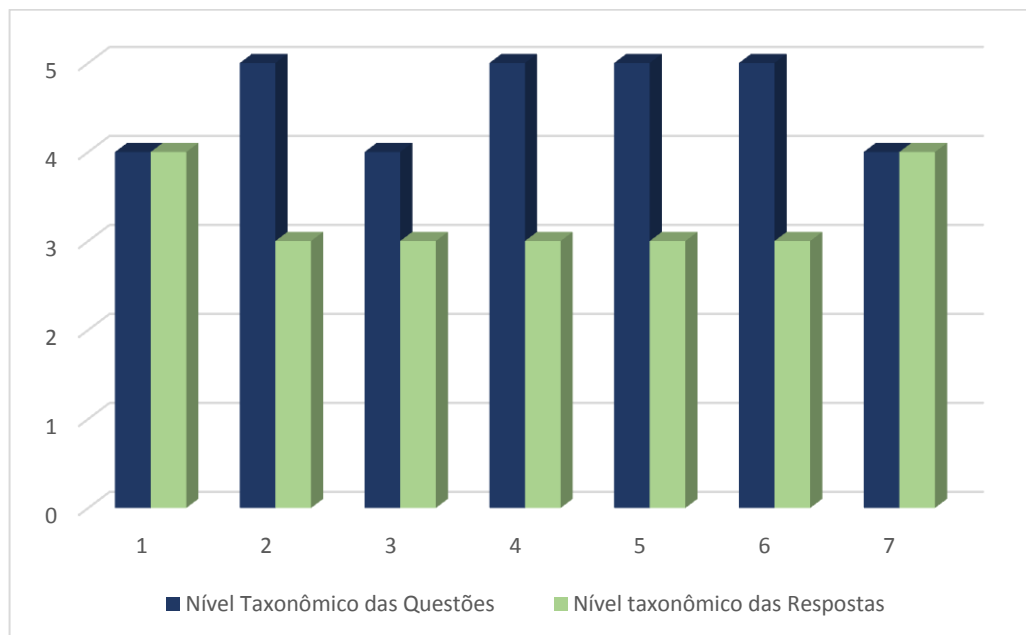
$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_p = mgh$$

$$E_{mec} = E_c + E_p$$

Fonte: autor

Em acordo com o professor regente da turma, avaliamos seguindo os critérios estabelecidos pela taxonomia SOLO, tomamos como exemplo as respostas apresentadas pelo grupo A que são mostrados na figura 16.

Figura 16-Análise do questionário aberto 1-Grupo A



Fonte: autor

Na figura 16 o eixo horizontal representa o número de questões do questionário 01 (sete questões) e no eixo vertical o nível taxonômico das perguntas e das respostas dos alunos. A coluna em azul representa o nível taxonômico exigido das questões, enquanto que a coluna em verde representa o nível taxonômico das respostas dos alunos. Na questão 1, o nível taxonômico exigido é 4 (em azul) e a resposta dos alunos se enquadra no nível 4 (em verde). A questão 2, com nível taxonômico exigido igual a 5 (em azul) a resposta a essa questão se

enquadra no nível 3, a questão 3, com nível taxonômico exigido igual 4 se enquadra no nível 3. As questões 4, 5 e 6 possuem nível taxonômico exigido igual 5 e as respostas dadas pelos alunos se enquadram no nível 3. Por fim a questão 7 com exigência taxonômica igual a 4, a resposta se enquadra no nível 4. O nível taxonômico 3 é o mais frequente nas respostas, mostra que os alunos avaliam as características mais relevantes de forma correta, mas algumas respostas não se integram totalmente. Assim, algumas inconsistências aparecem em suas respostas. Podemos concluir que os alunos conseguem responder as questões mesmo apresentando algumas inconsistências ou de forma incompleta.

Quadro 5-Classificação Taxonômica das respostas do questionário 01.

Classificação Taxonômica							
	Questão	Questão	Questão	Questão	Questão	Questão	Questão
	1	2	3	4	5	6	7
Grupo A	4/4	3/5	3/4	3/5	3/5	3/5	4/4
Grupo B	2/4	2/5	3/4	3/5	3/5	3/5	3/4
Grupo C	3/4	3/5	3/4	3/5	3/5	2/5	2/4
Grupo D	2/4	3/5	3/4	3/5	3/5	3/5	3/4
Grupo E	2/4	2/5	3/4	3/5	3/5	3/5	3/4
Grupo F	2/4	2/5	3/4	3/5	3/5	3/5	3/4
Grupo G	2/4	2/5	3/4	3/5	3/5	3/5	3/4

Fonte: autor

O quadro 5 mostra a classificação taxonômica dos grupos, por exemplo, observando o Grupo A na questão 1 alcançou o nível 4 de exigência taxonômica 4, na questão 2 alcançou o nível 3 de exigência taxonômica 5. No grupo B, na primeira questão os alunos alcançaram o nível 2 de exigência taxonômica 4 e assim temos a classificação taxonômica de todos os sete grupos. A questão 3, apresenta um nível taxonômico 4 e as respostas dos grupos se encaixam de acordo com nossa análise, no nível 3. Dessa forma, 3/4 por exemplo, 3 representa o nível alcançado pelo grupo e 4 representa o nível taxonômico exigido na questão. Como podemos notar os grupos apresentam-se em maior frequência no nível 3 da taxonomia SOLO o que corresponde a alternativas corretas, mas elas não se integram totalmente; algumas inconsistências aparecem em suas respostas. No entanto podemos concluir que os alunos possuem conhecimentos prévios, mesmo que apresentem algumas dificuldades na representação destes conhecimentos. No quadro 6 uma análise das respostas do grupo A.

Quadro 6-Análise das respostas do grupo A (questionário 01)

Questão	Resposta (trecho)	Análise
01	<i>“Energia cinética e energia potencial”</i>	Os alunos mostram que reconhecem as categorias de energias envolvidas no sistema considerado.
02	<i>“...há mudança no tipo de energia de repouso se transforma em energia de movimento”</i>	Entendemos que os alunos, reconhecem a conversão da energia, relacionando cada tipo a um estado de movimento do corpo.
03	<i>“...a energia é máxima onde a velocidade é maior, podemos ver que é na parte mais baixa da pista”</i>	Notamos que o grupo, identificou corretamente o ponto, além de relacionar velocidade com energia.
04	<i>“...a energia total do sistema muda, uma hora é totalmente potencial e outra hora, totalmente cinética”.</i>	A resposta indica que os alunos percebem a mudança na forma de energia, mas tem dificuldades em expressar como ocorre a conversão de energia e como a energia mecânica total se mantém. (conservação da energia)
05	<i>“energia cinética, potencial, elétrica, sonora, energia do vento... elas podem ser usadas para conseguir outras energias”</i>	Os alunos reconhecem alguns tipos de energias e relacionam umas às outras como sendo uma maneira de produzir mais energia.
06	<i>“O skatista tem energia potencial quando está parado no alto da pista, e quando desce a energia vai se transformando em energia cinética de movimento, para a pista com atrito o skatista perde velocidade na descida devido o atrito com a pista”.</i>	Os alunos assimilam a mudança na forma de relacionar as energias, mas não exploram a conservação da energia considerando o sistema sem atrito. Na situação com atrito os alunos relacionam a perda de energia com a perda de velocidade, mas não levam em consideração outra forma de energia envolvida, que é a energia térmica. Também apresentam algumas dificuldades conceituais em relação a força de atrito.
07	$E_c = \frac{1}{2}mv^2$ Energia cinética $m =$ massa do corpo $v =$ velocidade	Os alunos mostraram identificar os símbolos e equações apresentados e seus significados em física.

	$E_p = mgh$ Energia potencial, (h) altura, (g) gravidade, $E_{mec} = E_c + E_p$ Energia mecânica	
--	---	--

Fonte: autor

Para Vergnaud (1990), os conhecimentos prévios são precursores dos novos conhecimentos; os conhecimentos-em-ação (largamente implícitos) podem evoluir, ao longo do tempo, para conhecimentos científicos explícitos. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1990) destaca que a aquisição de conhecimento é moldada pelas situações e problemas previamente dominados e que esse conhecimento tem, portanto, muitas características contextuais.

Observamos a análise exposta no quadro 6, os alunos do grupo A, reconhecem os tipos de energias e transformações sofridas na situação proposta na simulação, relacionam os tipos de energia, fazem considerações sobre os sistemas envolvidos. No entanto, apresentam dificuldades na maneira de expressar suas ideias e na forma como apresentam suas respostas, que em algumas questões aparecem de forma incompleta. Na questão 1, os alunos se valem de características relevantes e corretas reconhecendo os tipos de energia envolvidas no sistema considerado. Nas questões 2 e 3, o foco é correto, mas é explorada de maneira rápida e alguns termos podem levar a uma ideia incompleta. As questões 4, 5 e 6, os alunos se valem de características mais relevantes e corretas, ou seja, identificam o objetivo das questões, mas as respostas não se integram totalmente. Por fim a questão 7, os alunos reconhecem e relacionam de maneira correta os símbolos e os significados físico das expressões, as relações são bem estabelecidas.

No quadro 7 selecionamos algumas respostas do questionário 01 dos alunos com o objetivo de identificar possíveis invariantes operatórios a fim de verificar os conhecimentos prévios e também identificar continuidades e rupturas em relação a conceitualização das propriedades sobre energia. Para análise das situações propostas aos estudantes, optou-se por transcrever aquelas respostas onde se acredita que possíveis invariantes operatórios estejam presentes. Na sequência, estão transcritas respostas de distintos grupos. Alguns já se aproximam do conhecimento científico e outros não, e podem estar servindo como obstáculo à aprendizagem de conceitos. Pois segundo Vergnaud (2011), “quando se aprende alguma coisa nova, temos de nos apoiar em conhecimentos anteriores, embora, às vezes, eles se tornem obstáculos para novos conhecimentos”.

Quadro 7-Possíveis Invariantes Operatórios

Respostas	Possíveis invariantes operatórios
“...durante a descida do skatista a energia potencial gravitacional se transforma em energia cinética, e ele ganha velocidade, mas se levar em conta o atrito na pista ele, perde velocidade e a energia se transforma outra vez em energia térmica como mostra o gráfico”.	Energia potencial gravitacional se converte em energia cinética. Configura um conceito em ato, mesmo que de forma implícita.
“...a energia cinética é máxima, quando a velocidade for máxima, no caso, no ponto mais baixo da pista.”	A energia cinética é proporcional à velocidade. Essa resposta os alunos relacionam a energia cinética com o aumento de velocidade, mas de forma inconsistente, já que energia é proporcional ao quadrado da velocidade.
$E_{mec} = E_c + E_p$	Teorema-em-ato (energia mecânica é a soma da energia cinética e potencial)
“a energia do skatista se transforma em calor por causa do atrito”	Os alunos mobilizam o conceito-em-ato, da conversão da energia mecânica em energia térmica, mas de maneira pouco contextualizada.

Fonte: autor

No final desta análise é possível identificar alguns possíveis invariantes operatórios nas respostas dos alunos, o que demonstra já terem desenvolvido um repertório de esquemas capazes de fornecer estratégias para resolução das situações propostas. No entanto, algumas dificuldades em relação a linguagem científica e organização de pensamentos se apresentam como obstáculos na hora de expressar o conhecimento.

Esta constatação se encontra de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud (2011), pois, para ele, o domínio de um campo conceitual leva muito tempo; aprender e desenvolver competências, no sentido de dar conta de situações-problema, é progressivo e demorado.

No quadro 8 destacamos alguns possíveis invariantes operatórios identificadas nos mapas conceituais dos alunos.

Quadro 8-Possíveis invariantes operatórios encontrados no mapa conceitual do grupo A

Invariantes operatórios	Comentários
“Energia potencial depende da posição dos corpos”	A resposta dos alunos, mostra que eles relacionam a energia potencial gravitacional com a configuração do sistema, ou com a posição dos corpos. Essa resposta configura um teorema-em-ato que nas palavras de Vergnaud, é uma proposição tida como verdadeira sobre o real. Os alunos mobilizam os conceitos de maneira pertinente daquilo que é aceito cientificamente.
“Energia potencial gravitacional atua na massa do corpo e pode ser expressa pela equação $E_g = mgh$ ”	Os alunos representam seu conhecimento através da equação, relacionando a massa com a altura sobre influência da gravidade, podemos inferir um conceito-em-ato.
“A energia potencial pode se apresentar de outra forma, a energia potencial elástica e pode ser representada pela equação $E_{el} = \frac{1}{2}kk^2$ ”	Essa parte no mapa conceitual, mostra que os alunos têm conhecimento de outras formas de energia potencial e a representam na forma de uma equação.
“A energia cinética é a energia de movimento” A energia cinética está relacionada com a velocidade	Podemos inferir um conceito-em-ato, relacionando movimento a energia cinética.
“A energia cinética e a energia potencial são combinadas e formam a energia mecânica.	A energia mecânica é a união das energias cinética e potencial num sistema conservativo. Podemos observar um teorema-em-ato. A teoria dos campos conceituais destaca que a aquisição de conhecimento é moldada pelas

	<p>situações e problemas previamente dominados e que esse conhecimento tem, portanto, muitas características contextuais. Assim, nestas situações os alunos apresentam características de experiências anteriores relacionadas aos conceitos estudados.</p>
--	---

Fonte: autor

Percebemos que os alunos se mostram bem familiarizados com os conceitos trabalhados em relação a energia mecânica e a degradação da energia, mas que em algumas situações os alunos apresentam dificuldades na forma de expressar os invariantes operatórios, ou seja os conhecimentos contidos nas representações das soluções. Segundo Vergnaud, em geral, os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural seus teoremas e conceitos-em-ação. A maioria desses conceitos e teoremas-em-ação permanecem totalmente implícitos, mas eles podem também ser explícitos ou tornarem-se explícitos e aí entra o ensino: ajudar o aluno a construir conceitos e teoremas explícitos, e cientificamente aceitos, a partir do conhecimento implícito.

5.3.2. Mapas conceituais da SEI 01

Com base na definição de conceito de Vergnaud (1990), propomos o desenvolvimento de mapas conceituais como forma de representação simbólica (conjunto R) para identificar os possíveis invariantes operatórios na apresentação de cada grupo.

O processo de construção dos mapas conceituais nessa experiência consistiu nos seguintes passos:

1-Depois do desenvolvimento de um conteúdo específico, foi sugerido aos alunos que registrassem e hierarquizassem os conceitos abordados;

2-Foram apresentadas as noções básicas para a construção de mapas conceituais, como: definição de termos utilizados, estrutura do mapa, elementos que permitem caracterizar os diagramas e exemplos específicos;

3-Os alunos elaboraram, em grupos, a primeira versão do mapa e o apresentaram. Nesse momento de comunicação oral se sugeria incluir as palavras de enlace, tais como: para,

onde e outras, com o propósito de transmitir o significado atribuído às relações entre os conceitos;

4-O exercício de (re)construção e apresentação foi retomado no quinto encontro, incorporando, ao mapa, conhecimentos prévios, conceitos oriundos da bibliografia consultada e novos conteúdos abordados no transcorrer dos encontros;

5-Ao final das SEIs, cada grupo apresentou um mapa integrando o conjunto de conteúdos trabalhados, enriquecido com as mudanças propiciadas nos sucessivos encontros, configurando um processo de construção coletiva. Os mapas conceituais foram elaborados por 07 grupos com cinco componentes cada, importante ressaltar que estes alunos, não possuíam experiência prévia com este instrumento.

No segundo encontro, os alunos foram divididos em grupos de quatro ou cinco integrantes, solicitou-se que elaborassem mapas conceituais com base no conceito Energia, envolvidos numa situação problema utilizando a simulação computacional.

Os mapas elaborados foram apresentados e discutidos, explorando-se os eixos conceituais privilegiados e as relações estabelecidas entre tipos de energias e sua conservação.

Após os exercícios de simulação e discussões, foi proposto que cada grupo elaborasse um mapa conceitual, contemplando as aprendizagens construídas no que se refere à conservação da energia. Ao final das SEIs, foram entregues 07 mapas, os quais compuseram parte do material empírico para o presente estudo.

Com base nos princípios metodológicos enunciados para a construção de mapas conceituais e nas intencionalidades do docente-estudantes, foram focalizados, no presente trabalho, os seguintes critérios de análise:

I-Conceitos: quantidade e qualidade de conceitos apresentados e níveis de hierarquia conceitual, buscando identificar conceitos mais amplos até os mais específicos.

II-Inter-relações entre conceitos: linhas de entrecruzamento, número de palavras de enlace e proposições com significado lógico, do ponto de vista semântico. Neste critério, procedeu-se a uma quantificação das linhas de entrecruzamento e palavras de enlace, bem como a uma qualificação das proposições com base no significado lógico.

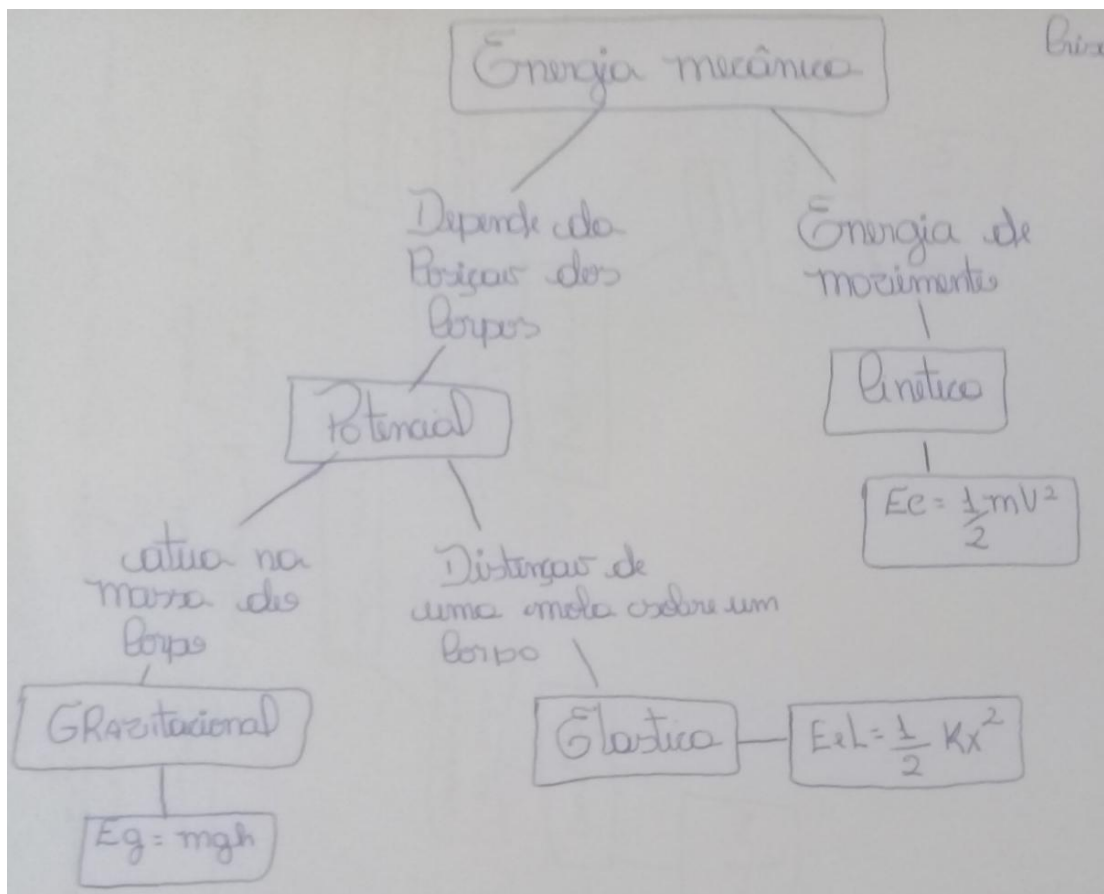
III-Estrutura do mapa: sequencial ou em rede, presença de relações cruzadas (interrelações não hierárquicas entre segmentos distantes do mapa, as quais estabelecem

novas relações entre conceitos ou campos de conceitos), representatividade do conteúdo em relação aos conteúdos abordados na disciplina, e criatividade, relacionada à estética do diagrama. Esses critérios, fundamentalmente de enfoque qualitativo, buscam uma leitura que amplie e integre os dados obtidos nos critérios anteriores, e parte da análise do formato escolhido pelos grupos para traduzirem suas aprendizagens nos temas propostos pelas SEIs.

Os alunos foram divididos em grupos, sete no total, cada grupo elaborou e apresentou um mapa conceitual no final do encontro.

Na figura 17 é mostrado um mapa conceitual apresentado pelo grupo A como uma maneira de representar os conceitos estudados na SEI 01.

Figura 17-Mapa conceitual apresentado pelo grupo A

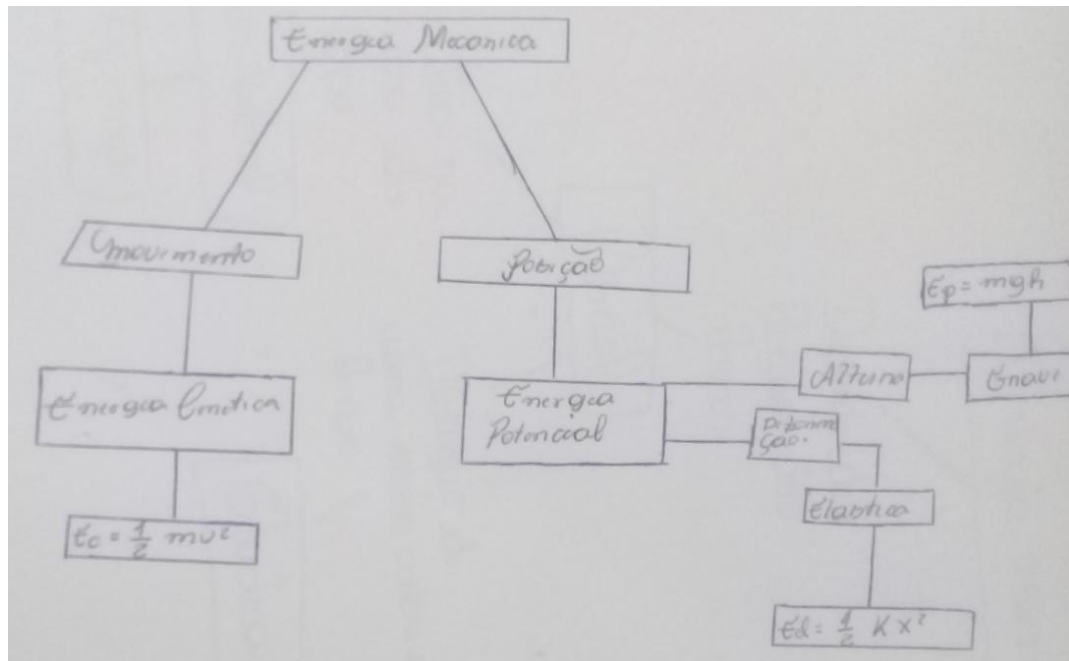


Fonte: alunos do grupo A

O grupo A apresentou o mapa conceitual da figura 17 onde mostrou os elementos de hierarquia entre os conceitos de energia mecânica, eles destacaram a energia potencial diferenciando a gravitacional da energia potencial elástica relacionando com uma representação matemática indicando que na energia potencial gravitacional “*atua na massa*”

do corpo”, assim como também destacaram na energia potencial elástica ocorre “*distensão (sic) de uma mola sobre um corpo*”.

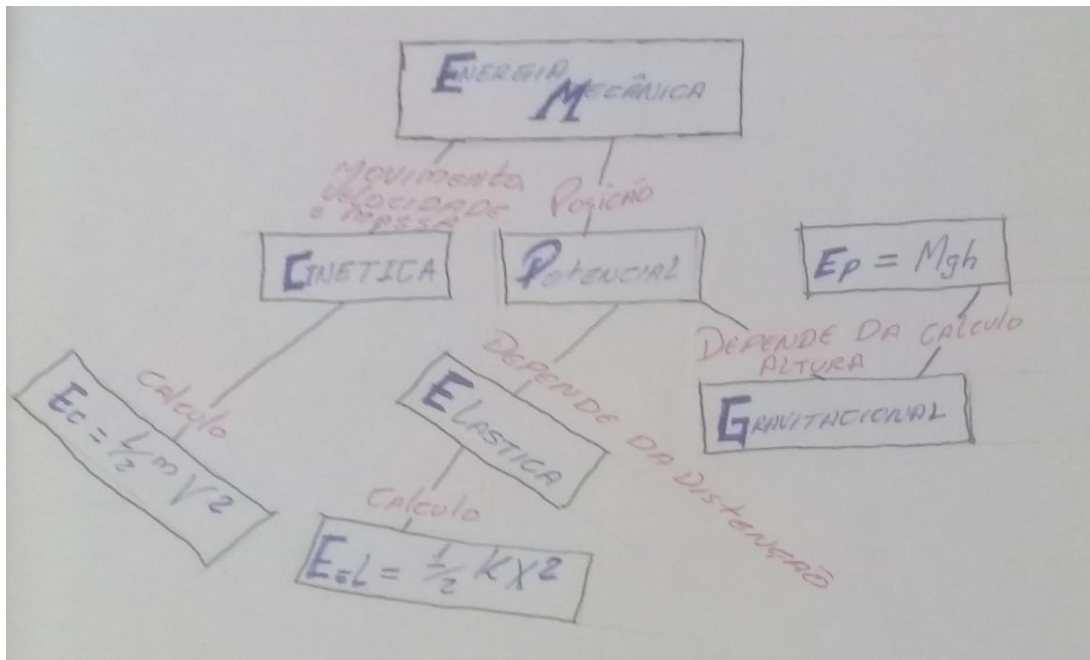
Figura 18-Mapa conceitual desenvolvido pelos alunos do grupo B



Fonte: alunos do grupo B

No mapa conceitual desenvolvido pelo grupo B (figura 18), eles relacionam movimento a energia cinética e posição a energia potencial, também relacionam altura com gravidade e deformação com elástica mostrando a ligação com a energia mecânica.

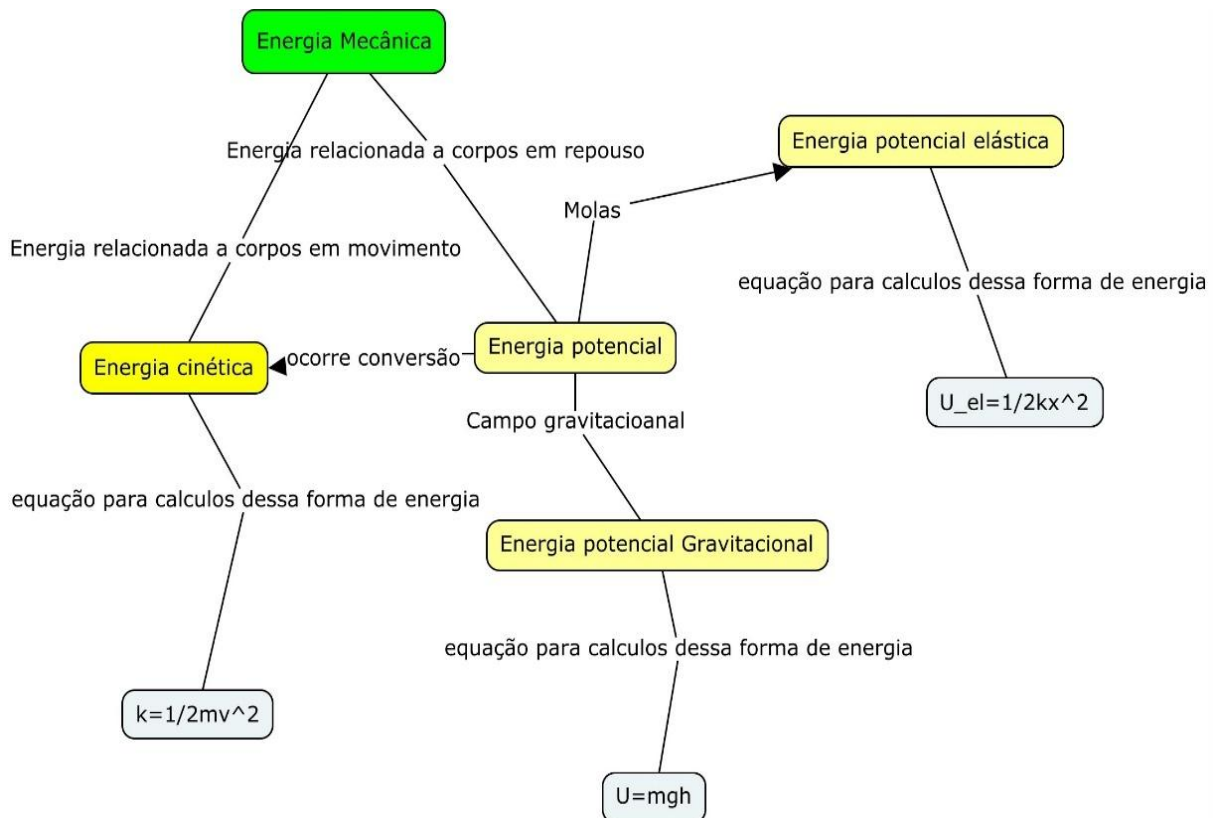
Figura 19-Mapa conceitual desenvolvido pelos alunos do grupo C



Fonte: alunos do grupo C

No mapa conceitual da figura 20 os alunos utilizaram um *software* chamado *CmapTools*¹¹, uma ferramenta para elaborar esquemas conceituais e representá-los graficamente, ou seja, é um programa que lhe auxilia a desenhar mapas conceituais.

¹¹ *Camp* disponível em <<https://cmap.ihmc.us/>>

Figura 20-Mapa conceitual desenvolvido com auxílio do *Cmap Tools*

Fonte: alunos do grupo D

O número de conceitos incluídos nos 7 mapas elaborados, correspondeu a cinco: energia mecânica, energia cinética e energia potencial (gravitacional e elástica). Como pudemos ver nas figuras 18, 19 e 20 por exemplo, os mapas conceituais apresentaram diversos níveis de hierarquia, que configuram uma sequência que parte de conceitos mais inclusivos até os mais específicos, passando por diferentes níveis de conceitos intermediários. As inter-relações entre conceitos evidenciam que nem todas as linhas de entrecruzamento, apresentaram palavras de enlace. Porém, a maioria das proposições, ou seja, dois ou mais termos conceituais unidos por palavras de enlace, apresentaram significado lógico. Em relação ao terceiro critério, a maioria são em rede, apresentaram relações cruzadas, hierárquicas, usam criatividade, e a representatividade dos conteúdos abordados.

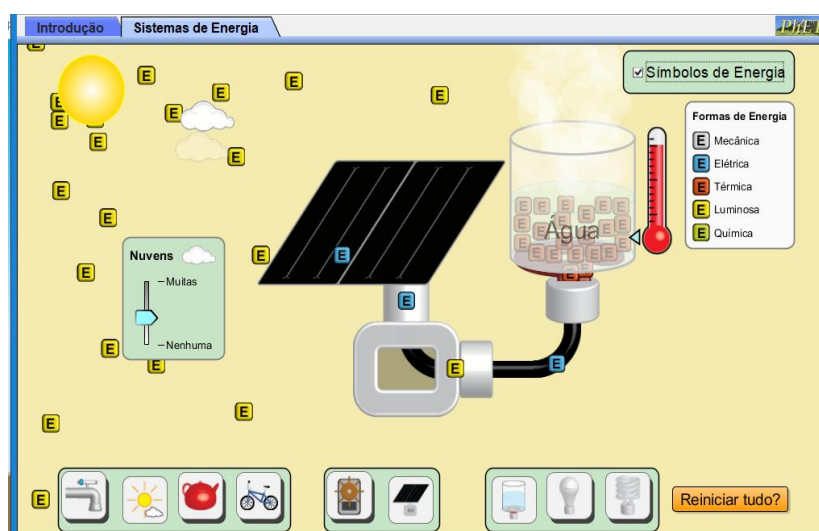
5.4. Terceiro encontro

A partir do terceiro encontro formal foi desenvolvida a SEI 2, os grupos foram novamente reunidos para conclusão das atividades do segundo encontro, dedicado ao trabalho de intervenção, correções, elaboração dos mapas conceituais e apresentações. Com essa etapa concluída e realizadas as devidas correções, alguns conceitos como: energia mecânica,

conservação da energia mecânica, degradação de energia e conversões de energia foram trabalhados de forma a prepara-los para novas situações. Neste encontro, continuamos nossa jornada para compreendermos os processos de conversão de energia e começamos a explorar a energia solar e o efeito fotovoltaico. Com isso, o próximo passo foi trabalhar outras formas de energia e sistemas onde se pode aproveitar este fenômeno a conversão de energia. Para isso, foram utilizados textos, livros didáticos, vídeos e simulações computacionais (formas e de energia e transformações) observamos na figura 21. Materiais estes disponibilizados aos alunos durante este encontro e estão disponíveis no (Apêndice A).

Para introdução da aula, contamos com o auxílio de um vídeo (reportagem) que trata sobre energia solar na comunidade de Santa Marta no Rio de Janeiro-RJ, que possui um projeto de instalação de placas fotovoltaicas para os moradores.

Figura 21-Tela da simulação -Formas de energias e transformações



Fonte: Phet colorado

A simulação, “formas de energia e transformações”: está disponível na plataforma do Phet, a utilização de uma placa fotovoltaica na transformação de energia luminosa em energia elétrica e depois em energia térmica.

Neste encontro, a energia solar fotovoltaica ganhou destaque entre os alunos. Esse fenômeno era pouco conhecido pela maioria dos alunos, alguns já possuíam algumas informações, mas não tiveram qualquer contato com o sistema (placa solar). Então foi proposta uma pesquisa nos materiais disponibilizados para entender o funcionamento do sistema fotovoltaico seguida de um tempo para discussões.

5.5. Quarto encontro

Nesta segunda SEI trabalhamos uma outra forma de conversão de energia: a energia luminosa em energia elétrica. Visto que no ensino médio este conteúdo é pouco explorado por conter conceitos que devido à natureza do fenômeno só são estudados no ensino superior. Para que pudéssemos introduzir esses conceitos relacionados a natureza do fenômeno, criamos um conjunto de situações para dar sentidos a esses conceitos.

No quadro 9 apresentamos a descrição das atividades-chave da SEI 02

Quadro 9-Descrição das atividades-chave da SEI 02

Sequência de ensino investigativa 01-Energia na pista de skate

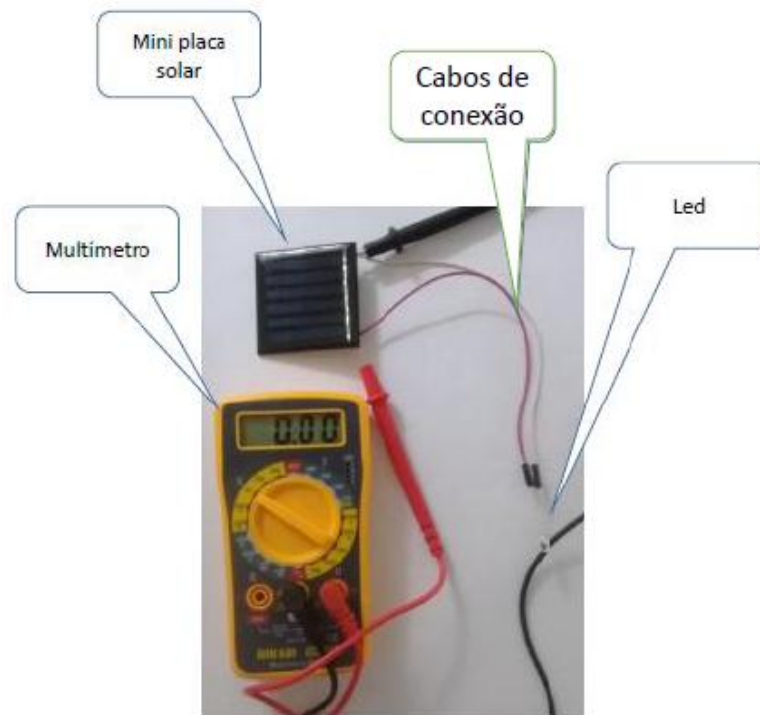
O problema	O efeito fotovoltaico consiste na conversão da energia proveniente do Sol em eletricidade, sendo esta conversão conseguida através de células fotovoltaicas. Com o objetivo de compreender o funcionamento de um painel fotovoltaico podemos analisar o gráfico da curva característica do painel. Como avaliar as características elétricas e construir um gráfico de curva característica?
Atividade de sistematização	Apresentação dos resultados os outros grupos para discussão das respostas.
Atividade de contextualização	Debate envolvendo os grupos, e suas experiências como o tema e seus conhecimentos adquiridos.
Atividade de avaliação	Questionário 02, mapa conceitual de cada grupos.

Fonte: autor

Iniciamos o estudo dos conteúdos relacionados ao efeito fotovoltaico dividindo a turma em grupos novamente, e para cada grupo foram distribuídos materiais para realização de atividades de investigação utilizando um sistema simples de energia fotovoltaica.

Nos experimentos, o material utilizado: mini-placa solar de 3,5 V, Leds (diversas cores), lanternas e multímetros. A figura 22 exhibe o *kit* que foi disponibilizado aos grupos.

Figura 22-Circuito placa-led utilizada na SEI 02



Fonte: autor

Após a entrega do material, os alunos foram orientados a conectar o led a mini-placa e focalizar a lanterna na placa (esse foi o primeiro contato dos alunos com uma placa fotovoltaica). Em seguida os alunos utilizaram os multímetros para verificar algumas grandezas elétricas do sistema (mini-placa- led). A seguir uma descrição das chamadas atividades de investigação desenvolvidas durante a SEI 02 para o estudo do efeito fotovoltaico.

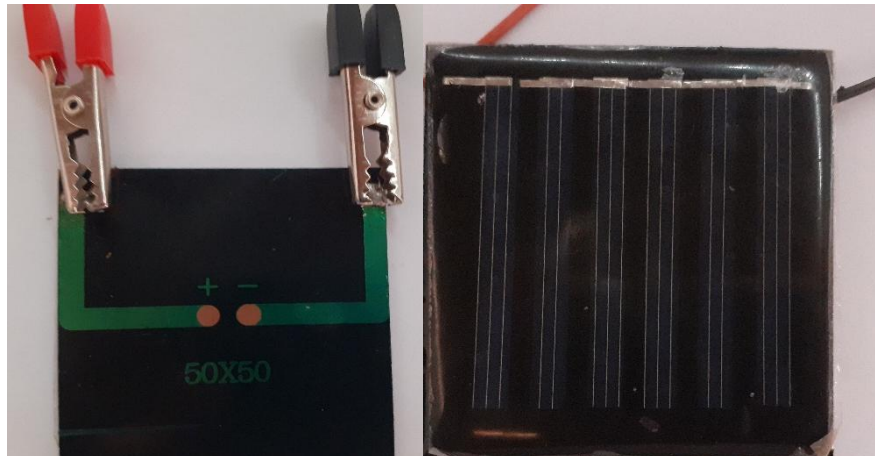
Atividades de Investigação

Investigação 1-Tensão de circuito aberto

Na investigação 1, os alunos realizaram as conexões nas mini-placas solares e utilizaram os multímetros ajustando para a escala de tensão CC (corrente contínua) de modo a medir alguns volts. O objetivo desta atividade era medir a tensão de circuito aberto através da placa. Essa é a tensão da placa quando nenhuma corrente está fluindo pela célula. Como nenhuma corrente flui através de um voltímetro perfeito, um voltímetro mede a voltagem do circuito aberto.

Na figura 23 mostra as conexões na mini-placa, mostrando aos alunos como seguir uso padronizado das cores dos fios, preto para o polo negativo e vermelho para o polo positivo.

Figura 23-Conexões na mini-placa



Fonte: autor

Investigação 2-conversão da energia

Na investigação 2, em uma sala escura, os alunos observavam as mudanças no brilho do led relacionando aos valores da tensão quando as células eram iluminadas por uma fonte de luz e quando, quase nenhuma luz atinge os coletores.

Figura 24-Células iluminada durante a atividade de investigação



Fonte: autor

Investigação 3-corrente de curto circuito

A terceira investigação era voltada para medir a corrente de curto circuito da placa quando iluminada por uma fonte de luz. Com o multímetro na escala de corrente contínua, medirá alguns amperes de corrente elétrica.

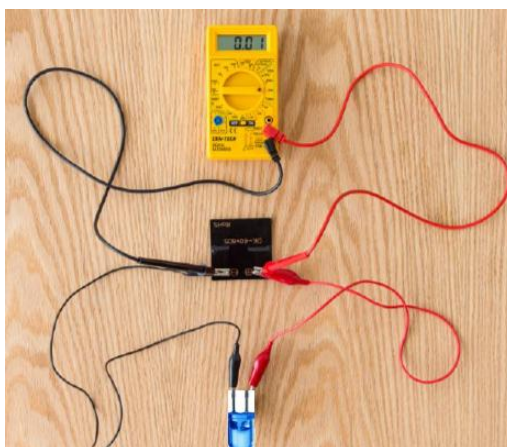
A corrente máxima que uma célula solar pode produzir ocorre quando um fio condutor é conectado através dos terminais. Esta é chamada de corrente de curto-circuito ou (I_{SC}). Como um fio, um amperímetro tem resistência muito baixa, então registra uma medição similar a um curto-circuito.

Investigação 4-eficiencia da mini-placa

Conectando os dois terminais da célula solar aos dois terminais do led. Os alunos observavam o brilho do led quando a placa está sob a luz do Sol e quando exposta a uma lanterna. Inclonavam a célula solar para maximizar o brilho do led e, em seguida, inclinavando-a para longe da orientação onde o brilho será máxima. Assim, observaram que o brilho do led é maior quando a célula solar é orientada perpendicularmente a uma linha que vai do Sol até a célula solar (figura 24).

Em seguida, puderam medir a tensão através do led enquanto ele opera no brilho máximo (conectando o medidor como na Investigação 1). Essa matriz de conexões é chamada de circuito paralelo como vemos na figura 25.

Figura 25-Circuito em paralelo

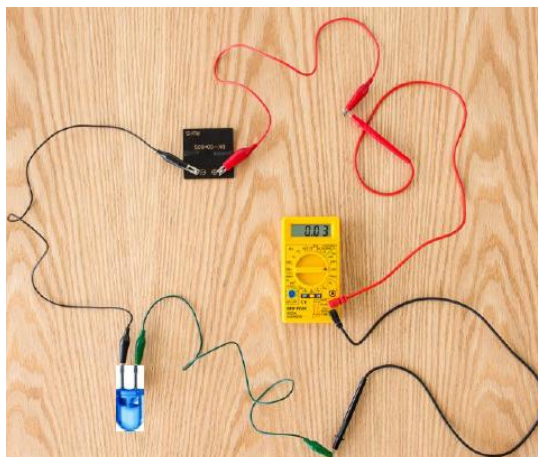


Fonte: (EXPLORATORIUM, ¹² 2018)

Os alunos também podiam configurar o multímetro para medir a corrente e conectando em um único *loop* com o led e a célula solar (como na figura 26). Este arranjo é referido como tendo o medidor em série.

¹² Disponível em: < <https://www.exploratorium.edu/snacks/output-solar-cell>> Acesso em: 22 de set. 2018.

Figura 26-Circuito em série



Fonte: (EXPLORATORIUM, 2018)

Após as medidas medidos os alunos calcularam a potência da célula solar. A potência de uma célula solar é o produto da voltagem através da célula solar com a corrente através da célula, ou seja assim a potência máxima teórica da célula solar, $P_{max} = V_{OC} \cdot I_{SC}$.

Cada grupo calculou a potência máxima teórica e em seguida calcularam a potência real, P_{Real} , fornecida pela célula solar ao led, na prática, é igual à tensão através do led, V_{Led} , vezes a corrente através do led, I_{Led} ou seja, $P_{Real} = V_{Led} \cdot I_{Led}$.

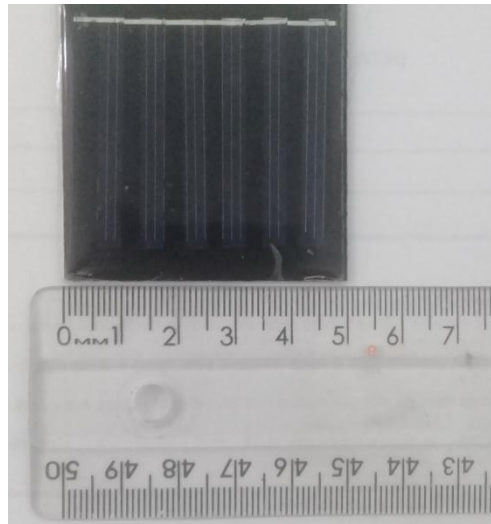
Continuando a atividade, os alunos foram orientados a usar a estimativa para a potência máxima teórica para calcular a eficiência teórica máxima, η_{max} , da célula solar é uma grandeza fundamental e de grande importância é o cálculo da eficiência da célula solar. A eficiência da célula solar é a energia elétrica dividida pela energia solar.

Seguindo as orientações os alunos realizaram a investigação da seguinte forma: primeiro, calcularam a energia solar que chega à célula solar multiplicando a intensidade do Sol (irradiância solar) pela área da célula solar. A intensidade solar do Sol, S_I , sobre uma determinada área na superfície da Terra é de aproximadamente 1.000 watts/m^2 ¹³.

Usaram uma régua para medir a área ativa. A da sua célula solar (figura 27).

¹³ Este número refere-se à quantidade de energia incidente sobre uma determinada área em um determinado momento. A quantidade de energia de 1000W/m^2 é uma média da quantidade de luz solar que incide na superfície terrestre (CRESESB, 2018).

Figura 27-medindo a área da mini-placa



Fonte: autor

A placa solar utilizada na experiência tem dimensões 5 cm por 5 cm.

$$A = 5\text{cm} \times 5\text{cm} = 25\text{cm}^2 = 0,0025\text{m}^2$$

A energia solar, P_S , interceptada por uma célula desse tamanho é:

$$P_S = S_I \times A = 1000\text{W}/\text{m}^2 \times 0,0025 \text{m}^2 = 2,5 \text{W}$$

A eficiência teórica máxima, η_{max} , da célula solar pôde ser estimada como sendo

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{P_S} = \frac{\quad}{2,5 \text{W}}$$

A eficiência real da célula solar ao fornecer energia ao led foi

$$\eta_{Real} = \frac{P_{Real}}{P_S} = \frac{\quad}{2,5 \text{W}}$$

Ao final destas atividades de investigação, os grupos que responderam a alguns questionamentos e sem seguida discussões para que pudessem compartilhar suas respostas. Estes questionamentos, teve o objetivo de oportunizar aos grupos um *feedback* a respeito da atividade realizada.

Figura 28-Professor e alunos realizando atividades de investigação



Fonte: autor

Podemos verificar que as atividades de investigação tiveram um papel muito importante, os alunos em contato com o material tiveram liberdade para explorar, realizar medições das grandezas elétricas envolvidas, questionar o funcionamento do equipamento e buscar respostas a respeito do fenômeno físico. Após as investigações, propomos uma atividade de leitura para fixação de alguns conceitos e discutimos alguns pontos importante das atividades.

5.6. Quinto encontro

No quinto encontro, continuamos os experimentos com o objetivo de estudar de modo mais aprofundado as características elétricas de um painel fotovoltaico utilizando uma placa solar de baixa potência (5W). Diferente dos experimentos do quarto encontro, estes foram realizados com outros materiais e de forma mais detalhada a respeito das medidas elétricas.

No quadro 10, apresentamos os conceitos fundamentais e subconceitos relacionados com o efeito fotovoltaico nos experimentos realizados.

Quadro 10-Conteúdos da SEI 2

Campo Conceitual-Conservação da Energia	
Conceitos Fundamentais	Subconceitos
Geração de energia	Energia renovável
	Conversão de Energia
	Eficiência energética
Elementos de circuito elétricos	Circuito elétricos
	Geradores e Receptores
	Semicondutores
Efeito fotovoltaico	Radiação
	Fóton
	Efeito fotovoltaico

Fonte: autor

Esses conceitos fundamentais estão diretamente relacionados ao fenômeno do efeito fotovoltaico, assim como os subconceitos que também são explorados nesses experimentos.

Nestes experimentos foram explorados conceitos relacionados a circuitos elétricos, geração de energia renovável, efeito fotovoltaico, assim como os fatores que influenciam no desempenho do painel, o rendimento de uma placa fotovoltaica, o armazenamento de energia gerada através da placa e a curva característica de um painel fotovoltaico. Os experimentos estão descritos a seguir.

Investigação 5-Investigando a geração de energia fotovoltaica e o uso de um acumulador.

O objetivo deste experimento é analisar como a energia elétrica é gerada através do efeito fotovoltaico. Observando o funcionamento da placa, mostrando que a placa apenas gera energia, mas não acumula, para que a energia gerada seja utilizada em outro momento, uma bateria de 9V foi utilizada para guardar a energia gerada pela placa. Assim, através dos multímetros os alunos podem observar as variações nos valores de tensão enquanto a placa

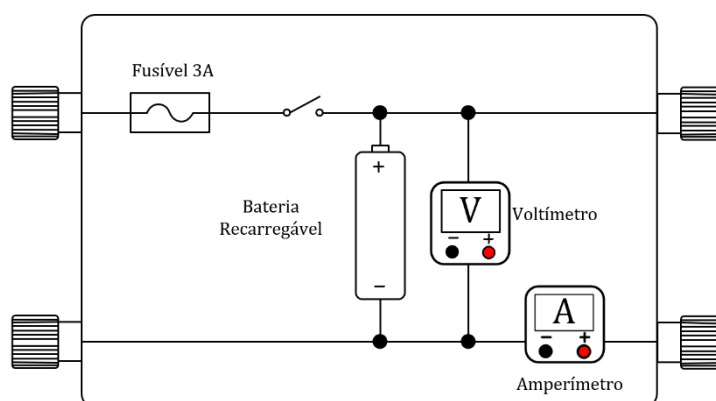
carrega a bateria e também os valores de tensão da bateria quando a placa não está conectada a ela.

Neste experimento foram utilizados os seguintes materiais

- Uma placa fotovoltaica de 5W
- Um voltímetro e amperímetro digital DC 100 V-10A
- Bateria de lítio de 3,7 V/3000 mA/h
- Caixa para componentes eletrônicos
- Uma bateria de 9V.

A montagem do material foi realizada da seguinte forma: na caixa foi instalado o voltímetro e amperímetro digital DC, um fusível e uma bateria. Também foi colocada uma pequena chave para o controle de carga e descarga da bateria (figura 29). A bateria de 9V é utilizada para alimentação do voltímetro e amperímetro digital DC 100V- 10A.

Figura 29-Caixa 1-bateria e Medidores

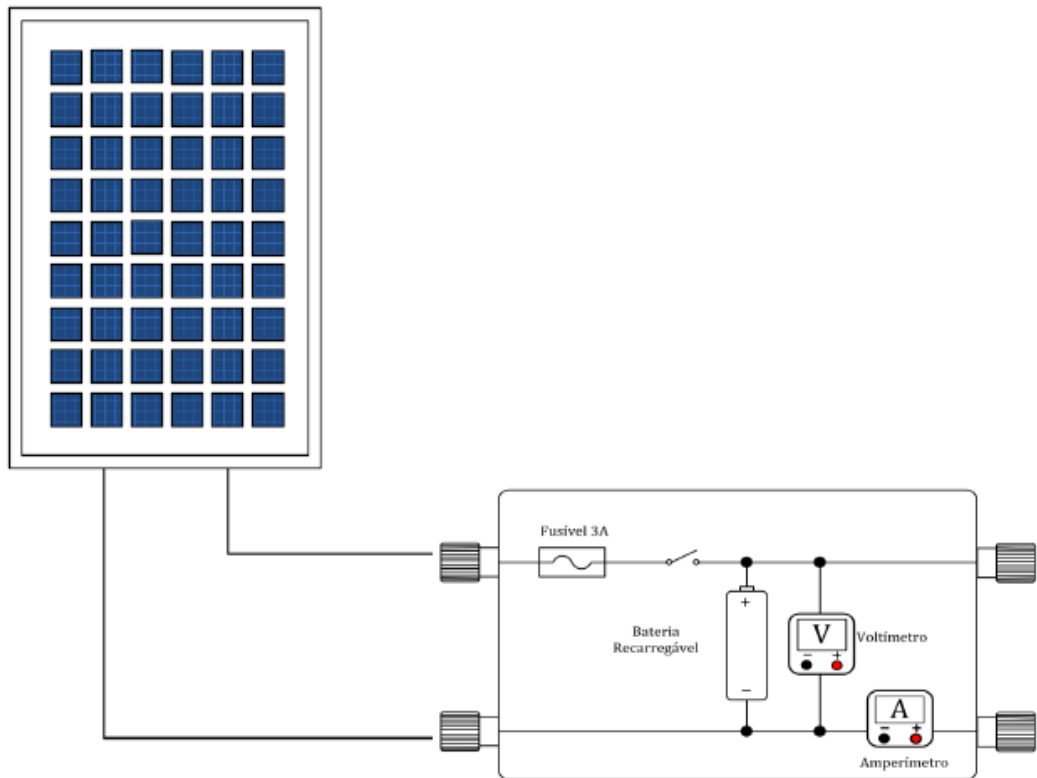


Fonte: Watson Oliveira¹⁴

Primeiro explicamos para os alunos todos os passos da montagem do circuito e a função de cada componente. Em seguida, conectamos a placa solar de 5W na caixa (veja na figura 30).

¹⁴ Watson Oliveira, engenheiro mecânico e amigo, desenhou o circuito das figuras 29,20 e 32.

Figura 30- Montagem do circuito



Fonte: Watson Oliveira

Em seguida colocamos a placa sob a luz solar e colocamos a chave na posição de carregamento. Depois de alguns minutos os alunos acompanhavam o carregamento parcial da bateria. Os alunos observavam e registravam as mudanças nos valores da tensão e da corrente elétrica durante o carregamento mostrados no *display*.

Figura 31-*Display* do voltímetro e amperímetro digital

Fonte: autor

Investigação 6-Alguns fatores que influenciam no desempenho do painel fotovoltaico

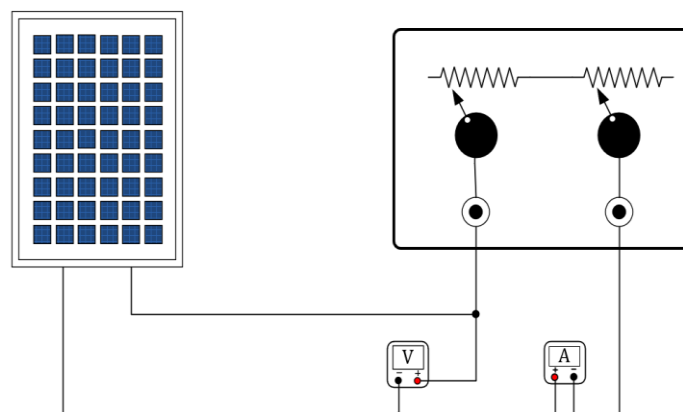
A placa iluminada converte energia luminosa em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, os potenciômetros foram utilizados como carga no circuito e os medidores de tensão e corrente registravam as mudanças nos valores devidos alguns fatores que influenciavam no desempenho do painel, como a inclinação da placa e as variações na luminosidade devido as nuvens. Os valores foram observados e registrados pelos grupos.

Para a realização deste experimento os seguintes materiais foram utilizados:

- Uma placa fotovoltaica de 5W
- Um voltímetro e amperímetro digital DC 100 V-10A
- Dois potenciômetros de fio de 5k Ω .
- Caixa para componentes eletrônicos.
- Dois knobs (botões)

A montagem do material foi realizada da seguinte forma: na caixa foram instalados dois potenciômetros de fio de 5k Ω conectados como na figura 32. O voltímetro e amperímetro digital DC foi instalado de modo a fazer os registros de tensão e corrente durante a realização do experimento. Novamente explicamos para os alunos todos os passos da montagem do circuito e a função de cada componente. Em seguida, conectamos a placa solar de 5W na caixa (figura 32). O material montado, foi colocado sob a luz do Sol. Os alunos acompanham e registravam as mudanças nos valores da tensão e da corrente elétrica durante o experimento mostrados no *Display*.

Figura 32-Conexão da placa na caixa 2 com resistores



Fonte: Watson Oliveira

Investigação 7-Eficiência de um painel fotovoltaico

Para a realização deste experimento utilizamos a mesma montagem de investigação 6. A atividade segue com os seguintes passos: colocamos os potenciômetros na posição mínima, em seguida foi realizada a leitura da corrente de curto-circuito.

Observação: a corrente máxima que uma célula solar pode produzir ocorre quando um fio é conectado através dos terminais. Como um fio, um amperímetro tem resistência muito baixa, então registra uma medição similar a um curto-circuito.

A próxima tarefa foi calcular os valores da potência e da resistência da carga na saída do painel.

Em seguida, os alunos foram orientados a variar os potenciômetros e preencher uma tabela (em anexo) com os valores de corrente e de tensão observados para cada variação e os valores calculados da resistência e potência da carga.

Para finalizar as medidas das variáveis, foi realizado uma medida da tensão de circuito aberto. Esta ocorre quando os potenciômetros estão na posição máxima.

Com os dados da tabela e com as medidas das grandezas necessárias, os dados foram utilizados para construir um gráfico ($I-V$) (corrente versus tensão). Depois da construção do gráfico e com todos os dados a disposição foi realizado o cálculo da eficiência do painel. No quadro 11 apresentamos em resumo as principais grandezas elétricas necessárias para avaliar a eficiência de um painel fotovoltaico.

Quadro 11-Resumo das variáveis elétricas do painel

Grandezas	Descrição
V_{OC} – Tensão de circuito aberto	Ocorre se a placa não estiver conectada a nenhuma carga
I_{SC} – Corrente de curto – circuito	Máxima intensidade de corrente elétrica que pode atravessar um gerador
P_{mp} – Ponto de máxima potência	Onde ocorre a máxima transferência de potência da célula para a carga
I_{mp} – Corrente de máxima potência	É a corrente que o módulo fornece quando opera no seu ponto de máxima potência.
V_{mp} – Tensão de máxima potência	É a tensão que o módulo apresenta nos seus

I_{op} – Corrente de operação	terminais quando opera no seu ponto de máxima potência.
V_{op} – Tensão de operação	Corrente que circula quando a placa está conectada a uma carga
$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \text{Fator de forma}$	Tensão quando a placa está conectada a uma carga
$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{incidente}} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{incidente}} = \text{eficiência}$	Define o quão próximo à curva $I-V$ está da idealidade.
	Definida como a razão entre a máxima potência elétrica gerada pelo dispositivo e a potência nele incidente.

Fonte: autor

Ao final destas atividades experimentais, os grupos realizaram a atividade de sistematização e como atividade de avaliação o questionário 02, com o objetivo de identificar possíveis invariantes operatórios desenvolvidos pelos alunos e analisar a aprendizagem a respeito do tema proposto.

5.6.1. Observações sobre a aplicação dos experimentos

Em relação ao questionário 02 e os problemas propostos sobre os experimentos, interessou-nos menos quantidades de acertos dos sujeitos e mais os processos de pensamento que levaram a uma determinada resposta, fosse ela considerada certa ou errada. Ou seja, a resposta dada foi tomada como um dos indícios para a compreensão do processo que a gerou, uma vez que se partiu do pressuposto segundo o qual, o erro pode revelar um processo mais sofisticado de raciocínio que uma resposta correta. Nas justificativas dadas pelo sujeito e nas verbalizações formuladas enquanto este resolvia o problema, buscamos, também, compreender as relações que ele estabelece entre os elementos do problema, bem como conduzi-lo a refletir sobre o problema e a forma adotada para sua resolução. Entretanto, ainda que buscássemos basear-nos em pistas verbais, gráficas e gestuais, fornecidas pelos alunos, na tentativa de acompanhar e reconstruir seu raciocínio, não deixamos de considerar que os mesmos, possivelmente, tivessem dificuldades em explicar escrita ou verbalmente, com maior

ou menor grau de clareza, a estratégia de resolução, mesmo que fossem capazes de resolver o problema corretamente. Os teoremas-em-ação foram considerados, então, como objeto de análise e inferência por parte do pesquisador. A seguir mostraremos no quadro 12 as questões do questionário 02 e o nível taxonômico exigido para cada questão.

Quadro 12-Nível Taxonômico do questionário 2

Questão	Enunciado	Conteúdo explorados nas questões	Nível taxonômico
01	Como poderemos determinar os valores da energia convertida?	irradiância e potência	5
02	Quais grandezas elétricas estão envolvidas no sistema do experimento?	Conceito de tensão e corrente	4
03	De que conhecimentos precisamos para compreender o processo de conversão de energia no sistema considerado no experimento?	Conversão de energia, radiação, fótons, materiais semicondutores.	5
04	Explique de que forma alguns fatores influenciam no desempenho do painel?	Conversão de energia, perdas de energia e rendimento.	5
05	Quais são as vantagens de utilizar um acumulador?	Bateria e energia elétrica.	5
06	Explique de que maneira podemos determinar a eficiência do painel?	Potência e eficiência.	5
07	Como podemos avaliar a perda de energia durante o processo de conversão no sistema do experimento?	Potência, efeito joule, dissipação	5

Fonte: autor

No quadro 13 estão escritas as estratégias adotadas (baseadas na Teoria de Campos Conceituais) para explorar os conhecimentos a respeito do fenômeno físico “efeito fotovoltaico” contidos no questionário 2.

Quadro 13-Identificação dos conjuntos envolvidos em cada questão do questionário 2

	S	I	R
	Conjunto de situações que dão sentido ao conceito	Conjunto de conhecimentos presentes na estrutura cognitiva que são mobilizados para a solução.	Conjunto de representações simbólicas que permitem representar os invariantes.
Questão 1	Experimento utilizado na investigação 5	Leitura do multímetro Conceito de conversão energética. Sistema fotovoltaico.	Linguagem escrita Mapa conceitual
Questão 2	Experimento utilizado nas investigações de 5 a 7	Circuitos elétricos simples e medições elétricas	Linguagem escrita Mapa conceitual
Questão 3	Experimento utilizado na investigação 7	Conceito de fótons, conversão de energia, propriedades de materiais semicondutores, circuitos elétricos.	Simulação computacional Linguagem escrita Mapa conceitual
Questão 4	Experimento utilizado na investigação 6	Medições elétricas Iluminação Ângulo Condições atmosféricas	Linguagem escrita Mapa conceitual

Questão 5	Experimento utilizado na investigação 5	Geradores, receptores e acumuladores de energia (Bateria)	Diagrama de circuito simples Linguagem escrita Mapa conceitual
Questão 6	Experimento utilizado na investigação 7	Circuitos elétricos, fator de forma, potência elétrica e eficiência.	Equações matemática. Linguagem escrita Mapa conceitual
Questão 7	Experimento utilizado na investigação 7	Circuitos elétricos, fator de forma, potência elétrica e eficiência.	Equações matemática. Linguagem escrita Mapa conceitual

Fonte: autor

5.6.2. Respostas do questionário 02

Na sequência, estão transcritas respostas de distintos grupos, onde podemos inferir alguns possíveis invariantes operatórios a partir das respostas dos estudantes. Algumas respostas indicam que alguns alunos já se aproximam do conhecimento científico e outros não.

Q1-Como poderemos determinar os valores da energia convertida?

“Resposta 1: medindo a energia que chega na placa e medindo a energia que sai da placa através de um medidor de energia.”

“Resposta 2: medindo a energia elétrica na placa quando o led estiver ligado ou carregando a bateria.”

“Resposta 3: utilizando multímetro, observamos os valores quando a placa estava sendo iluminada, isto é, ela mostra que a luz se transformou em energia elétrica e podemos ver os valores medidos.”

As respostas destes grupos mostram que os alunos relacionam o tipo de energia recebida pela placa e o tipo de energia fornecida pela mesma através das medidas realizadas, reconhecendo assim, a conversão entre as formas de energia. Apoiados nas situações anteriores sobre conversões de energia, os alunos parecem reconhecer bem uma característica importante no estudo de energia que é sua capacidade de se transformar. Nas palavras de VERGNAUD e PLAISANCE (2001), os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que encontram e progressivamente dominam, particularmente pelas primeiras situações suscetíveis de dar sentido aos conceitos e procedimentos que queremos que aprendam.

Q2-Quais grandezas elétricas estão envolvidas no sistema do experimento? E como elas se relacionam?

“Resposta 1: a corrente elétrica da placa quando ela não está carregando a bateria. A tensão da placa não ligada a bateria. E medir esses valores depois que conectar a bateria.”

“Resposta 2: corrente elétrica, tensão elétrica, resistência elétrica e potência elétrica.”

“Resposta 3: corrente e tensão.”

Nestas respostas, os alunos se utilizam das medições, reconhecem as grandezas físicas envolvidas, mas de maneira ainda desordenada, apresentam dificuldades em colocá-las na ordem em que foram adquiridas. Os alunos não fazem distinção entre as grandezas medidas e as grandezas calculadas. E não informaram como estas se relacionaram

Q3-De que conhecimentos precisamos para compreender o processo de conversão de energia no sistema considerado no experimento?

“Resposta 1: radiação da luz, mudança de energia, corrente elétrica.”

“Resposta 2: luz do Sol, energia elétrica e conversão de energia.”

“Resposta 3: energia luminosa, energia elétrica e eletricidade.”

“Resposta 4: energia elétrica, energia térmica, energia luminosa e medidas elétricas.”

Os alunos apresentam suas respostas de forma simples e direta sem explicar todas as etapas do processo de conversão da energia, mas citam vários temas importantes que identificam as mudanças no fenômeno físico estudado. Tal fato também está de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, pois, para ele, o domínio de um campo conceitual leva muito tempo; aprender e desenvolver competências, no sentido de dar conta de situações-problema, é progressivo e demorado.

Q4- Explique de que forma alguns fatores influenciam no desempenho do painel?

“Resposta 1: A luz que ilumina a placa, o ângulo da placa, e as nuvens e obstáculos na frente da placa, como no caso da placa transparente.”

“Resposta 2: A luz do Sol, e os obstáculos.”

Os estudantes identificaram através da atividade experimental algumas limitações no desempenho do painel fotovoltaico relacionando as condições de iluminação, inclinação, obstáculos com os valores observados nos medidores caracterizando um processo de investigação.

Q5-Quais são as vantagens de utilizar um acumulador?

“Resposta 1: A vantagem é que podemos acumular energia, que pode ser usada depois em outro momento.”

“Resposta 2: A placa não conseguiu (*sic*) guardar a energia que ela gera, então podemos usar uma bateria para armazenar a energia e usar a energia para outras coisas.”

Nesta etapa da atividade experimental, os estudantes se apoiam na observação e nos testes e conseguem estender o raciocínio de forma a relacionar as observações com as vantagens ligadas ao consumo e utilidade. Um importante teorema-em-ação foi destacado aqui: a placa não consegue guardar a energia que ela gera, mostrando uma desvantagem na geração de energia pela placa e a importância de acumular a energia para uso futuro.

Q6- Explique de que maneira podemos determinar a eficiência do painel?

“Resposta 1: dividindo a potência de entrada e de saída”

“Resposta 2: medindo os valores da corrente, a tensão e potência elétrica.”

“Resposta 3: corrente e tensão, tamanho da placa, material da placa e comparar as médias” (*sic*).

É importante notar que os estudantes relacionam valores de entrada e saída pra avaliar a eficiência, mesmo com algumas incoerências. Algumas respostas mostram a dificuldade em relacionar as grandezas elétricas de forma coerente e organizada para explicar a etapa de investigação. As respostas também mostram que os grupos não conseguem descrever com profundidade o que ocorre com as variáveis envolvidas e como elas levam a resolução do problema proposto, as respostas são geralmente rápidas e de forma descontextualizadas.

Q7-Como podemos avaliar a perda de energia durante o processo de conversão?

Resposta 1: comparando os valores de energia na entrada e saída da placa.

Resposta 2: calculando a eficiência.

Os alunos relacionam perda de energia comparando os valores medidos em etapas diferentes, mas deixam de comentar alguns detalhes importantes no processo por ainda não ter o domínio no campo conceitual. As respostas mostram que os alunos se basearam na observação dos valores coletados, mas não utilizaram as informações disponíveis nos textos para contextualizar e explicar de forma mais aprofundada.

O quadro 14 mostra a classificação taxonômica dos grupos em relação ao questionário da SEI 02. Esta classificação foi realizada em conjunto com o professor regente para uma melhor avaliação.

Quadro 14-Classificação Taxonômica das respostas do questionário 2

Classificação Taxonômica							
	Questão	Questão	Questão	Questão	Questão	Questão	Questão
	1	2	3	4	5	6	7
Grupo A	3/5	3/4	3/5	4/5	4/5	3/5	3/5
Grupo B	3/5	3/4	4/5	3/5	4/5	3/5	3/5
Grupo C	2/5	2/4	3/5	3/5	3/5	2/5	3/5
Grupo D	2/5	3/4	3/5	3/5	3/5	2/5	2/5
Grupo E	3/5	3/4	3/5	3/5	3/5	2/5	2/5
Grupo F	3/5	3/4	4/5	4/5	4/5	3/5	3/5
Grupo G	3/5	3/4	4/5	3/5	4/5	3/5	3/5

Fonte: autor

O quadro 14 mostra a classificação taxonômica dos grupos em relação ao questionário 2, observando o Grupo B na questão 1 alcançou o nível 3 de exigência taxonômica 5, na questão 2 alcançou o nível 3 de exigência taxonômica 4. De modo que, 2/4 por exemplo, 2 representa o nível alcançado pelo grupo e 4 representa o nível taxonômico exigido na questão. No grupo C, na questão 1 os alunos alcançaram o nível 2 de exigência taxonômica 5 e assim temos a classificação taxonômica de todos os sete grupos. A questão 6, apresenta um nível taxonômico exigido correspondente a 5 e as respostas de três grupos se encaixam (de acordo com nossa análise), no nível 2. O nível taxonômico correspondente a 5 é classificado como Abstrato estendido (ver seção 4.6), onde o aprendiz generaliza a estrutura para um novo quadro, vai para além do tópico, faz ligações a outros conceitos concluindo sem pressa e de forma aberta. Em nossa análise, esses grupos não conseguiram relacionar bem as informações, como podemos ver nas respostas da questão 6, são respostas curtas e pouco contextualizadas.

A maiorias das respostas se apresentam no nível 03 (Multi-estrutural) da taxonomia SOLO que corresponde a respostas corretas onde o aprendiz se vale de característica relevantes, mas algumas inconsistências aparecem de foram a não concluir o raciocínio de forma organizada e completa. Ainda assim, os alunos se mostram entusiasmados na maneira como foram desenvolvendo a construção do conhecimento, que foi de forma investigativa através do experimento, dos debates e questionários. observamos que suas respostas eram embasadas na observação e fontes como os textos, livros e vídeos.

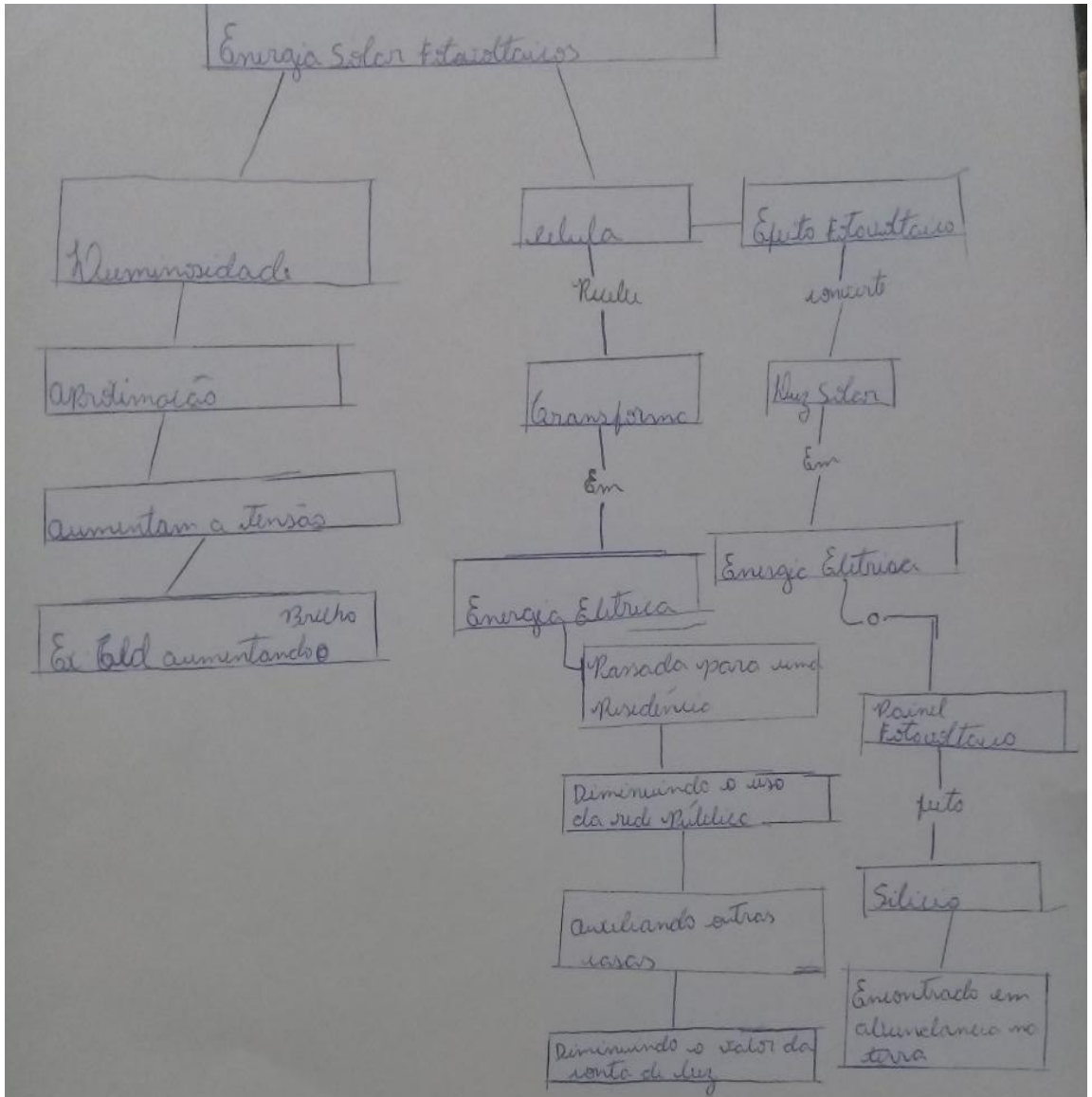
Na próxima seção estão alguns dos mapas conceituais produzido pelos grupos sobre a SEI 02.

5.6.3. Mapas conceituais apresentados pelos grupos na SEI 02

Nesta subseção estão alguns dos mapas relacionados a SEI 02 produzidos pelos alunos e apresentados por grupo, os mapas foram feitos inicialmente em folha de papel A4, alguns grupos utilizaram a ferramenta *Camp Tools* para elaboração e apresentação.

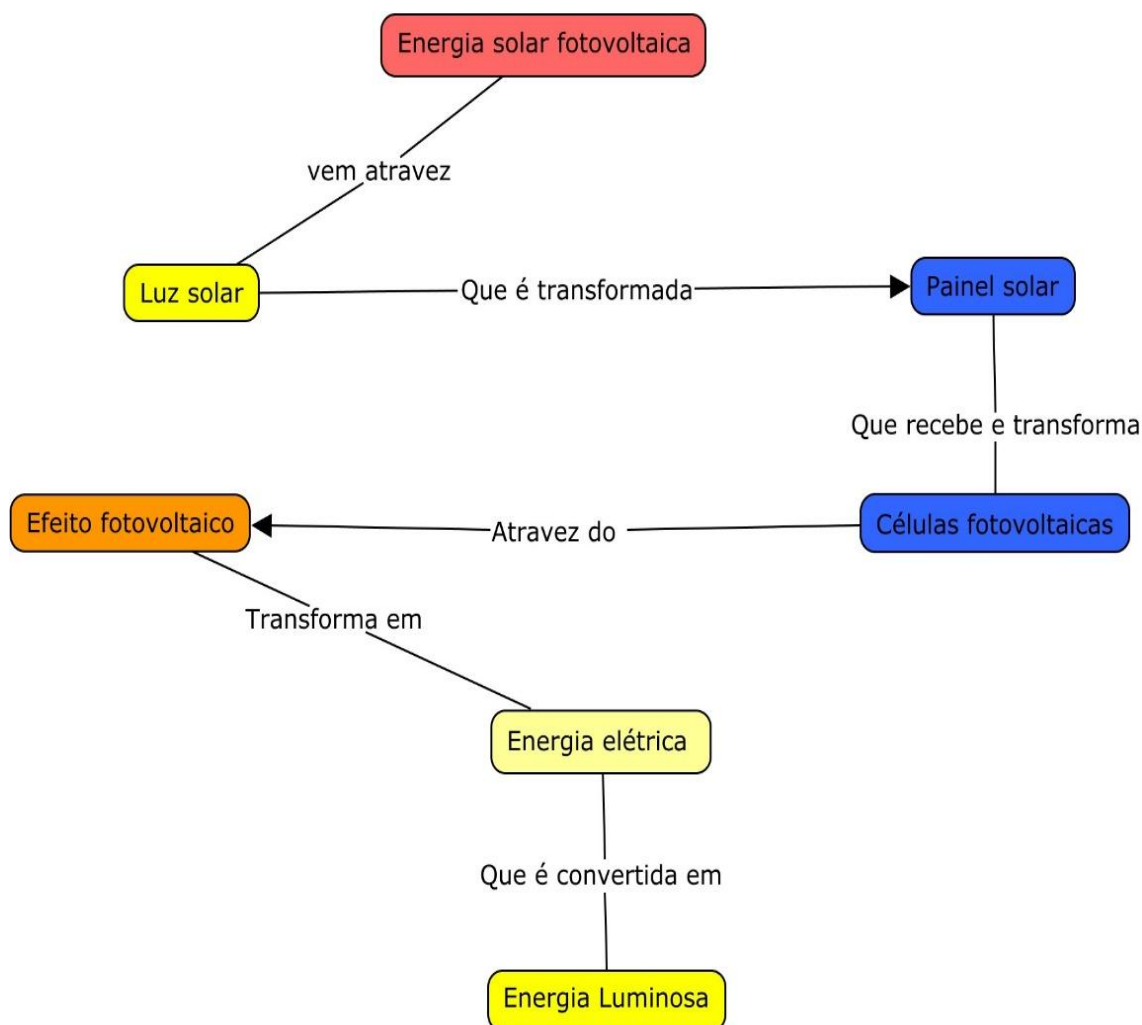
Este mapa conceitual da figura 33 foi produzido pelo grupo B em folha A4.

Figura 33-Mapa conceitual-Grupo B



Fonte: Grupo B

Figura 34-Mapa Conceitual produzido pelo Grupo E na SEI 02



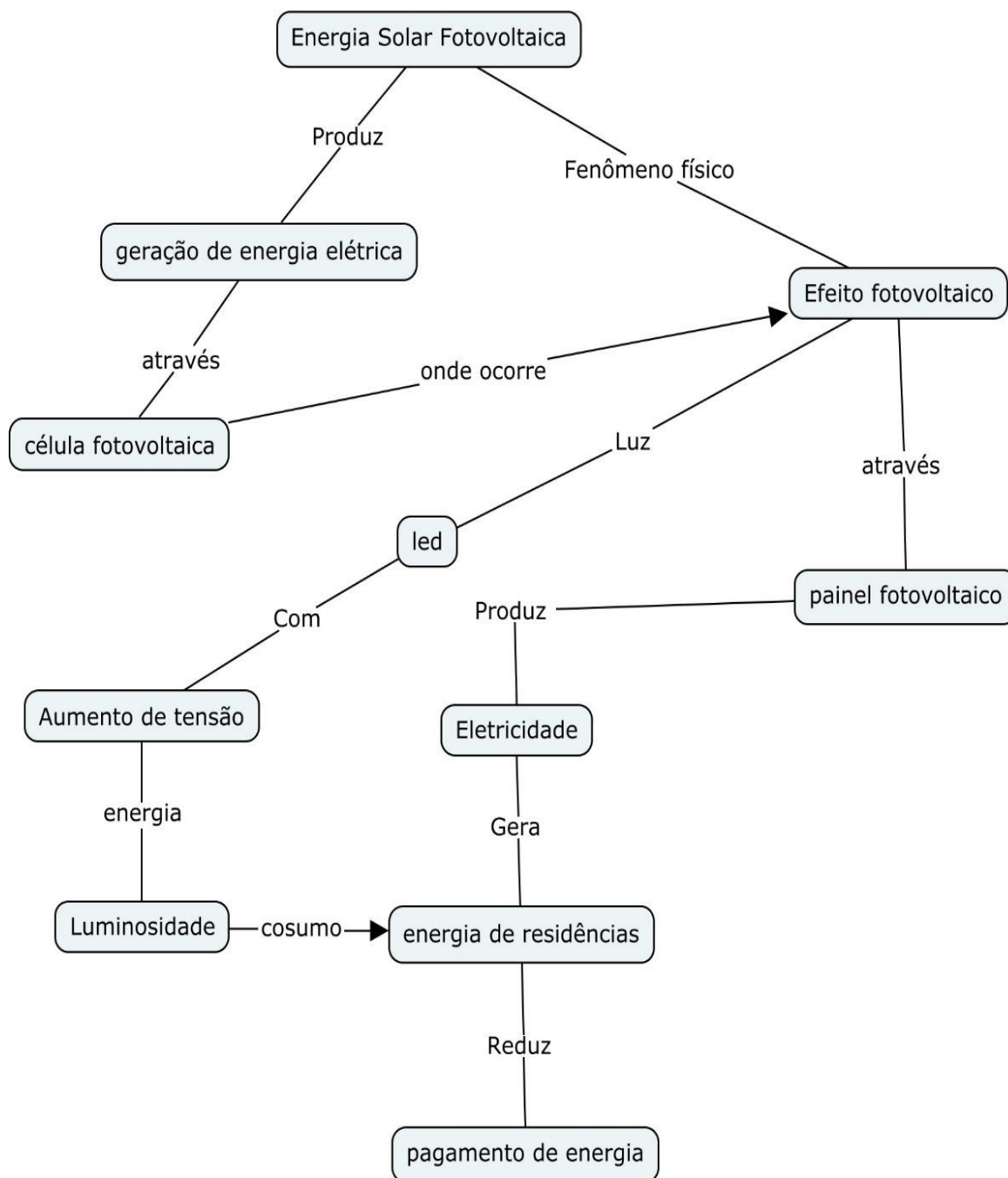
Fonte: grupo E

O mapa conceitual da figura 34 elaborado pelo grupo E foi produzido com o auxílio do *Cmap Tools*. O grupo foi orientado a utilizar a ferramenta e apenas transcreveram o que produziram em uma folha de papel A4.

De acordo com os critérios estabelecidos na avaliação dos mapas conceituais do segundo encontro na subseção 5.3.2, o mapa da figura 34 apresenta os conceitos relacionados a conversão fotovoltaica de forma linear obedecendo a hierarquia entre os conceitos e usam de forma coerente as palavras de encaixe. Em relação a estrutura do mapa, pouca criatividade e apenas de forma linear, mas isso se deve pelo fato de pouca experiência com elaboração de mapas conceituais assim com o uso da ferramenta *Cmap Tools*.

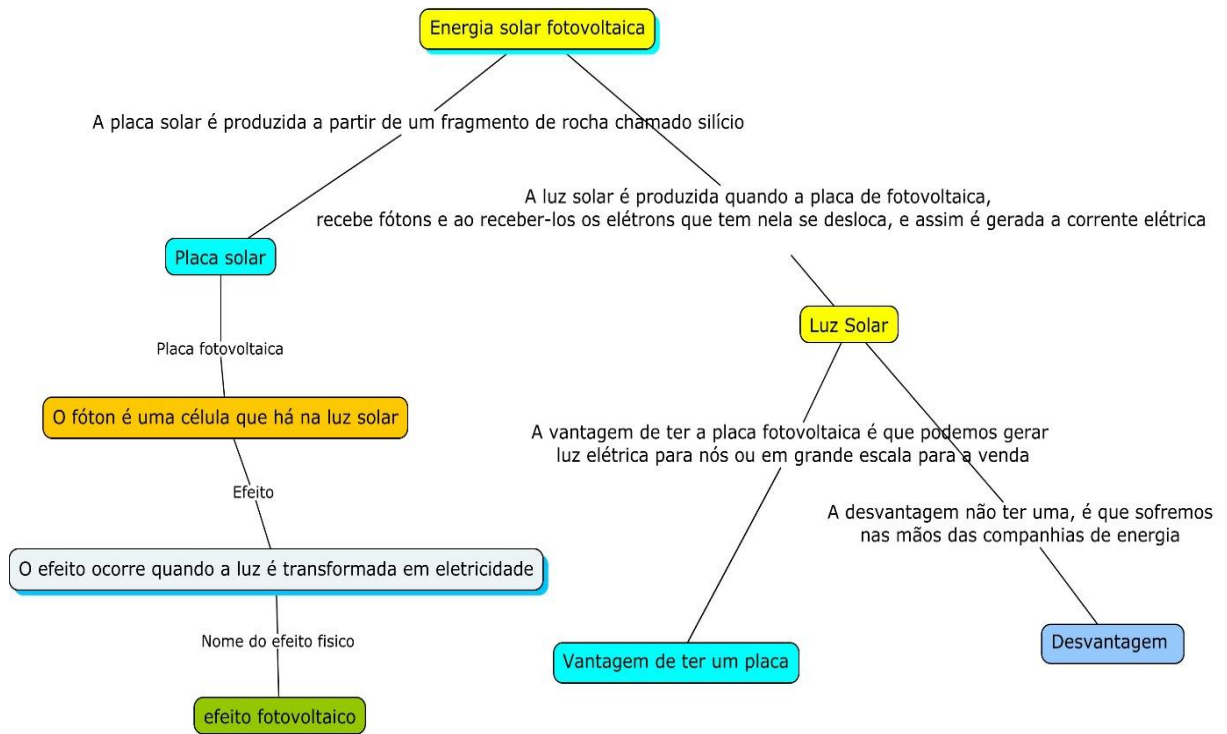
Na figura 35 o mapa conceitual produzido pelo grupo F também utilizou a ferramenta *Camp Tools* para melhorar a estética e a forma de apresentação do entendimento dos conceitos estudados. Este mapa apresenta mais elementos e inter-relações entre os conceitos.

Figura 35-Mapa Conceitual do grupo F



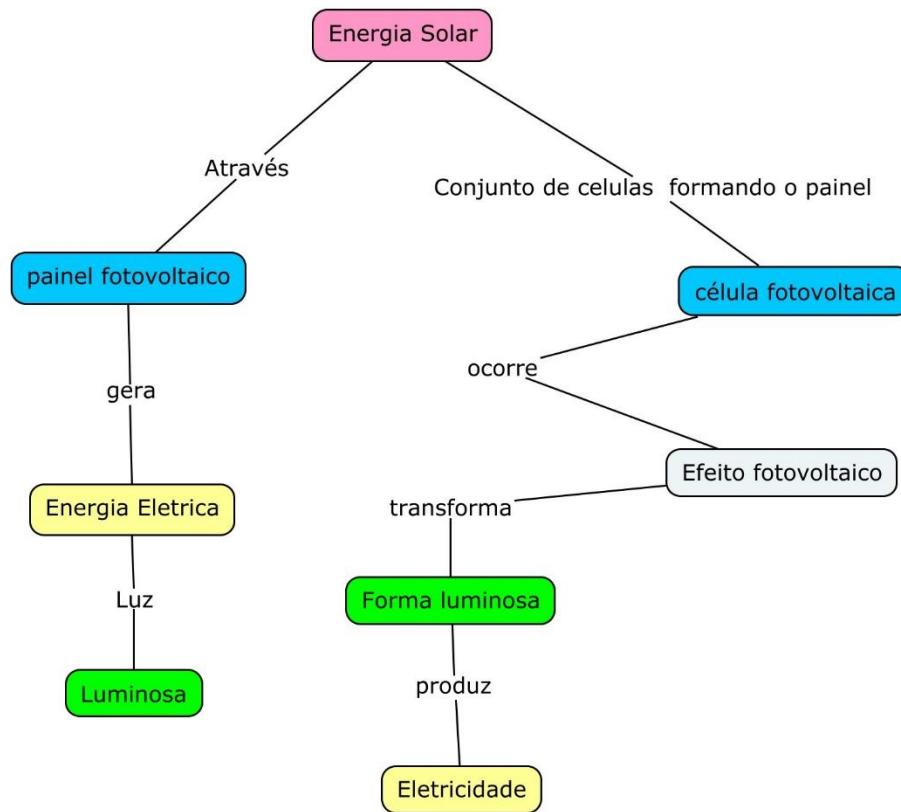
Fonte: grupo F

Figura 36-Mapa Conceitual do Grupo G



Fonte: grupo G

Figura 37-Mapa Conceitual do grupo A



Fonte: grupo A

Os mapas conceituais foram apresentados por grupo, no total sete mapas, estes apresentam uma maior diversidade de conceitos e níveis de hierarquia, que configuram uma sequência que parte de conceitos mais gerais até os mais específicos, passando por diferentes níveis intermediários. As inter-relações entre conceitos evidenciam que nem todas as linhas de entrecruzamento, apresentaram palavras de enlace. Porém, a maioria das proposições, ou seja, dois ou mais termos conceituais unidos por palavras de enlace, apresentaram significado lógico. Em relação ao terceiro critério, a maioria são em rede, apresentaram relações cruzadas, hierárquicas, usam de forma mais criatividade do que os da SEI 01, o que demonstra um crescimento de habilidades com a ferramenta e uma melhor representatividade dos conteúdos abordados.

Nos mapas os alunos apresentaram conceitos representativos dos conteúdos abordados em ambas as SEIs, relacionados e organizados hierarquicamente, dos mais gerais aos mais detalhados, os que foram representados por exemplos específicos. Com base na Teoria de Vergnaud, acredita-se que o processo de construção levou os alunos a estabelecerem relações entre os novos conteúdos e seus conhecimentos prévios, criando maiores possibilidades de interconexões conceituais. Desta forma, o mapa conceitual se revelou um instrumento importante e inovador, para desenvolver práticas avaliativas comprometidas em apreender os processos de aprendizagem dos alunos.

Nesse sentido, entende-se que as possibilidades da esquematização residem na organização do conjunto de conteúdos estudados; no reconhecimento dos aspectos conceituais mais importantes, funcionando como um guia para emergirem novas interconexões; na captação de indícios quanto ao envolvimento dos alunos com os eixos das SEIs com base nos significados estabelecidos entre os conceitos.

A análise empreendida mostrou-se valiosa como uma ferramenta de trabalho para o professor da área de ensino de Física.

5.7. A questão dos invariantes operatórios analisados por grupo

Para Vergnaud, a mudança conceitual seria decorrente da explicitação das competências, de seus invariantes operatórios, por intermédio de sua expressão, discussão e integração em sistemas explicativos coerentes.

Embora já tenhamos refletido e explicitado os caminhos didáticos percorridos para uma tentativa vergnaudiana de explicação dos elementos básicos constituintes do efeito fotovoltaico, queremos deixar claro que todo o processo de conceitualização, de construção dentro de um campo conceitual, e especialmente na formação deste, dependem do triplo (S,I, R), mas tem como alicerce principal os conceitos em ato (os invariantes) e a forma com que se trabalha sua localização. Sim, localização, por que por meio deles, é que os aprendizes constroem seus conceitos e o professor pode analisar as rupturas e linearidades supostas de existir nas estruturas cognitivas de seus alunos.

Com base neste viés e na avaliação por meio da taxonomia SOLO, fazemos alguns comentários do desempenho dos grupos a respeito do fenômeno físico estudado.

5.7.1. Grupo A

Na primeira sequência de ensino (SEI 1), os alunos demonstram um certo domínio sobre os conceitos de energia mecânica e suas condições. A interação professor-aluno deu-se de forma natural, como de costume cotidiano das aulas do docente regente. Na análise dos dados sobre o procedimento experimental e do questionário 2 verificou-se um bom engajamento entre os componentes do grupo e uma busca por informação que complementassem suas respostas. Verificou-se também que os alunos apresentam dificuldades na forma de representar seus conhecimentos e organizar o pensamento de forma coerente.

5.7.2. Grupo B

Verificou-se que durante a execução da atividade experimental, os alunos mostraram muito interesse e bom desempenho na execução das tarefas, levantaram muitas questões

importantes e também apresentaram dificuldades na forma de expressar os conhecimentos adquiridos. Algumas intervenções foram feitas no sentido de organizar o pensamento e corrigir alguns termos da literatura científica.

5.7.3. Grupo C

Neste grupo verificou-se que durante a execução da atividade experimental, alguns alunos não interagem com outros colegas de forma a investigar o fenômeno físico, e pouca colaboração na hora de responder os questionários. Alguns textos e reportagens foram disponibilizados durante as aulas para melhorar a leitura e informações. Algumas intervenções foram feitas no sentido de organizar o pensamento e corrigir alguns termos da literatura científica. Os alunos demonstram também uma certa dificuldade em trabalhar em grupo, como dividir as tarefas e escolher seu representante para a defesa nos debates. Foi necessária uma atenção a mais no sentido de contextualizar o objetivo deste estudo e a importância do trabalho em equipe. Feito isso, os alunos se mostram mais engajados, não obstante, ainda residam os problemas de conceito, comportamento, notação e coerência na forma de expor o raciocínio.

5.7.4. Grupo D

O grupo apresentou algumas respostas diretas e não fundamentadas e com isso, apresentamos algumas tarefas complementares como: utilizar as simulações computacionais (mais vezes que os outros grupos), depois propomos uma atividade em que tivessem que divulgar a alguns moradores da comunidade onde moravam sobre esse tipo de energia a “energia solar fotovoltaica” e como eles apresentariam essas informações. Então o grupo apresentou pra turma de forma teatral, simulando a divulgação com uma linguagem mais cuidadosa. O fato de terem criados estratégias de divulgação os ajudou a desenvolver e fundamentar as perguntas e respostas sobre o tema. Verificou-se uma melhora na maneira de expressar as respostas, porém com os mesmos problemas conceituais.

5.7.5. Grupo E

Além de muitas respostas em branco e outras incompletas, os alunos não apreenderam muito bem alguns conceitos, como conversão de energia e característica de materiais semicondutores. A aprendizagem foi muito mais mecânica do que significativa, houve alguns erros na análise dos resultados, tanto de grafia quanto conceituais. Verificamos que a falta de colaboração no trabalho em grupo, leitura e investigação deixaram uma lacuna na construção do invariante operatório nos mesmos.

5.7.6. Grupo F

Neste grupo os alunos construíram bem o conceito conversão de energia fotovoltaica. Apresentaram de maneira bem fundamentada suas respostas. Algumas correções foram feitas no sentido organizar o pensamento do grupo em descrever o fenômeno físico por etapas.

5.7.7. Grupo G

Este grupo apresentou dificuldades em relação a circuitos elétricos, algumas ações foram necessárias como, exercícios de circuito simples e conceitos a respeito de grandezas elétricas. Com alguns exercícios, houve uma melhora de forma que realizaram a tarefa de explicar o circuito do experimento para a turma depois de algumas explicações dadas pelo professor responsável.

Observações da aprendizagem

A análise dos resultados demonstrou características importantes sobre a aprendizagem dos alunos, suas dificuldades em compreender novos conceitos, dificuldades de leitura e escrita e a maneira como se expressar em linguagem formal. Por outro lado, os alunos demonstraram que com motivação e orientação adequada, podem assumir uma postura mais

comprometida. Com o objetivo de analisar os desenvolvimentos conceituais consecutivos à aprendizagem no uso de instrumentos particulares a partir do conceito definido por Vergnaud, como já afirmamos, estas dificuldades podem vir a se modificar de acordo com o desenrolar fenomenológico.

Conforme um dos pressupostos básicos da teoria dos campos conceituais, o conhecimento constitui-se e desenvolve-se no tempo em interação adaptativa do indivíduo com suas experiências e é fruto de três fatores: maturação, experiência e aprendizagem. O ponto de partida de sua teoria é a premissa de que todo o conhecimento emerge da resolução de problemas (teórico ou prático).

Uma situação-problema, por sua vez, por mais simples que seja, sempre envolve mais que um conceito. Em contrapartida, para adquirirmos um conceito, precisamos interagir com ele inúmeras vezes, o que é possível dentro de situação aprazíveis. Dessa forma não faz sentido para Vergnaud falar em formação de um conceito, mas sim, na formação de um campo conceitual, que é definido como conjunto de situações cuja apropriação requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas.

Esta proposta de trabalho implica em algumas limitações a citar a necessidade de criação de mais situações que envolvem os conceitos de interesse do estudo, além do fator de tempo. Este produto educacional foi aplicado em cinco encontros, mas seriam necessários mais encontros para que os alunos pudessem se aprofundar nos conceitos estudados. A elaboração dos mapas conceituais também requer mais tempo de uso para poder expressar de forma coerente o que os alunos aprenderam, por ser uma ferramenta pouco utilizada no cotidiano dos alunos envolvidos neste trabalho, tivemos que rever muitos pontos importantes na construção dos mapas, como por exemplo as palavras de encaixe. No entanto, os alunos demonstraram interesse em construir e desenvolver os mapas utilizados como avaliação do conhecimento adquirido. Em relação os experimentos, é necessário ajuste para que tenha flexibilidade entre os componentes dos grupos onde todos possam realizar etapas de investigação.

Notamos que na aplicação dessas metodologias, os alunos demonstraram uma melhora no uso da linguagem científica e com a utilização da taxonomia SOLO foi possível identificar em que nível as respostas dos alunos se aproximavam dos conhecimentos científicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentamos uma proposta de abordagem do efeito fotovoltaico no ensino médio a partir de discussões de situações que fazem parte da vivência dos estudantes. Para isso, desenvolvemos, um *kit* experimental para estudo do efeito fotovoltaico e elaboramos uma estratégia de ensino investigativas para nortear sua aplicação didática. Buscamos traçar uma metodologia capaz de promover a alfabetização científica dos alunos e de contribuir na construção do conhecimento. A proposta de investigar o efeito fotovoltaico através de um problema experimental tornou o trabalho mais desafiador, cumprir todas as etapas da investigação, desde a elaboração das hipóteses até a análise dos resultados foi importante para o estudo que visa a alfabetização científica dos alunos. Nesse sentido, a proposta das atividades experimentais, teve como objetivo proporcionar aos alunos um contato mais direto com os fenômenos físicos. Desse modo, a maneira como essas práticas são conduzidas na sala de aula se torna muito importante para que os alunos se sintam parte do processo de construção do conhecimento.

O material selecionado para a atividade experimental sempre tem um papel fundamental para promover o que os alunos vão observar e aprender, ou para confundir-los. A simplicidade ou complexidade, a novidade ou a familiaridade dos materiais de laboratório tornam-se uma importante variável, que os professores precisam considerar para promover uma aprendizagem de forma efetiva. É preciso levar em consideração que os estudantes focam suas atenções primeiramente no novo material e em seu funcionamento, para depois, prestarem atenção no conceito científico.

Trabalhos em grupos (outra importante variável a ser considerada), apresentam muitas dificuldades como: afinidade entre os componentes, divisão de tarefas e confiança nos colegas. Essas dificuldades se mostraram presentes durante a aplicação deste trabalho, mas é importante ressaltar como o envolvimento nas tarefas revelam capacidades desenvolvidas pelos alunos quando precisam defender o ponto de vista do seu grupo, se mostrou interessante quando um grupo questionava o outro durante os debates. A implementação das sequências de ensino investigativo se mostrou muito eficiente na condução das aulas e no modo como os alunos estudam um determinado conceito. Com as análises feitas através da taxonomia SOLO foi possível identificar possíveis invariantes operatórios presentes nas respostas dos alunos e com isso, verificar quais dificuldades apresentadas para que houvesse intervenção no sentido de conduzir o aluno a um aprendizado que visa a alfabetização científica.

Os resultados da pesquisa nesta experiência de ensino mostram que é possível realizar um estudo sobre o efeito fotovoltaico no ensino médio através de sequências de ensino investigativas fundamentada na teoria de Campos Conceituais de Vergnaud. Esta teoria é importante para entender o domínio de um campo conceitual assim como para buscar invariantes operatórios que possam estar servindo como obstáculo para aprendizagem, uma vez que tal aprendizagem é um processo onde uma nova informação interage com conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva dos estudantes. Os invariantes operatórios, não são tão evidentes e podem de maneira sutil, atrapalhar o domínio de um campo conceitual. A geração de energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico, complementa os estudos dos alunos do terceiro ano, que estavam envolvidos no campo conceitual da eletricidade. Verificamos que é possível identificar nas respostas verbais, nos questionários e mapas conceituais, invariantes operatórios sobre o estudo do efeito fotovoltaico, alguns se aproximam do conhecimento científico. No entanto, algumas dificuldades em relação a linguagem científica e organização de pensamentos se apresentaram como obstáculos na hora de expressar o conhecimento, ou seja, os alunos apresentaram dificuldades na forma de representar seus conhecimentos e organizar o pensamento de forma coerente.

REFERÊNCIAS

- AMANTES, Amanda. O entendimento de estudantes do Ensino Médio sobre Movimento Relativo e Referencial Inercial. Dissertação de Mestrado, UFMG, 2005, 183p.
- AMANTES, A.; BORGES, O. Uso da taxonomia SOLO como ferramenta metodológica na pesquisa educacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2008, Florianópolis. Anais... Belo Horizonte: FAE\UFMG, v. Único. p. 1-12, 2008.
- BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Cary D.; DIAS, Helio. **Física para universitários**. AMGH Editora Ltda. São Paulo. 2012.
- BRASIL, A. S. D. Centro de referência para as energias Solar e Eólica Sérgio S. Brito-CRESESB. **Centro de referência para as energias Solar e Eólica Sérgio S. Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=2>>. Acesso em: 05/12/2018 Dezembro 2018.
- BIGGS, J.; COLLIS, K. **Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy**. New York: Academic Press, 1982.
- BUHLER A. J. Estudo de técnicas de determinação experimental e pós processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos. UFRGS. RS. 2011. (Tese de Doutorado).
- CAMPOS, Alexandre. A conceitualização do Princípio de conservação da Energia Mecânica: os processos de aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais. 2014. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CAPECCHI, M. C. M.; CARVALHO A. M. P. Atividades de laboratório como Instrumentos para a abordagem de aspectos da cultura científica em sala de aula, Por Posições, v. 17, n. 1 (49), p. 137-153, 2004.
- CAVALCANTE, Marisa Almeida. TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano. MOLISANI, Elio. Física com Arduino para iniciantes. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, 4503 (2011).
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de, RICARDO, Élio Carlos, SASSERON, Lúcia Helena, ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos, PIETROCOLA, Maurício. **Ensino de física - coleção ideias em ação**. Editora CENGAGE, 2011.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. SASSERON, Lúcia Helena. **Alfabetização Científica: Uma Revisão Bibliográfica**. (Scientific Literacy: a bibliographical review). 2011.
- CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. **Sequências de Ensino Investigativas – SEI: o que os alunos aprendem?** In: TAUCHEN, G.; SILVA, J. A. da. (Org.). Educação em Ciências: epistemologias, princípios e ações educativas. Curitiba: CRV, 2012.
- CARVALHO, A.M.P. **O ensino de ciências e a proposição de sequencias de ensino investigativa**. In: Carvalho, A. M. P. (org.). Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo, Cengage Learning. 2013.
- FREITAS, S. S. A. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. 104 f. Mestrado em Engenharia Industrial-Eletrotécnica. Instituto Politécnico de Bragança – Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Portugal. 2008.

- GRINGS, Edi Terezinha de.; CABELLERO, Concesa.; MOREIRA, Marco Antônio. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 463-471, (2006)
- GOMES DE SOUSA, C.M S.; FÁVERO, M. H. Análise de uma situação de resolução de problemas de física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, á luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1): 55-75, 2002.
- GOMES DE SOUSA, C.M S.; LARA, A. E. Análise de procedimentos de resolução de problemas em Conteúdos de ondas, em nível universitário básico, na perspectiva dos campos conceituais. IV encontro nacional de pesquisa em educação em Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)* - e-ISSN: 1984-2686. (2004).
- HEWIT, P. G. **Física conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 12 ed. 2015.
- LIMA, Melina Silva de; SANTOS, José Vicente Cardoso. **A teoria dos Campos Conceituais e o ensino de Cálculo**. Curitiba-PR. Anris. 2015
- MAHON, J. R. P. **Mecânica Quântica: Desenvolvimento Contemporâneo com Aplicações**. Rio de Janeiro. LTC, 2011.
- MOREIRA, M. A. (2000). Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.22, n.1, p.1
- MOREIRA, M. A (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e A pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências – V7(1)*, pp. 7-29, 2002.
- MOREIRA, M.A. *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*. São Paulo: Centauro Editora. 2010
- NOVAK, Joseph D.; CAÑAS, Alberto J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los *Práxis Educativa*, Ponta Grossa, v.5, n.1, p. 9-29, jan.-jun. 2010. Disponível em <<http://www.periodicos.uepg.br>>.
- PCN+ **Ensino Médio: Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. 2002. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>
- PLAISANCE, E.; VERGNAUD, G. **As ciências da Educação**. Tradução de Nadyr de Salles Pentado e Odila Aparecida de Queiroz. São Paulo: Edições Loyola, 2003.
- Projeto de Instalação de energia solar na comunidade de Santa Marta - RJ. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=A11YIvyJhDc>> acesso: em 7 ago. 2018.
- REIS, Lineu bélico dos, **Geração de energia elétrica**, 2ªed, Barueri, São Paulo, Manole, 2011.
- SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a Proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências – V13 (3)*, pp.333-352, 2008.
- SILVA, J. A. et al. Energia Solar Fotovoltaica: Um tema gerador para o aprendizado de Física. *Scientia Plena*. Sergipe, v. 13, n. 01, jan. 2017. Disponível em: <<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/3506>>. Acesso em 27 abr. 2018.

- SOARES, Debiano Alves. Micro usina solar e o efeito fotovoltaico para alunos do terceiro ano do ensino médio. 2018. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília.
- SOUSA, Francisco Etan Batista. Princípios quânticos no ensino médio: energia solar como ferramenta de ensino. 2015. Monografia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- SOUZA, José Ricardo da Silva. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações para o ensino médio. 2016. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Pará, Belém.
- SOUZA, Nádía Aparecida.; BORUCHOVITCH, Evely Boruchovitch. Mapa conceitual: seu potencial como instrumento avaliativo. Pro-Posições, Campinas, v. 21, n. 3 (63), p. 173-192, set./dez. 2010
- SWART J. W. SEMICONDUTORES: **Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. Ed. UNICAMP, 2008.
- TEIXEIRA I.M.C, Teixeira J.P.C. **Conceitos Básicos de Electrónica**. 2003
- TIPLER, P.A; MOSCA, G. **Física cientistas e engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2009
- TORRES, Regina Célia. Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- VERGNAUD, Gérard. **A criança, a matemática e a realidade**. Edição revisada. UFPR. 2011.
- VERGNAUD, G. (1990) La théorie des champs conceptuels. Recherches en didactique des Mathématiques, 10 (23): 133-170.
- VERGNAUD, G. (1988). Multiplicative structures. In Hilbert, J. and Behr, M. (Eds). Research Agenda in Mathematics Education. Number, Concepts and Operations in the Middle Grades. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum. Pp. 141-161.
- VERGNAUD, G. (1998) A comprehensive theory of representation for mathematics education. Journal of Mathematical Behavior, 17(2): 167-181.
- VERGNAUD, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds) The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics. Albany, N.Y.: State University of New York Press. Pp. 41-59.
- YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A., **FÍSICA I -Mecânica**, 12a ed. São Paulo, Addison Wesley, 2009.
- ZILLE, Roberto. MACÊDO, Wilson Negrão. GALHARDO, Marcos André Barros. OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Oficina de Textos, São Paulo, 2012.

APÊNDICE A: Informações sobre a energia solar

ENERGIA SOLAR

Energia solar é um termo que se refere à energia proveniente da luz e do calor do Sol. É utilizada por meio de diferentes tecnologias em constante evolução, como o aquecimento solar, a energia solar fotovoltaica, a energia heliotérmica, a arquitetura solar e a fotossíntese artificial. Tecnologias solares são amplamente caracterizadas como ativas ou passivas, dependendo da forma como capturam, convertem e distribuem a energia solar. Entre as técnicas solares ativas estão o uso de painéis fotovoltaicos, concentradores solares térmicos das usinas heliotérmicas e os aquecedores solares.

Na geração fotovoltaica, a energia luminosa é convertida diretamente em energia elétrica. No seu movimento de translação ao redor do Sol, a Terra recebe $1\,410\text{ W/m}^2$ de energia, medição feita numa superfície normal (em ângulo reto) com o Sol. Disso, aproximadamente 19% é absorvido pela atmosfera e 35% é refletido pelas nuvens. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar está na forma de luz visível e luz ultravioleta. As plantas utilizam diretamente essa energia no processo de fotossíntese. Nós usamos essa energia quando queimamos lenha ou combustíveis minerais. Existem técnicas experimentais para criar combustível a partir da absorção da luz solar em uma reação química de modo similar à fotossíntese vegetal — mas sem a presença destes organismos. A radiação solar, juntamente com outros recursos secundários de alimentação, tal como a energia eólica e das ondas, hidro-eletricidade e biomassa, são responsáveis por grande parte da energia renovável disponível na Terra. Apenas uma minúscula fracção da energia solar disponível é utilizada.



A energia solar é a conversão da luz solar em eletricidade, quer diretamente utiliza energia fotovoltaica (PV - sigla em inglês), ou indiretamente, utiliza energia solar concentrada (CSP). Sistemas CSP usam lentes ou espelhos para focar uma grande área de luz solar em uma pequena viga, enquanto a PV converte a luz em corrente elétrica usando o efeito fotoelétrico. Em 2013, a energia solar gerava menos de 1% do total da rede mundial de eletricidade. Estima-se que a energia solar se torne a maior fonte mundial de eletricidade em 2050, sendo que a energia solar fotovoltaica e a energia solar concentrada contribuirão com 16 e 11 por cento da demanda de consumo global, respectivamente.

Usinas solares comerciais foram desenvolvidas na década de 1980. Desde 1985 a instalação SEGS CSP, de 354 MW, no deserto de Mojave, na Califórnia, é a maior usina de energia solar do mundo. Outras grandes usinas incluem a Usina Solar de Solnova (150 MW) e a Usina Solar de Andasol (100 MW), ambas na Espanha. O Água Caliente Solar Project, de 250 MW, nos Estados Unidos, e o Parque Solar Charanka (221 MW), na Índia, são maiores centrais fotovoltaicas do mundo. Estão sendo desenvolvidos projetos de energia solar superiores a 1 GW, mas a maioria das células fotovoltaicas implantadas estão em pequenas matrizes de telhado de menos de 5 kW, que são ligadas à rede.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico. A transformação da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica um fenômeno físico conhecido como efeito fotovoltaico. Observado primeiramente pelo físico francês Edmond becquerel em 1839, o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade. A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas. Com isso, cargas elétricas são liberadas e podem ser utilizadas

para realização de trabalho. O efeito fotovoltaico é uma característica física intrínseca ao material que compõe os dispositivos de conversão fotovoltaica. (BUHLER, 2011)

O efeito fotovoltaico consiste em converter a luz solar em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas. Estas células são feitas a partir de dispositivos semicondutores de silício com adição de impurezas de certos elementos químicos. As células fotovoltaicas são capazes de gerar eletricidade DC utilizando radiação solar como fonte.

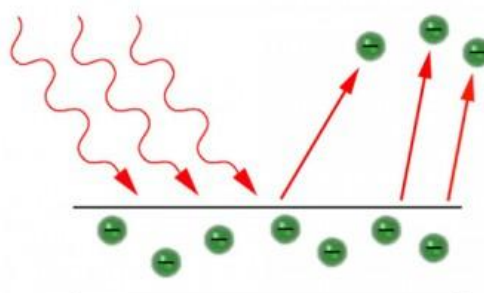
Este efeito fotovoltaico é o princípio de células fotovoltaicas e é, portanto, essencial para a produção de eletricidade solar. As células são montadas em série em painéis fotovoltaicos ou módulos solares para obter uma tensão adequada. Parte da radiação incidente é perdida pela reflexão (saltos) e outra parte pela transmissão (atravessa a célula). O resto é capaz de saltar elétrons de uma camada para outra, criando uma corrente proporcional à radiação incidente.

Características do efeito fotovoltaico

Materiais semicondutores (como o silício) têm a peculiaridade de apresentar um comportamento diferente à eletricidade. O comportamento dos semicondutores depende se uma fonte externa de energia os excita ou não. Esta fonte de energia seria a radiação solar.

Como o efeito fotovoltaico é produzido?

O efeito fotovoltaico começa no momento em que um fóton atinge um elétron da última órbita de um átomo de silício. Este último elétron é chamado de elétron da valência e recebe a energia com a qual o fóton viajou. o fóton não é outra coisa senão uma partícula de luz radiante. Se a energia adquirida pelo elétron excede a força de atração do núcleo (energia de valência), ele deixa sua órbita e se liberta do átomo e, portanto, pode viajar através do material. Neste momento, diríamos que o silício se tornou um condutor (banda de condução) e, para isso, é necessário que a força de impacto de um fóton seja, no mínimo, 1,2 eV.



Cada elétron libertado atrás de um furo, ou espaço, até que ele ocupa um elétron saltou de outro átomo. Estes movimentos de elétrons liberados ou espaços que deixam para trás é o que é chamado de cargas elétricas. Esta corrente de carga pode alcançar os contatos e deixar o material para realizar um trabalho útil. Para que isso aconteça de maneira constante e regular, é necessário que exista a presença de um campo elétrico de polaridade constante. Este campo polariza as partículas e atua como uma bomba real que impulsiona os elétrons em uma direção e, os buracos, no sentido oposto.

Nas células solares convencionais, o campo elétrico (0,5 V) é formado por uma junção PN, ou seja, uma área do material possui excesso de elétrons (carga negativa), enquanto o outro possui falta de elétrons (carga positiva), de modo que, quando liberado, um elétron seja conduzido através do material para os condutes prateados, baixa resistividade.

Se a energia adquirida pelo elétron excede a força de atração do núcleo (energia de valência), ele deixa sua órbita e se liberta do átomo e, portanto, pode viajar através do material. Neste momento, diríamos que o silício se tornou um condutor (banda de condução) e, para isso, é necessário que a força de impacto de um fóton seja, no mínimo, 1,2 eV.

Importância dos fótons no efeito fotovoltaico

Correspondentes a comprimentos de onda mais curtos (UV) fótons têm maior nível de energia (2 a 3 volts de elétrons) que corresponde ao comprimento de onda maior (radiação infravermelha).

Cada material semicondutor tem uma energia mínima que permite que os elétrons sejam liberados de seus átomos. Essa energia corresponderá a fótons de uma determinada faixa de frequências (gap) que vão desde aqueles associados com o ultravioleta às cores visíveis, exceto pelo vermelho que já possui uma energia associada menor de 1,2 elétron volts.

Nem todos os fótons atingem a meta de separar elétrons. Isso ocorre porque a passagem do material sempre implica uma certa perda de energia. Essa perda de energia significa que, no momento da colisão, alguns fótons já perderam muita energia para deslocar um elétron. Essas perdas devido a não absorção dependem apenas das propriedades do material e são inevitáveis.

Há também uma porcentagem de fótons que chegam a atravessar a película semicondutora sem encontrar qualquer elétron e outros que iluminam a superfície do material

e são refletidos (perdas de reflexo). Estas perdas podem ser reduzidas através de tratamentos anti-reflexos da superfície da célula fotovoltaica. Nestes casos, o efeito fotovoltaico não ocorreria.

Somente a geração de um par de elétrons-furos é obtida para cada fóton com energia cinética maior que a energia mínima (gap) que consegue penetrar no material e termina com um elétron de valência.

APÊNDICE B: Produto Educacional



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Produto Educacional

INVESTIGANDO O EFEITO FOTOVOLTAICO NO ENSINO MÉDIO

Djamilton Foicinha Campelo



Autor: Djamilton Foicinha Campelo

Orientador: Prof. Dr. Karl Marx Silva Garcez

Coorientadora: Prof.^a Karla Cristina Silva Sousa

Capa e produção editorial: Ricardson Borges Vieira

Foto da capa: Skitterphoto, 2013 (Pexels.com).

Apresentação

Prezado (a) Professor (a),

Este Trabalho foi desenvolvido com o intuito de orientá-lo quanto a elaboração e utilização didática de Sequência de Ensino Investigativa (SEIs) no estudo da conversão da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica, o efeito fotovoltaico. O referido material é o produto educacional referente à conclusão de dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Maranhão – MNPEF – Polo 47 – UFMA, intitulada: **“SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ESTUDO DO EFEITO FOTOVOLTAICO EM UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL NA PERSPECTIVA DA TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD”**.

Pensando em um ensino voltado para inserção dos alunos na cultura científica. As Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) são uma maneira organizada de promover o ensino em sala de aula traduzindo fenômenos Físicos em problemas interessantes para os alunos, possíveis de serem resolvidos e principalmente que suas resoluções encaminhem os estudantes na direção dos conhecimentos científicos e promova um processo de alfabetização científica.

O Autor.

Primeiras palavras...

Começando com uma breve apresentação, me formei em 2008 na primeira turma do curso de Física licenciatura da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), minha trajetória como professor começou em 2006 em uma pequena escola particular, onde comecei ministrando aulas de matemática para o 6º ano. Nos anos seguintes assumi a disciplina de Ciências nas turmas do 9º ano até 2008. A partir de 2009 comecei a ministrar aulas no ensino médio como professor de Física contratado pela rede Estadual de ensino do Estado do Maranhão. No ano de conclusão deste trabalho (2019), assumi o cargo de professor substituto na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e desde 2014 atuando também como professor de Física em uma Faculdade particular. Assim como eu, muitos professores (principalmente no início da carreira) precisam ministrar aulas em várias instituições de ensino pra manter seu sustento, passei por muitas instituições tanto na rede pública como na rede particular, com isso fui ganhando experiências de sala de aula me deparando com todas as problemáticas da profissão desde a educação básica até superior. A ideia de fazer um mestrado sempre me ocorreu, mas devido a carga de trabalho, ficava adiando. A fim de refinar as habilidades que adquiri na graduação e agregar novos conhecimentos na área específica de Física, bem como desenvolver competências metodológicas necessárias ao bom desempenho da atividade docente, ingressei em 2017 no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – programa em rede, com polos em vários estados, coordenado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) e que tem como foco o aperfeiçoamento de professores de física da educação básica. Com essa oportunidade, pude conciliar os estudos ao trabalho e assim concluir este trabalho como uma pequena contribuição para o ensino de Física.

Djamilton Campelo

Sumário

INTRODUÇÃO	4
A TERORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD	5
Campos Conceituais	6
Conceitos	6
Situações	7
Esquemas	7
Invariantes operatórios	8
O professor e o ensino na perspectiva de Vergnaud	8
CONSTRUINDO UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA (SEI)	9
Estratégias para elaboração da SEI 1	10
Sequência de ensino investigativa 01-Energia na pista de skate	11
O princípio da conservação da energia mecânica	12
Atividade 01 - Questões	14
A Influência do atrito	15
Construindo uma pista em forma de loop	16
Atividade 02 - Construindo mapa conceitual	18
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
O Efeito fotovoltaico	19
Estratégias para elaboração da Sequência de ensino 2	22
Sequência de ensino investigativa 02-O efeito fotovoltaico	23
Investigação 1 - Tensão de circuito aberto	23
Investigação 2 - Corrente de curto-circuito.....	24
Investigação 3 - Conectando a placa uma carga	25
Calculando a potência de uma célula solar	26
Calculando a eficiência da célula solar	27
Atividade 03 - Questões	28
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DE UMA PLACA FOTOVOLTAICA	29
A curva característica	29
O fator de forma FF	30
A eficiência de conversão	31
CARREGAMENTO DE UMA BATERIA ATRAVÉS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	33
CONSTRUINDO UM GRÁFICO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE UMA PLACA FOTOVOLTAICA	34
Atividade 04 - Questões	37
Atividade 05 - Construindo mapa conceitual	38
REFERÊNCIAS	39
Apêndice A	40

INTRODUÇÃO

A geração de energia é fundamental, e a sociedade moderna é dependente e beneficiada pelo uso da energia elétrica. Portanto, a produção de eletricidade é uma preocupação constante. Com incertezas quanto à disponibilidade de reservas fósseis no futuro, somado a pesada emissão de gases poluentes na atmosfera, a geração de eletricidade proveniente de fontes fósseis vem perdendo participação e consequentemente dando espaço à geração de energias limpas e renováveis (BENEDITO, 2009). Diante deste cenário, a energia solar tem sido foco de estudo para muitos pesquisadores nas últimas décadas, e muitos países desenvolvidos já vêm investindo confiantemente na energia gerada por sistemas fotovoltaicos (REIS, 2011).

A energia desempenha um papel fundamental na vida humana: ao lado de transportes, telecomunicações e águas e saneamento, compõe a infraestrutura necessária para incorporar o ser humano ao desenvolvimento vigente. Por isso, o tratamento dos temas energéticos no seio dessa infraestrutura será da maior importância para que se caminhe na busca de um desenvolvimento sustentável. Isso requer uma abordagem holística, multidisciplinar, num cenário composto por todas as dimensões do problema: tecnológicas, econômica, sociais, políticas e ambientais (REIS, 2011).

Este material tem por objetivo auxiliar o professor em suas aulas de Física, oferecendo leituras complementares e atividades práticas que abordam conteúdos relacionados a geração de energia elétrica através do estudo do efeito fotovoltaico. As atividades foram desenvolvidas através de duas Sequências de Ensino investigativas (SEIs). A primeira sequência com o objetivo de trabalhar os conceitos relacionados a conservação da energia, e a segunda aos conceitos relacionados a geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico.



A TERORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD

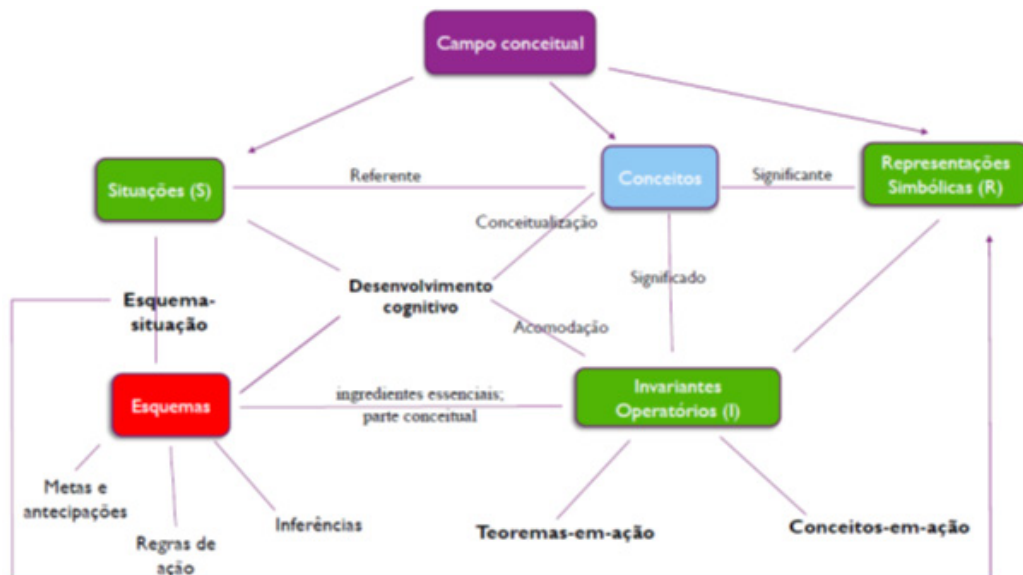
A teoria de campos conceituais de Gerard Vergnaud é uma teoria psicológica de conceitos, uma teoria cognitiva do processo de conceitualização do real. (VERGNAUD, 1990). Tal teoria estuda a evolução dos conceitos cotidianos para os conceitos científicos. O ser humano quando enfrenta a realidade, interpreta-a por meio de seus significados e suas representações. O ensino e a aprendizagem de ciências buscam aproximar esses significados e representações daqueles compartilhados pela comunidade científica.

Para Vergnaud (1990), o conhecimento está organizado em campos conceituais. O sujeito se apropria destes campos conceituais ao longo de muito tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem. Ele define campo conceitual como um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente relacionados durante o processo de aquisição.

Segundo (GRINGS, et. al, 2006), os conceitos-chave da teoria dos campos conceituais são, além do próprio conceito de campo conceitual, os conceitos de esquema, situação, invariante operatório (teorema-em-ação ou conceito-em-ação), e a sua concepção de conceito. Destes componentes, os mais importantes são os invariantes operatórios, cujas principais categorias são os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação, pois eles é que fazem a articulação entre teoria e prática, constituindo a base conceitual, em grande parte implícita, que permite obter informação apropriada e, a partir dela e dos objetivos, inferir as regras de ação mais pertinentes para abordar as situações. Teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente. Os conceitos de campo conceitual, conceito, situações, esquema, invariante operatório (teorema-em-ação ou conceito-em-ação), são a espinha dorsal da teoria de Vergnaud.



Figura 1 - Mapa conceitual para a Teoria de campos Conceituais de Vergnaud.



Fonte: (MOREIRA, 2002).

A figura 1 apresenta um mapa conceitual para a teoria de Vergnaud, ou seja, um diagrama conceitual destacando os conceitos-chave da teoria e suas principais interrelações. As palavras que aparecem sobre as linhas conectando os conceitos procuram explicitar a natureza da relação entre elas. Por exemplo, a relação entre situações e conceitos é referente, pois as situações é que dão sentido ao conceito, i.e., constituem o referente do conceito. As setas, quando existem, sugerem apenas uma direção para leitura.

A seguir serão apresentados alguns dos conceitos chave da teoria de Vergnaud.

Campos Conceituais

Campo conceitual é também definido por Vergnaud como um conjunto de problemas e situações cujo tratamento requer conceitos, procedimentos e representações de tipos diferentes, mas intimamente relacionados (MOREIRA, 2002, p.3). Um campo conceitual pode ser uma unidade de estudo, cujas situações, conceitos e procedimentos podem ser tratados de forma independente de outros conjuntos. Um campo conceitual é um conjunto de conteúdos, mas não somente de conteúdos que estão fortemente interligados entre si, e sim que podem estar relacionados com outros campos conceituais.

Conceitos

Na teoria de Campos conceituais, Vergnaud define conceito como um tripeto de três conjuntos, ou seja, $C = (S, I, R)$. Onde o conjunto S é um grupo de situações que dão sentido ao conceito. O conjunto I tem como elementos os invariantes (objetos, propriedades



e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto. Enquanto R é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) que podem ser usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com estas.

Situações

No contexto da teoria de Campos conceituais o conceito de situação não é o de situação didática, mas sim o de tarefa, de tal forma que toda situação complexa pode ser vista como um conjunto de tarefas, as quais apresentam dificuldades próprias, que são importantes conhecer. A ideia de campo conceitual levou ao conceito de conceito como sendo definido através do referente, do significado e do significante, mas são as situações que dão sentido ao conceito (VERGNAUD, 2011). Como são as situações que dão sentido aos conceitos, é natural definir campo conceitual como sendo, sobretudo, um conjunto de situações. Um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações (VERGNAUD, 1994), mas o sentido não está nas situações em si mesmas, assim como não está nas palavras nem nos símbolos (VERGNAUD, 1990). O sentido é uma relação do sujeito com situações e significantes.

Esquemas

Para Vergnaud (MOREIRA, 2002), esquema é uma organização invariante do comportamento para uma classe de situações dada. É nos esquemas que estão os conhecimentos-em-ação do sujeito, isto é, os elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória. Os esquemas referem-se a situações em que o sujeito tem condições de dar conta imediatamente ou situações em que o sujeito necessita de um tempo para reflexão, para solucionar, ou não, a situação (PLAISANCE, VERGNAUD, 2003, p. 66).

Vergnaud considera que os esquemas necessariamente se referem a situações, a tal ponto que dever-se-ia falar em interação esquema-situação ao invés de interação sujeito-objeto. Esquemas têm como ingredientes essenciais aquilo que Vergnaud chama de invariantes operatórios, i.e., conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que constituem a parte conceitual dos esquemas, i.e., os conhecimentos contidos nos esquemas.



Invariantes operatórios

Os conhecimentos contidos em um esquema são denominados conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. Esses também podem ser chamados pela expressão mais abrangente, invariantes operatórios. Esquema é o que há de invariante na organização da conduta frente a uma certa classe de situações, teoremas-em-ação e conceitos-em-ação são invariantes operacionais, logo são componentes essenciais dos esquemas e determinam as diferenças entre eles (LIMA, SANTOS, 2015). Teorema-em-ação é uma proposição tida como verdadeira sobre o real. Conceito-em-ação é um objeto, um predicado, ou uma categoria de pensamento tida como pertinente, relevante (MOREIRA, 2002).

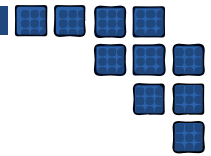
O professor e o ensino na perspectiva de Vergnaud

Um determinado campo conceitual, como o da conservação da energia, por exemplo, pode ser progressivamente dominado por um aprendiz, mas o ensino, através da ação mediadora do professor, é essencial para isso. Professores são mediadores. Sua tarefa é a de ajudar os alunos a desenvolver seu repertório de esquemas e representações (VERGNAUD, 1998). Desenvolvendo novos esquemas, os alunos tornam-se capazes de enfrentar situações cada vez mais complexas. Novos esquemas não podem ser desenvolvidos sem novos invariantes operacionais. A linguagem e os símbolos são importantes nesse processo. Os professores usam palavras e sentenças para explicar, formular questões, selecionar informações, propor metas, expectativas, regras e planos. Contudo, sua ação mediadora mais importante é a de prover situações (de aprendizagem) frutíferas para os estudantes.

Isso significa que a resolução de problemas ou as situações de resolução de problemas são essenciais para a conceitualização, mas como chama atenção Vergnaud (1994, p. 42) "um problema não é um problema para um indivíduo a menos que ele ou ela tenha conceitos que o/a tornem capaz de considerá-lo como um problema para si mesmo". Ou seja, há uma relação dialética e cíclica entre a conceitualização e a resolução de problemas. Para Vergnaud, a problematização vai muito além da abstração de regularidades do mundo observável. Quando uma classe de problemas é resolvida por um indivíduo (o que significa que ela ou ele desenvolve um esquema eficiente para lidar com todos ou quase todos os problemas dessa classe), o caráter problemático dessa classe específica desaparece. Mas essa competência desenvolvida pelo indivíduo o habilita a reconhecer ou considerar novos problemas para si mesmo; trata-se então, de um processo cíclico.



CONSTRUINDO UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA (SEI)



As Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) são uma maneira organizada de promover o ensino em sala de aula traduzindo fenômenos Físicos em problemas interessantes para os alunos, possíveis de serem resolvidos e principalmente que suas resoluções encaminhem os estudantes na direção dos conhecimentos científicos.

Uma sequência de ensino investigativa deve ter algumas atividades-chaves: na maioria das vezes a SEI inicia-se por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico desejado e ofereça condições para que pensem e trabalhem com variáveis relevantes do fenômeno científico central do conteúdo programático.

É preciso após a resolução do problema, uma atividade de sistematização por meio da leitura de um texto escrito quando os alunos podem novamente discutir. A terceira atividade importante é aquela que promova a contextualização do cotidiano dos alunos, pois, neste momento, eles podem sentir a importância da aplicação do conhecimento construído do ponto de vista social. Ao final do ciclo de atividades o professor deve propor atividades de avaliação (CARVALHO, 2013).



Estratégias para elaboração da SEI 1

Situação problema: Examinar as energias envolvidas num sistema pista-skatista através de simulação computacional, primeiramente desprezando o atrito e em seguida considerando a influência do atrito. Como avaliar as transformações de energia que ocorrem num sistema formado por um skatista e uma pista de skate?

Atividade de sistematização: apresentação dos resultados (atividades 1) para discussão e socialização das respostas.

Atividade de contextualização: debate envolvendo os grupos, e suas experiências como o tema e seus conhecimentos adquiridos com a simulação.

Atividade de avaliação: Atividade 1 (Questões), atividade 2 (mapa conceitual).

No quadro 1 estão os conceitos físicos envolvidos na SEI 1. Esses conceitos são importantes no estudo das características e propriedades de energia.

Quadro 1 - Conceitos envolvidos na SEI 1

Campo Conceitual-Energia	
Conceitos Fundamentais	Subconceitos
Trabalho e energia	Trabalho
	Energia
	Potência
Princípio de conservação da energia mecânica	Energia cinética
	Energia potencial
	Energia mecânica
Lei de conservação da energia	Forças conservativas
	Forças não conservativas
	Lei de conservação da energia

Fonte: autor.



Sequência de ensino investigativa 01

Energia na pista de skate

A energia é conceito fundamental para Física e transversa todos os campos conceituais da Física. A importância do conceito de energia reside no princípio da conservação da energia a energia é uma grandeza que pode ser convertida de uma forma para outra, mas que não pode ser criada nem destruída. Por exemplo, em um motor de um automóvel, a energia química armazenada no combustível é convertida parcialmente em energia térmica e parcialmente na energia mecânica que acelera o automóvel. Em um forno de micro-ondas, a energia eletromagnética obtida da companhia que fornece energia elétrica é convertida na energia térmica que cozinha o alimento. Nesses e em outros processos, a energia total permanece constante, ou seja, a soma de todas as formas de energia envolvidas permanece a mesma.

Mais importante do que ser capaz de definir energia, é compreender como ela se comporta ou se transforma. Podemos entender melhor os processos e transformações que ocorrem na natureza se os analisarmos em termos de transformações de energia de uma forma para outra ou de transferências de um lugar para outro. O estudo das diversas formas de energia e suas transformações de uma forma em outra levaram a uma das maiores generalizações da física, a lei de conservação da energia: a energia não pode ser criada ou destruída; pode apenas ser transformada de uma forma para outra, com sua quantidade total permanecendo constante.

A SEI 01 investiga os conhecimentos prévios dos alunos sobre a conservação da energia.



O princípio da conservação da energia mecânica

1º Passo: acessar a simulação: energia na pista de skate.

Para utilizar a simulação energia na pista de skate, abra no navegador no endereço: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/energy-skate-park-basics (fig. 2).

Figura 2 - Tela de acesso a simulação.



Fonte: Phet colorado.

2º Passo: clique no botão iniciar e escolha a opção "intro".

Figura 3 - Tela de início da simulação.



Fonte: Phet colorado.



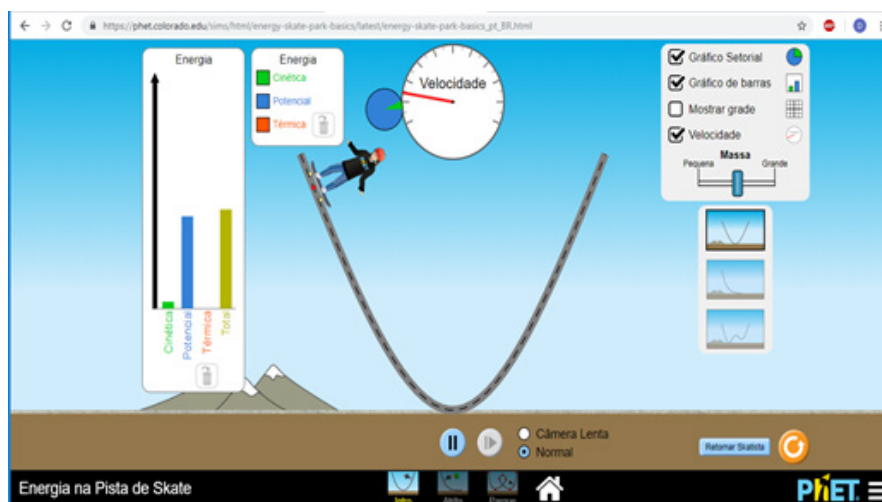
3º Passo: coloque o skatista no alto da pista.

Para colocar o skatista na pista, clique no desenho do skatista e arraste até a altura desejada, aperte no botão de pausa e ajuste a posição inicial.

4º Passo: Ative a opção “mostrar grade” para medir a altura do skatista em relação ao solo.

5º Passo: Ative as opções “gráfico de barras” e “velocidade”.

Figura 4 - Tela inicial da simulação energia na pista de skate.



Fonte: Phet colorado.

6º Passo: clique no botão iniciar e observe o movimento do skatistas e os gráficos de barras e velocidade.

Na pista sem atrito, verifique a altura que o skatista atingirá do outro lado da pista.

OBSERVAÇÃO:

Na parte de baixo da tela, você pode alterar a velocidade do skatista e ao lado pode escolher ou tipo de pista, assim como também pode modificar a massa.



Atividade 01 - Questões

1 - Quais os tipos de energias envolvidas no sistema (pista sem atrito)?

2 - O que acontece com a energia potencial gravitacional durante a descida do skatista?

3 - Onde a energia cinética é máxima?

4 - O que acontece com a energia total desse sistema?



A Influência do atrito

7º Passo: volte ao início da simulação e escolha a opção “atrito”.

Repita as instruções descritas no 3º e 4º passos.

8º Passo: clique no botão iniciar e observe o movimento do skatistas e os gráficos de barras e velocidade.

5 - *O que acontece com a velocidade do skatista ao descer e depois ao subir na pista?*

6 - *De acordo com o observado na simulação. Explique o que ocorre na descida do skatista utilizando o conceito de energia.*

7 - *O que acontece com a energia total desse sistema?*



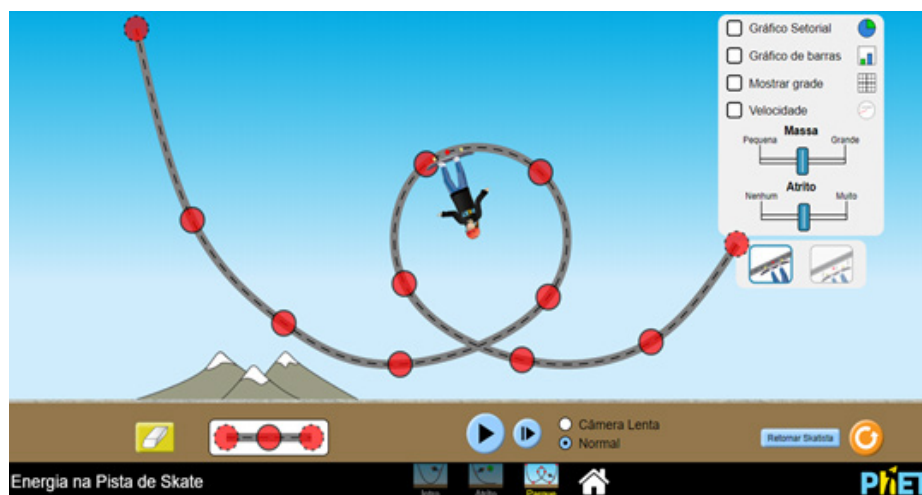
Construindo uma pista em forma de loop

9º Passo: Clique na parte de baixo da tela na opção “parque”.

10º Passo: Construa uma pista em forma de loop.

Para construção do loop, você deve utilizar as peças de construção arrastando-as para a tela e conectando-as umas às outras como na figura 5.

Figura 5 - Construção de um loop



Fonte: Phet colorado.

8 - Explique que condições são necessárias para que o skatista complete o loop.



09 - As expressões abaixo são usualmente apresentadas nas aulas de física no ensino médio. Cada uma delas se vale de símbolos que, sozinhos, representam alguma informação física. No entanto, ao serem agrupados numa expressão nos trazem outras informações associadas a cada um dos símbolos.

Expressão	
1	$E_c = \frac{1}{2}mv^2$
2	$E_p = mgh$
3	$E_{mec} = E_c + E_p$

a) Qual o significado (informação física) de cada um dos símbolos (sozinhos) que aparecem nas expressões?

b) Qual é o significado (informação física) de cada uma das expressões?

10-Como você define energia? Quais são as modalidades de energia que você conhece? Há alguma relação entre as modalidades?



Atividade 02 – Construindo mapa conceitual

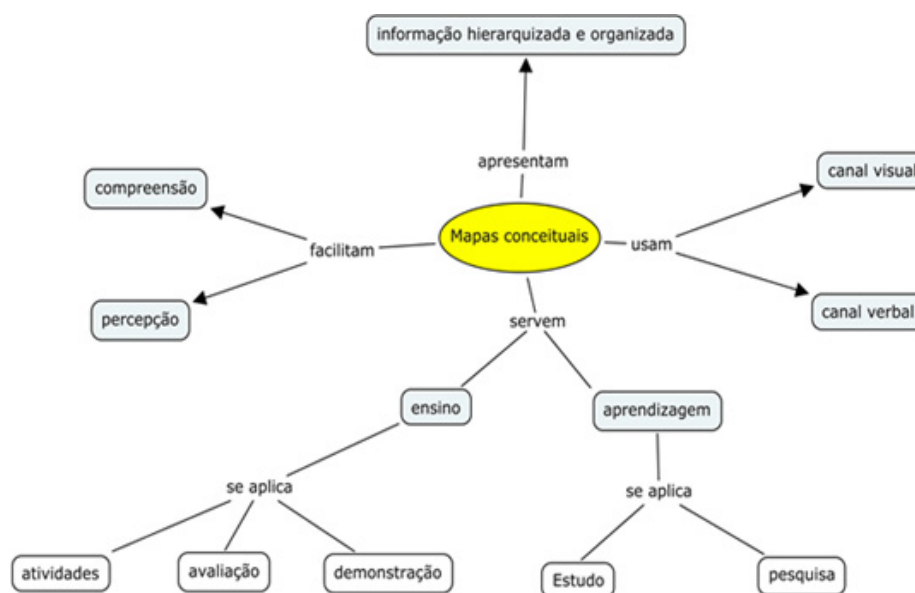
Leia com atenção o texto abaixo. Em seguida elabore um mapa conceitual a respeito do tema conservação da energia

O Mapa Conceitual é uma ferramenta para organizar e apresentar o conhecimento. Esse recurso é utilizado para representar graficamente relações significativas entre os conceitos de um determinado assunto. Durante o processo de construção de um mapa conceitual, o aluno exercita sua capacidade de estabelecer pontes entre os conhecimentos que já tem e os adquiridos no decorrer do processo de aprendizagem.

Para elaborar seu mapa conceitual você deverá:

- Identificar conceitos/palavras chave e ideias que foram mais significativas para você.
- No, mapa conceitual, os conceitos serão representados por você. Ao relacionar os conceitos/palavras-chave, você inclui frases de ligação, ou seja, proposição que vão criando o sentido conceitual. Dessa forma, ao estabelecer relações, o mapa irá se configurando.

Figura 6 - exemplo de mapa conceitual.

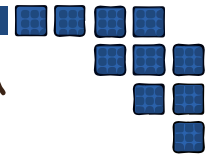


Fonte: autor.

Para a construção de mapas conceituais, podemos utilizar a ferramenta Cmap Tools.
(<<https://cmaptools.br/jaleco.com/download>>)



ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA



Os principais sistemas baseados no uso da energia transmitida à Terra pelo Sol para geração de eletricidade são: os sistemas fotovoltaicos autônomos, que efetuam a transformação da energia solar em elétrica diretamente e os sistemas termossolares, em que a energia solar é usada para produzir o vapor que acionará uma termelétrica ou uma máquina (motor Stirling, por exemplo) a vapor.

Em todos os casos, a grandeza básica para o aproveitamento da energia solar é a radiação solar incidente no sistema de geração de eletricidade. A transmissão da energia do Sol para a Terra se dá pela radiação eletromagnética de ondas curtas, pois 97% da radiação solar está contida entre comprimentos de onda que variam entre 0,3 e 3,0 μm . A radiação solar é o fluxo de energia emitido pelo Sol e transmitido sob a forma de radiação eletromagnética.

O Efeito fotovoltaico

A transformação da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica é um fenômeno físico conhecido como efeito fotovoltaico. Observado primeiramente pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade. A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas. Com isso, cargas elétricas são liberadas e podem ser utilizadas para realização de trabalho (BUHLER, 2011).

Nessa situação, a corrente associada ao fluxo de elétrons e lacunas compensa a corrente original pelo campo elétrico, levando o semicondutor a um estado de equilíbrio elétrico, tal, como mostra a figura 7.



Figura 7 - Junção P-N.



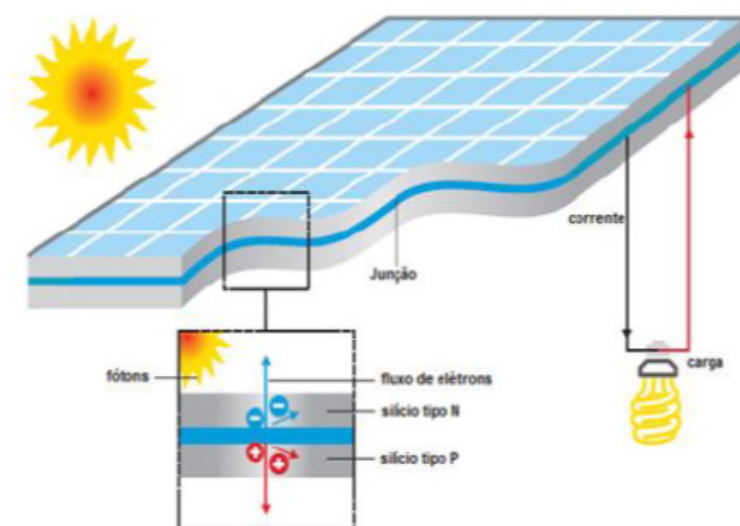
Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/3682876/>

Quando o semicondutor é iluminado, esse estado de equilíbrio é quebrado. Quando um elétron da banda de valência é atingido por um fóton, ele absorve a energia deste e, se essa energia for suficiente para libertá-lo de sua ligação química, ele passa para a banda de condução, criando um par elétron-lacuna. O campo elétrico criado anteriormente atrai o elétron para a região n ao mesmo tempo que a lacuna é atraída para a região p.

Com a incidência de mais fótons, mais pares elétron-lacuna são formados e separados pelo campo, ocorrendo assim, um desequilíbrio nas correntes da junção e o estabelecimento de uma diferença de potencial decorrente do acúmulo de portadores de carga em cada lado da junção (elétrons na região n e lacunas na região p). Se em cada lado da junção forem conectados terminais metálicos e estes forem interligados por um condutor, estabelece-se uma corrente elétrica chamada de fotocorrente, a qual estará presente enquanto houver radiação solar incidindo no semicondutor. A figura 7 ilustra o processo de conversão fotovoltaica com o aproveitamento da corrente fotogerada. (SWART, 2008).



Figura 8 - Representação do processo de conversão fotovoltaica.



Fonte: IEA (Agência Internacional de Energia).

Por tanto, o efeito fotovoltaico ocorre quando a célula é exposta à radiação solar e o aproveitamento desse efeito é consolidado por meio do campo elétrico da junção p-n e de um circuito elétrico externo. Se a célula não estiver conectada a nenhuma carga, aparecerá em seus terminais, quando iluminada, uma tensão chamada de tensão de circuito aberto. Por outro lado, se a célula estiver conectada a uma carga, haverá circulação de corrente no circuito formado entre a carga e a célula.

Não há razão para acreditar que o uso de sistemas fotovoltaicos em larga escala implicará grandes danos ao meio ambiente se todos os cuidados forem tomados antecipadamente. Na verdade, os maiores problemas se encontram na produção das células; impactos significativos na aplicação não são esperados. Esses impactos na produção seriam mais importantes numa análise de ciclo de vida ou numa comparação mais ampla de tecnologias de geração, que englobasse também o impacto da produção dos equipamentos (turbinas e geradores nas hidrelétricas; turbinas, geradores e caldeiras nas termelétricas).



ESTRATÉGIAS PARA ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO 2

Situação problema: *como avaliar as características elétricas de uma placa fotovoltaica?*

Atividade de sistematização: *apresentação dos resultados (atividade 3) para discussão e socialização das respostas.*

Atividade de contextualização: *debate envolvendo os grupos, e suas experiências como o tema e seus conhecimentos adquiridos na atividade experimental.*

Atividade de avaliação: *atividade 3 (questões), atividade 4 (mapa conceitual).*

No quadro 2 estão dispostos os principais conceitos explorados nesta sequência de ensino investigativa.

Quadro 2 - Conceitos explorados no experimento.

Campo Conceitual-Energia	
Conceitos Fundamentais	Subconceitos
Geração de energia	Energia renovável
	Conversão de Energia
	Eficiência energética
Elementos de circuito elétricos	Circuito elétricos
	Geradores e Receptores
	Semicondutores
Efeito fotovoltaico	Radiação
	Fóton
	Efeito fotovoltaico

Fonte: autor.



SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA 02 O EFEITO FOTOVOLTAICO

Investigação 1 - Tensão de circuito aberto

Para esta atividade você vai precisar de:

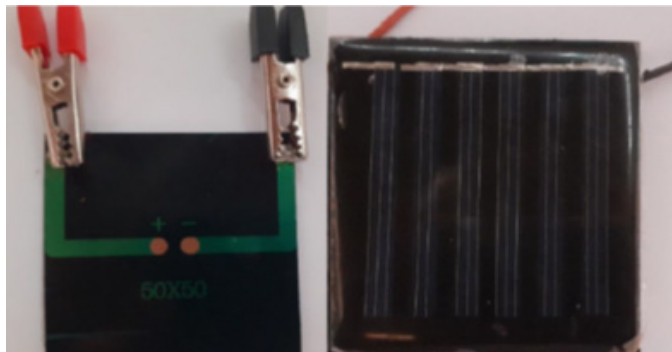
- Mini-placa solar
- Multímetro

O objetivo desta atividade é medir a tensão de circuito aberto através da placa.

1º Passo: usando o cabo vermelho, conecte o terminal positivo do medidor ao terminal positivo da célula solar.

2º Passo: use o cabo preto para conectar o terminal comum (COM) do medidor ao terminal negativo da célula solar (figura 9).

Figura 9 - Conexões na mini-placa.



Fonte: autor.

3º Passo: meça a tensão de circuito aberto (V_{oc}) através da célula solar.

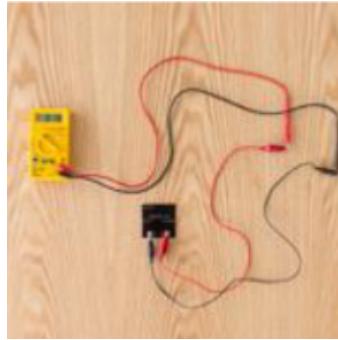
$$V_{oc} =$$

Comentário: Essa é a tensão quando nenhuma corrente está fluindo pela célula. Como nenhuma corrente flui através de um voltímetro perfeito, um voltímetro mede a voltagem do circuito aberto.



4º Passo: Vire a célula solar (figura 10) e observe o que acontece com a leitura do medidor. Em nossa configuração, a leitura mostra o que acontece quando quase nenhuma luz atinge os coletores.

Figura 10 - Conexão multímetro-placa.



Fonte: (EXPLORATORIUM¹, 2018).

Investigação 2 - Corrente de curto-circuito

Aqui vamos utilizar a mesma configuração de circuito da investigação 1

A segunda investigação é voltada para leitura da corrente de curto-circuito I_{SC} da placa quando iluminada por uma fonte.

5º Passo: vire a célula solar com a face voltada para cima novamente para que a luz a atinja diretamente e ajuste o medidor para “DC amperes” em uma escala que medirá alguns amperes de corrente elétrica.

Observe o I_{SC} através da célula solar.

$$I_{SC} =$$

Observação: a corrente máxima que uma célula solar pode produzir ocorre quando um fio é conectado através dos terminais. Isso é chamado de corrente de curto-circuito ou I_{SC} . Como um fio, um amperímetro tem resistência muito baixa, então registra uma medição similar a um curto-circuito.

¹ Disponível em: < <https://www.exploratorium.edu/snacks/output-solar-cell> > Acesso em: 22 de set. 2018.

Investigação 3-Conectando a placa uma carga

Aqui você irá precisar dos seguintes materiais

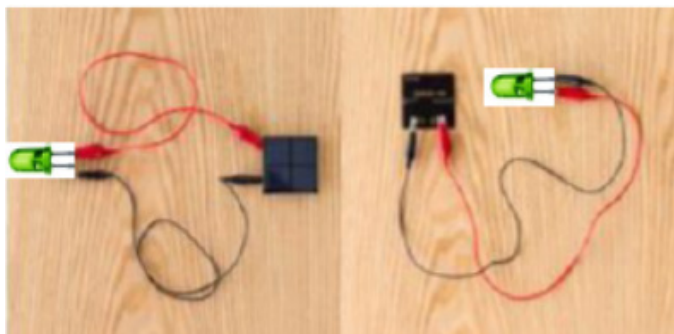
- Mini-placa solar
- Luz solar ou uma lanterna.
- Leds
- Multímetro
- 4 cabos tipo garra jacaré: dois vermelhos, dois pretos
- Régua milimetrada.

6º Passo: conecte os dois terminais da célula solar aos dois terminais do led. (as figuras abaixo mostram a frente e o verso da célula solar para que você possa ver as conexões.) Vire a célula solar para cima e observe o brilho do led quando a placa está sendo iluminada.

7º Passo: Incline a célula solar para maximizar o brilho do led e, em seguida, incline-a para longe da orientação máxima. (Cuidado para não sombrear a célula solar enquanto a segura).

Observe que o brilho do led é maior quando a célula solar é orientada perpendicularmente a uma linha que vai do sol até a célula solar.

Figura 11 - Conexões mini-placa-led.



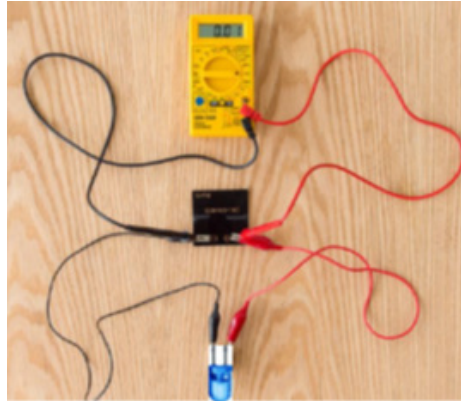
Fonte: (EXPLORATORIUM, 2018).



8º Passo: meça a tensão através do led enquanto ele opera no brilho máximo conectando o medidor como você fez na Investigação 1 enquanto deixa o led conectado. Essa matriz de conexões é chamada de circuito paralelo (figura 12).

$$V=$$

Figura 12 - Circuito em paralelo.

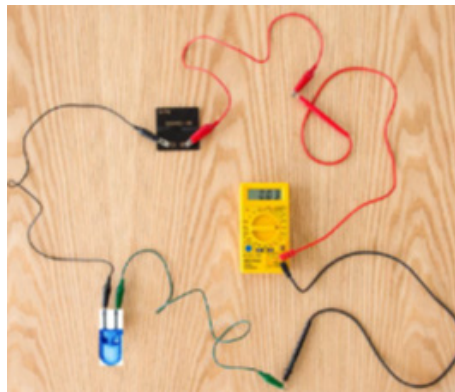


Fonte: (EXPLORATORIUM, 2018).

9º Passo: configure o multímetro para medir a corrente e conecte-o em um único loop com o led e a célula solar (figura 13). Este arranjo é referido como tendo o medidor em série.

$$I=$$

Figura 13 - Circuito em série.



Fonte: (EXPLORATORIUM, 2018).

Calculando a potência de uma célula solar

A potência de uma célula solar é o produto da voltagem através da célula solar vezes a corrente através da célula solar. Veja como calcular a potência que a célula solar fornece ao led:

A potência máxima teórica da nossa célula solar, $P_{máx}$ é o produto do V_{OC} e I_{SC} .

$$P_{máx} = V_{OC} \cdot I_{SC} =$$



A potência real, P_{Real} , fornecida pela célula solar ao led, na prática, é igual à tensão através do led, V , vezes a corrente através do led, I .

$$P_{Real} = V \cdot I =$$

Calculando a eficiência da célula solar

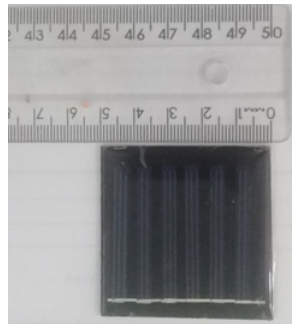
A eficiência da célula solar é definida como a razão entre a máxima potência elétrica gerada pelo dispositivo e a potência nele incidente. Você pode usar a estimativa para a potência máxima teórica para calcular a eficiência teórica máxima, $\eta_{m\acute{a}x}$, da célula solar.

Veja como calcular a eficiência da célula solar usando o sol:

10º passo: calcule a energia solar que chega à célula solar multiplicando a intensidade do Sol (irradiância solar) pela área da célula solar. A intensidade solar, S , sobre uma determinada área na superfície Terrestre é de aproximadamente 1.000 watts/m².

11º passo: use uma régua para medir a área A , da sua célula solar (figura 14).

Figura 14 - medindo a área da mini-placa.



Fonte: autor.

Exemplo: a célula nesta experiência possui lados de 5 cm.

$$A = 5\text{cm} \times 5\text{cm} = 25\text{cm}^2 = 0,0025\text{m}^2$$

A potência solar, P_S , interceptada por uma célula desse tamanho é:

$$P_S = S_1 \times A = 1000\text{W/m}^2 \times 0,0025 \text{m}^2 = 2,5 \text{W}$$

12º Passo: calcule a eficiência teórica máxima, $\eta_{m\acute{a}x}$, da célula solar.

$$\eta_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_S} = \frac{\quad}{2,5 \text{W}}$$

13º Passo: calcule a eficiência real η_{Real} da célula solar ao fornecer energia ao led:

$$\eta_{Real} = \frac{P_{Real}}{P_S} = \frac{\quad}{2,5 \text{W}}$$



Atividade 03 - Questões

1 - Explique de que forma ocorre a conversão de energia ocorre nesse sistema (mini-placa -led)?

2 - Como se caracteriza o efeito físico relacionado com a natureza desse fenômeno?

3 - O que representa cada valor medido?

4 - Quais fatores influenciam no desempenho da mini placa?



CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DE UMA PLACA FOTOVOLTAICA

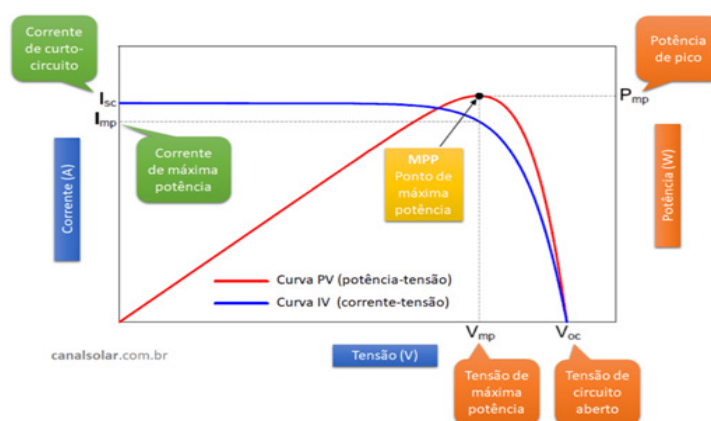
As características elétricas mais importantes de um módulo fotovoltaico, assim como em qualquer gerador elétrico, são a potência nominal, a tensão e a corrente. O valor da máxima potência de um módulo sob as condições padrão de teste (ou STC, do inglês *Standard Test Conditions*) é fornecido pelo fabricante como informação da placa. As condições padrão de teste (ou condições de referência) são definidas para valores de 1.000 W/m^2 de irradiância, 25°C de temperatura de célula e $AM = 1,5$ para a massa de ar². A máxima potência (P_{mp}) de um módulo fotovoltaico, dada em watt-pico (Wp), é atingida quando se obtém a corrente máxima de potência (I_{mp}) e tensão máxima de potência (V_{mp}). Outros parâmetros de suma importância são a corrente de curto-circuito (I_{sc} - *short circuit current*), obtida da aferição da corrente do módulo quando o mesmo está em curto-circuito, e a tensão de circuito aberto (V_{oc} - *open circuit voltage*), obtida da aferição da tensão do módulo quando o mesmo não apresenta carga.

A curva característica

Do ponto de vista prático, para um profissional na área de sistemas fotovoltaicos, a parte útil da curva $I-V$ é a que produz energia elétrica. Com relação à figura 15, percebe-se isso não ocorre no ponto de tensão de circuito aberto ($0, V_{oc}$) e nem no ponto de curto-circuito ($I_{sc}, 0$). Nesses pontos não se produz nenhuma potência.

A curva característica corrente versus tensão é definida como a "representação dos valores da corrente de saída de um conversor fotovoltaico em função da tensão, para condições preestabelecidas de temperatura e radiação". A partir da curva $I-V$, determinada sob as condições padrão de teste (ou STC), de uma célula ou módulo fotovoltaico, obtêm-se os principais parâmetros que determinam sua qualidade e desempenho, entre eles I_{sc} , V_{oc} , V_{mp} , I_{mp} e P_{mp} .

Figura 15 - Curva característica- $I-V$, curva de potência ($P-V$).



Fonte: <https://www.heliusenergy.com.br/entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos/>

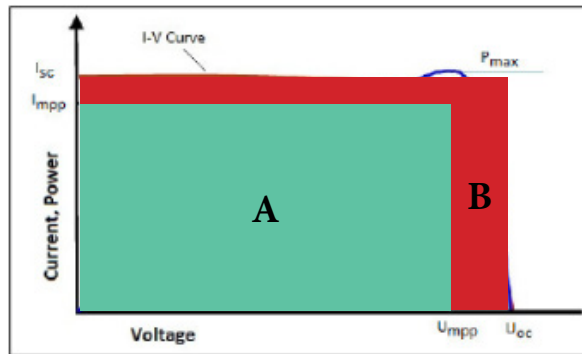
² Massa de Ar = 1.5. Este número é difícil de medir, uma vez que se refere à quantidade de luz que tem que passar pela atmosfera terrestre antes que possa bater a superfície da Terra, e tem a ver principalmente com o ângulo do sol em relação a um ponto de referência sobre a terra.

O fator de forma FF

Outro conceito importante adotado na concepção da tecnologia fotovoltaica e que deve ser esclarecido diz respeito ao fator de forma *FF* (do inglês *fill factor*). Essa figura 16 de mérito define o quão próximo à curva *I-V* está da idealidade, ou seja, do retângulo formado com vértices em V_{OC} e I_{SC} .

Na figura 16 em destaque o retângulo, representa graficamente o *FF* da figura 14.

Figura 16 - Fator de Forma em destaque no retângulo.



Fonte: autor.

O *FF* depende muito das características de construção da célula (tipo de semicondutores, dopagem, conexão etc.), uma vez que este fator é sensível às resistências série e paralelo da célula, as quais são as responsáveis por tornar a curva *I-V* com características menos retangular. Valores típicos do *FF* são de 0,6 a 0,85 para células monocristalinas e de 0,5 a 0,6 para as de silício amorfo. Matematicamente, esse fator é dado pela equação

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{SC} \cdot V_{OC}}$$

Assim *FF*, também conhecido como fator de preenchimento, é um parâmetro que, juntamente com V_{OC} e I_{SC} , determina máxima potência do módulo fotovoltaico. Matematicamente é definido como a razão entre a potência máxima e o produto da corrente de curto-circuito e da tensão de circuito aberto. Graficamente, o fator de forma de preenchimento pode ser definido pela razão entre as áreas dos retângulos A e B da figura 15. O fator de preenchimento ideal seria aquele com área A e B iguais. O fator de forma é chamado assim por causa da relação com a curva característica. Quanto maior for o valor de *FF* mais a curva se aproxima de retângulo. Idealmente se o ponto da potência máxima fosse igual ao produto $V_{OC} \cdot I_{SC}$ o valor de *FF* seria igual a 1 e a curva exatamente um retângulo. Fisicamente o fator de forma é a variação das características elétricas *I* e *V* em função das perdas resistivas das ligações em série e paralelo das células, por diversos motivos, principalmente por causa da temperatura de operação das células e da irradiação solar.



A eficiência de conversão

Como qualquer fonte de energia elétrica, as células fotovoltaicas não têm a capacidade de transformar toda a energia incidente em eletricidade, por causa das limitações da tecnologia e das perdas inerentes ao processo. A eficiência de conversão de energia é o parâmetro mais importante das células fotovoltaicas e é definida como a razão entre a máxima potência elétrica gerada pelo dispositivo e a potência nele incidente.

Esse último parâmetro depende exclusivamente do espectro da luz incidente no plano da célula. Algebricamente, a eficiência pode ser vista como:

$$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{incidente}} = \frac{FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}}{P_{incidente}}$$

Os painéis fotovoltaicos são classificados por sua energia, relacionada à transformação da energia luminosa em energia elétrica.

Quadro 3 - Resumo das características elétricas da placa.

V_{OC} - Tensão de circuito aberto	Se a placa não estiver conectada a nenhuma carga
I_{SC} - Corrente de curto-circuito	Máxima intensidade de corrente elétrica que pode atravessar um gerador
P_{mp} - Ponto de máxima potência	Onde ocorre a máxima transferência de potência da célula para a carga
I_{mp} - Corrente de máxima potência	É a corrente que o módulo fornece quando opera no seu ponto de máxima potência.
V_{mp} - Tensão de máxima potência	É a tensão que o módulo apresenta nos seus terminais quando opera no seu ponto de máxima potência.
I_{op} - Corrente de operação	Corrente que circula quando a placa está conectada a uma carga.
V_{op} - Tensão de operação	Tensão quando a placa está conectada a uma carga.
$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} = \text{Fator de forma}$	Define o quão próximo à curva I-V está da idealidade.
$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{incidente}} = \frac{FF \cdot I_{SC} \cdot V_{OC}}{P_{incidente}} = \text{eficiência}$	Definida como a razão entre a máxima potência elétrica gerada pelo dispositivo e a potência nele incidente.

Fonte: autor.



CARREGAMENTO DE UMA BATERIA ATRAVÉS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Aqui você irá precisar dos seguintes materiais para a realização deste experimento:

Figura 17 - Materiais utilizados (P-V).

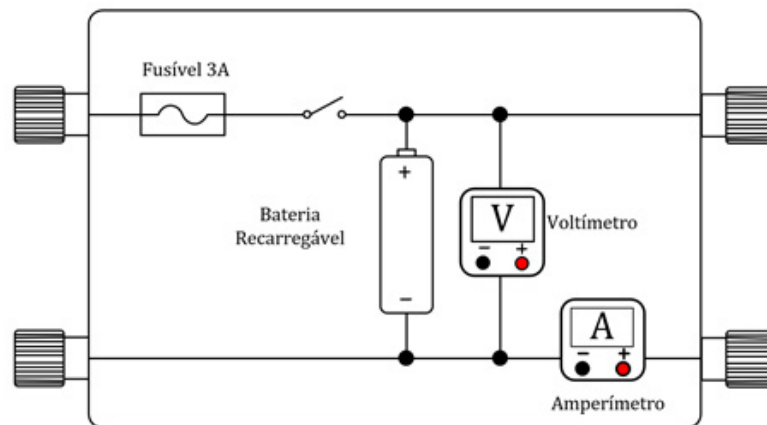
- Uma placa fotovoltaica de 5W
- Um voltímetro e amperímetro digital DC 100 V-10A
- Bateria de lítio de 3,7V/3000mA/h
- Caixa para componentes eletrônicos
- Uma bateria de 9V.



Fonte: autor.

A montagem do material foi realizada da seguinte forma: na caixa foi instalado o voltímetro e amperímetro digital DC, um fusível e uma bateria. Também foi colocada uma pequena chave para o controle de carga e descarga da bateria (figura 18). A bateria de 9V é utilizada para alimentação do voltímetro e amperímetro digital DC 100V- 10A.

Figura 18 - Caixa 1-bateria e Medidores.



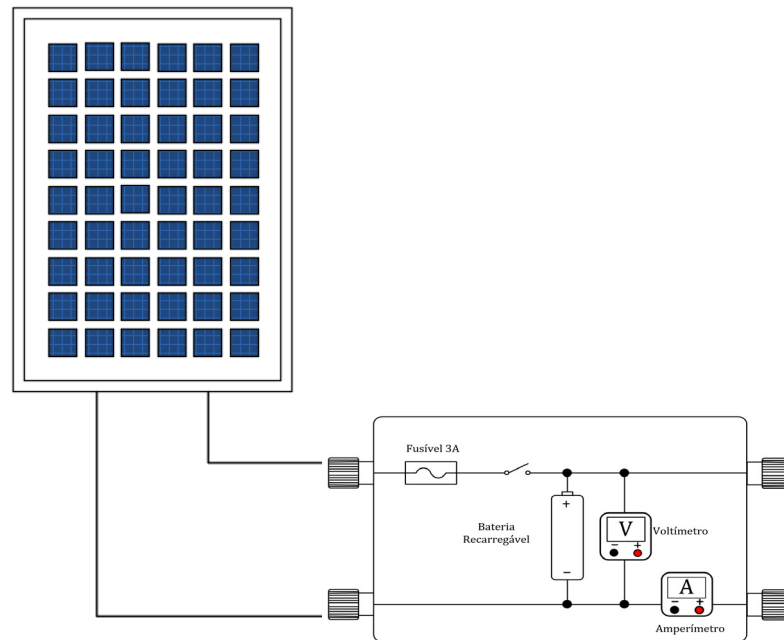
Fonte: Watson Oliveira.



Procedimentos

1º Passo: conecte a placa solar de 5W nos bornes da caixa (veja figura 19).

Figura 19 - Conexão Placa-caixa 1.



Fonte: Watson Oliveira.

2º Passo: coloque a placa sob a luz solar ou artificial.

3º Passo: ligue a chave na posição de carregamento.

4º Passo: aguarde alguns minutos para o carregamento parcial da bateria.

5º Passo: observe e registre os valores da tensão e da corrente elétrica mostrados no display.

6º Passo: desligue a chave para interromper o carregamento e coloque a chave na posição de descarregamento.

7º Passo: observe e registre os valores da tensão e da corrente elétrica mostrados no display.



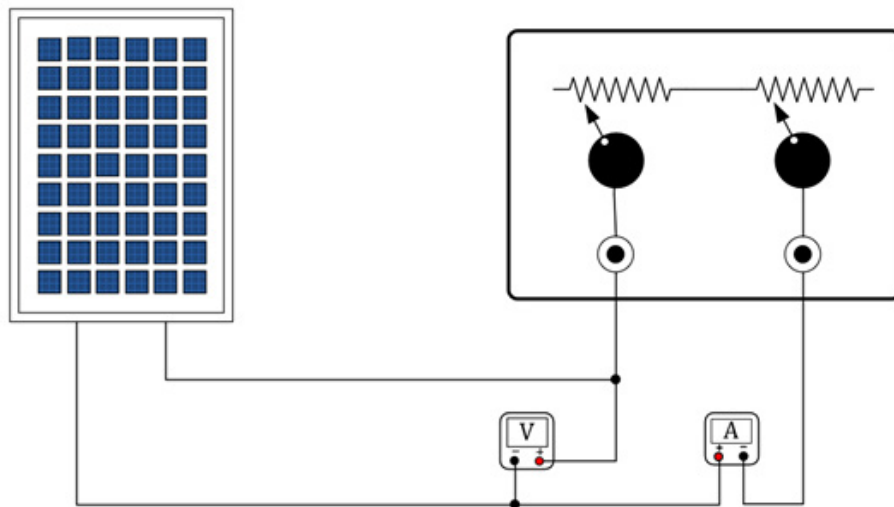
CONSTRUINDO UM GRÁFICO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE UMA PLACA FOTOVOLTAICA

Para a realização deste experimento os seguintes materiais foram utilizados:

- Uma placa fotovoltaica de 5W
- Um voltímetro e amperímetro digital DC 100 V-10A
- Dois potenciômetros de fio de 5k Ω .
- Caixa para componentes eletrônicos.
- Dois knobs (botões)

A montagem do material foi realizada da seguinte forma: na caixa foi instalado dois potenciômetros de fio de 5k Ω conectados como na figura 20. O voltímetro e amperímetro digital DC foi instalado de modo a fazer os registros de tensão e corrente durante a realização do experimento.

Figura 20 - Montagem do circuito.



Fonte: Watson Oliveira.



Procedimentos

1º Passo: coloque os potenciômetros na posição mínima.

2º Passo: com os potenciômetros do reostato na posição mínima faça a leitura da corrente de curto-circuito.

$$I_{sc} =$$

3º Passo: calcule os valores da potência e da resistência da carga na saída do painel.

$$P_{saída} =$$

$$R_{saída} =$$

4º Passo: varie o reostato e complete a tabela com os valores de corrente e de tensão observados para cada variação.

Quadro 4 - Conceitos explorados no experimento.

Valores medidos		Valores Calculados	
Tensão (V)	Corrente (A)	Resistência (Ω)	Potência (W)

5º Passo: varie o reostato até o final dos dois potenciômetros. Meça a tensão de circuito aberto e anote.

$$V_{oc} =$$

6º Passo: com os dados da tabela, construa um gráfico $I - V$ (corrente versus tensão). Determine o ponto de potência máxima e coloque este ponto no gráfico. Determine a tensão de potência máxima e corrente de potência máxima.



7º Passo: calcule o fator de forma do painel.

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} =$$

8º Passo: calcule a área de incidência da placa.

9º Passo: calcule a eficiência do painel utilizando a equação abaixo:

$$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{incidente}} = \frac{FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}}{P_{incidente}} =$$

ou

$$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{incidente}} = \left(\frac{P_{mp}}{S_I \cdot A} \right) \cdot 100\% =$$

10º Passo: Explique a relação entre a eficiência da placa e o fator de forma.

S_I - irradiância solar

A irradiância pode ser estimada de acordo com o tipo de lâmpada utilizada.

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=2>



Atividade 04 - Questões

1 - Como poderemos determinar os valores da energia convertida?

2 - Quais grandezas elétricas estão envolvidas no sistema do experimento? E como elas se relacionam?

3 - De que conhecimentos precisamos para compreender o processo de conversão de energia do sistema considerado no experimento?

4 - Identifique os fatores que influenciam no desempenho do painel.



5 - Quais são as vantagens de utilizar um acumulador?

6 - Explique de que maneira podemos determinar a eficiência do painel?

7 - Como podemos avaliar a perda de energia durante o processo de conversão no sistema do experimento?

Atividade 05 - Construindo mapa conceitual

Construa um mapa conceitual a respeito do tema energia solar fotovoltaica.

Seguir as instruções da atividade 02.



REFERÊNCIAS

BENEDITO, R.S. **Caracterização da Geração Distribuída de eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede no Brasil, sob os aspectos técnicos, econômicos e regulatório/2009**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, 2009.

BRASIL, A. S. D. Centro de referência para as energias Solar e Eólica Sérgio S. Brito-CRESESB. **Centro de referência para as energias Solar e Eólica Sérgio S. Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=2>>. Acesso em: 09/08/2019. Agosto 2019.

BUHLER A. J. **Estudo de técnicas de determinação experimental e pós processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos**. (Tese de Doutorado). UFRGS. RS. 2011.

CARVALHO, A.M.P. O ensino de ciências e a proposição de sequencias de ensino investigativa. In: Carvalho, A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo, Cengage Learning. 2013.

GRINGS, Edi Terezinha de.; CABELLERO, Concesa.; MOREIRA, Marco Antônio. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 463-471, (2006)

LIMA, Melina Silva de; SANTOS, José Vicente Cardoso. **A teoria dos Campos Conceituais e o ensino de Cálculo**. Curitiba-PR. Annris. 2015.

MOREIRA, M. A (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e A pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências** – V7(1), pp. 7-29, 2002.

PLAISANCE, E.; VERGNAUD, G. **As ciências da Educação. Tradução de Nadyr de Salles Penteadó e Odila Aparecida de Queiroz**. São Paulo: Edições Loyola, 2003.

REIS, Lineu bélico dos. **Geração de energia elétrica**. 2ªed. Barueri, São Paulo, Manole, 2011.

SWART J. W. **Semicondutores: Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. Ed. UNICAMP, 2008.

VERGNAUD, G. La théorie des champs concptuels. **Récherches em idactique des Mathématiques**, 10 (23), 1990, 133-170p.

VERGNAUD, G. Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds) **Tha development of multiplicative reasoning in the leaning of mathematics**. Albany, N.Y.: State University of New York Press, 1994. 41-59p.

VERGNAUD, Gérard. **A criança, a matemática e a realidade**. Edição revisada. UFPR, 2011.



APÊNDICE A

Como consultar a irradiação solar da sua cidade



Como consultar a irradiação solar da sua cidade

1º Passo:

Abra seu navegador e acesse o site do CRESEB no link <http://www.cresesb.cepel.br/>.

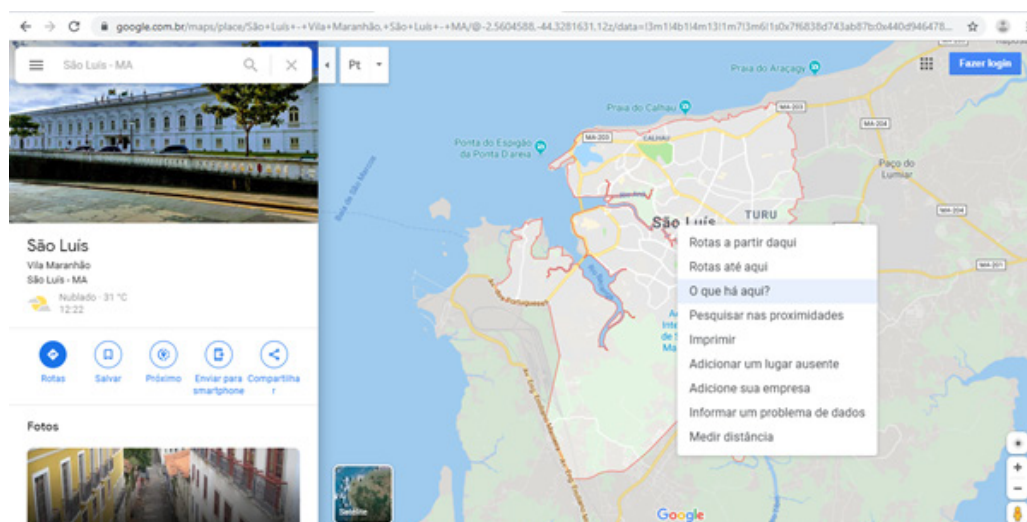
2º Passo:

Na página do CRESEB do lado esquerdo, clique em potencial energético (potencial solar).



3º Passo:

para acessar os dados solarimétricos da sua cidade, é preciso informar no site, as coordenadas geográficas. Para encontrar as coordenadas geográficas, abra uma nova página e acesse o site do google map no link: <https://www.google.com.br/maps>



COMO CONSULTAR A IRRADIAÇÃO SOLAR DA SUA CIDADE

4º Passo:

Digite sua localidade (o endereço) e com o botão direito, clique no nome da cidade e depois onde diz: “o que há aqui?”. Você terá acesso às informações de latitude e longitude de sua cidade.

5º Passo:

Volte a página do CRESEB (2º passo), e informe no site as coordenadas geográficas de latitude e longitude da sua cidade e clique em buscar. Com isso, você terá acesso ao banco de dados do CRESEB.

