

ENGENHARIA DIDÁTICA APLICADA A COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DA ENTALPIA DE COMBUSTÃO

Thales Cerqueira Mendes ¹
Moacir Souza Filho ²

RESUMO

A crescente busca por formas de energias alternativas para consumo e desenvolvimento do Brasil contribuiu para a diversidade energética encontrada hoje. Entre elas está a energia dos biocombustíveis. Esse tema, proporciona uma contextualização com o cotidiano do aluno, além de possibilitar interdisciplinaridade com outras disciplinas. Nessa perspectiva é que se propõe uma sequência de ensino para a construção de um calorímetro de combustão e comparação da variação de entalpia de combustão (poder de queima) de alguns óleos, típicos da região do semiárido baiano, para verificar a eficiência energética na produção de biocombustíveis. Essa sequência foi aplicada para oito alunos do curso Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio. Para isso, utiliza-se da metodologia da Engenharia Didática, possui enfoque qualitativo e para o aluno tem forte apelo quantitativo. Na experimentação, a partir dos dados foi realizada a análise qualitativa das áreas dos gráficos; estudado uma equação que melhor definisse a curva de cada gráfico; obtido as áreas limitadas pelas equações, quantitativamente, pelo cálculo numérico. Dos resultados, o óleo de ouricuri foi o mais eficiente. Porém, o cerce não é esse tratamento, mas sim os passos metodológicos que compõe a sequência (as situações didáticas).

Palavras-chave: Sequência de ensino, biocombustível, energia.

INTRODUÇÃO

A Física é repleta de conteúdos que permitem explicações de situações do cotidiano (contextualização) e por uma consequência natural, o estudo dos fenômenos está impregnado de associações com outros componentes curriculares (interdisciplinaridade). Com alguns, essa correspondência é mais forte, como a Matemática e a Química. Nesse contexto de inserção de novos conceitos e o estudo do fenômeno, é importante o olhar sobre o tratamento do conteúdo a ser abordado pelo professor. Essa escolha, readequação, recorte e partição dos conteúdos é determinante nesse contexto e deve-se cuidar e dirigir a seleção de possibilidades que impliquem na melhor maneira de “didatizar” o que se tornou aceito pela comunidade científica (Transposição Didática) (WAGNER, 2006). É nessa tríade pedagógica (Transposição Didática,

¹ Doutorando do Curso de Pós-graduação em Ensino de Ciências da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - MS, thacermen@gmail.com ;

² Departamento de Física, UNESP, Presidente Prudente- SP, moacir@fct.unesp.br .

interdisciplinaridade e contextualização) que se orienta a propostas dessa sequência de ensino que toma como tema gerador, os biocombustíveis.

Devido à demanda do crescimento tecnológico e, conseqüentemente, da geração e do uso da energia e suas implicações, principalmente os efeitos poluentes do seu uso, os biocombustíveis apontam como uma alternativa para amenizar esses efeitos. A substituição dos derivados de petróleo, tem motivado a elaboração de pesquisas com objetivo de desenvolver insumos básicos de caráter renovável (Suarez *et al*, 2009). Nessa perspectiva e no incentivo a iniciação científica no Ensino Médio (ICjr), se propõe uma sequência de ensino para a comparação energética (poder de queima) de óleos típicos da região do semiárido baiano.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada se aproxima da Engenharia Didática, onde se reconhece: a concepção do projeto pelo professor, a apresentação da ideia do projeto para os alunos, a investigação das concepções dos alunos sobre os assuntos abordados (avaliação inicial), a execução experimental e a comparação entre a avaliação inicial e o estado atual (ALMOULOU e COUTINHO, 2008).

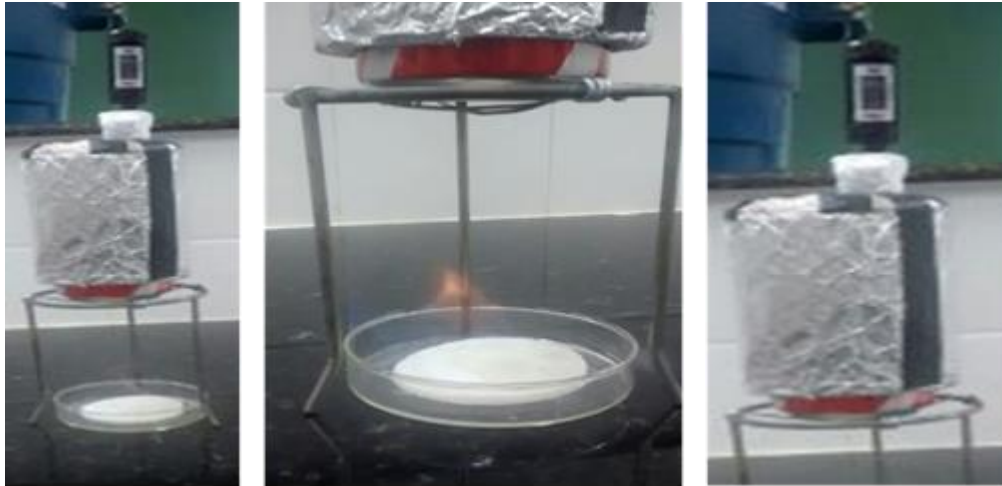
A sequência de ensino foi aplicada para oito alunos do curso Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio do IF Baiano – *campus* Senhor do Bonfim. Esses alunos estiveram sob a orientação do professor em atividades extraclasse. Possui enfoque qualitativo com características de uma ação-participativa e com atributos de um relato de experiência. Embora esse trabalho seja qualitativo, para os alunos envolvidos a experimentação possui enfoque quantitativo com características de uma investigação experimental (ALVARENGA, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concepção do projeto era comparar a eficiência energética de óleos, típicos da região do semiárido baiano, para biocombustíveis. A determinação de energia liberada na queima do óleo, variação da entalpia de combustão, estava inviabilizada pela ausência de um calorímetro de combustão e que tem um valor financeiro elevado. Dessa forma, o aparato experimental visualizado não daria acesso ao valor da energia de combustão, mas permitiria a comparação dessa energia.

Após concepção do projeto e exposição da ideia aos alunos, foi realizada uma avaliação diagnóstica sobre biocombustíveis, calorimetria e entalpia de combustão. Do resultado dessa avaliação, houve uma interação entre os professores de Física, Química e Ciências Agrárias e os alunos para abordagem dos assuntos. Seguiu à experimentação.

Figura 1: Calorímetro de combustão.



Fonte: Os autores.

A idealização experimental do calorímetro de combustão não permitia o cálculo da variação da entalpia de combustão de forma direta. O calorímetro de combustão (*figura 1, esquerda*) pode ser dividido em duas partes: uma, exotérmica, onde foi queimado o óleo junto com o algodão (*figura 1, meio*); outra, endotérmica, que recebe a energia dessa queima, formado pelo conjunto lata e água, isopor e termômetro (*figura 1, direita*).

Os procedimentos descritos, abaixo, foram repetidos para cada óleo: ouricuri, soja, morotó (único óleo analisado de origem animal), amendoim, mamona e castanha, respectivamente. Dessa Forma:

- coloca-se água na lata e coleta a massa desse sistema na balança;
- depois, coloca-se o isopor forrado com papel alumínio (para evitar a queima do isopor) e insere-se o termômetro por um orifício no isopor e na lata;
- zera (tara) a balança digital com o disco de algodão sobre ela. Coloca-se o óleo no algodão e coleta a massa do óleo;
- com ajuda de um fósforo, queima-se o óleo junto com o algodão e os coloca no aparato experimental. Nesse momento, observa-se em outro termômetro externo ao sistema a

temperatura ambiente, colhe-se a temperatura inicial do sistema lata-água e dispara-se um cronômetro;

- enquanto a chama permanece, em intervalos de um minuto, observa-se a temperatura no termômetro do sistema lata-água;
- ao apagar da chama, observa-se a temperatura final no termômetro do sistema lata-água, a temperatura no ambiente no outro termômetro e o tempo no cronômetro. Por fim, descarta-se a água da lata e troca-se o algodão e o óleo.

A comparação da eficiência energética dos óleos foi de forma indireta: a partir da quantidade de energia recebido pelo sistema lata-água, e não, pela combustão direta do óleo. Discutir-se-á as aproximações realizadas para padronização das variáveis. Primeiramente, os dados coletados para controle dessas variáveis seguem na *tabela 1*.

Tabela 1: Dados coletados para padronização das variáveis.

Óleo	Massa (g)		Temperatura ambiente (°C)	
	lata+água	óleo	Inicial	Final
Ouricuri	200,010	3,015	29,7	29,7
Soja	200,007	3,039	29,7	29,7
Morotó	200,016	3,015	29,7	29,7
Amendoim	200,012	3,007	29,7	29,7
Mamona	200,021	3,025	29,8	29,7
Castanha	200,026	3,032	29,7	29,7

Fonte: Os autores.

Com foco no conceito de variação da entalpia de combustão, definida por mol de uma substância, as massas dos óleos utilizados para queima eram as mesmas (aproximadamente até uma casa decimal). Mas isso não implica a mesma quantidade molar, daí utilizar-se-á, o termo “comparação da eficiência energética” dos óleos ao invés da “comparação da variação da entalpia de combustão”.

Em um processo exotérmico a quantidade de calor é negativa. Porém, como essa medida será de forma indireta – pela energia absorvida por outro sistema – os valores e gráficos apresentarão a forma inversa.

Numa primeira aproximação, como não houve mudança de estado físico no sistema lata-água, a quantidade do calor recebido dependente da massa, do calor específico e da variação de temperatura sofrida pelos materiais. Nos dados da *tabela 1* é possível observar que a massa desse sistema, para cada repetição, mantém-se constante (aproximadamente 200,0 g). Os

calores específicos da água e da lata não se alteram devido a invariabilidade do estado de agregação. Assim, a quantidade de calor recebido é função somente da variação de temperatura.

É um exagero afirmar que a quantidade de calor liberado pelo óleo é igual a quantidade de calor recebido pelo sistema lata-óleo. Mas, com ajustes há possibilidade de se fazer inferência na comparação dessas quantidades. Parte da energia liberada pela queima é dissipada no ambiente. Somente a lata está isolada termicamente com isopor. Cabe um questionamento: existe a possibilidade, na queima de um óleo, da lata-água receber mais energia (em comparação com outro óleo) e ser dissipada menos energia para o ambiente? Se a resposta a essa pergunta for positiva, temos um problema de hipótese e o aparato experimental é ineficiente.

Para responder a esse questionamento, buscar-se-á o conceito de fluxo de calor. O fluxo depende da diferença de temperatura entre duas fontes, uma quente e a outra fria (fria significa com menor temperatura em relação a quente). Quem faz o papel da fonte quente no experimento é o sistema algodão-óleo em combustão. A fonte fria, ou melhor, as fontes frias são o ambiente e o sistema lata-água. Quanto ao sistema lata-água já se fez as considerações quanto a quantidade de calor, mas para o ambiente não. Observe novamente os dados da *tabela 1* e verifique que a temperatura inicial e final do ambiente praticamente não se alteraram durante a realização do experimento. Dessa forma, a temperatura ambiente permanece a mesma e o fluxo depende da temperatura da fonte quente. Essa particularidade permite uma relação proporcionalmente direta entre a quantidade de calor recebido pelo sistema lata-água e dissipado pelo sistema. Explica-se: se um determinado óleo libera mais energia, então o sistema lata-água receberá mais energia e mais energia será dissipada para o ambiente. Isso é satisfatório para o objetivo desse trabalho que se concentra na comparação e não na obtenção de um valor.

Resumidamente temos que: a quantidade de calor recebido pelo sistema lata-água é função exclusiva da temperatura; essa quantidade de calor responde, por comparação, sobre a fonte quente, ou seja, sobre a quantidade de calor liberada por essa fonte; a quantidade de calor da combustão será uma medida indireta, melhor, não existirá medida, e sim a comparação da eficiência energética.

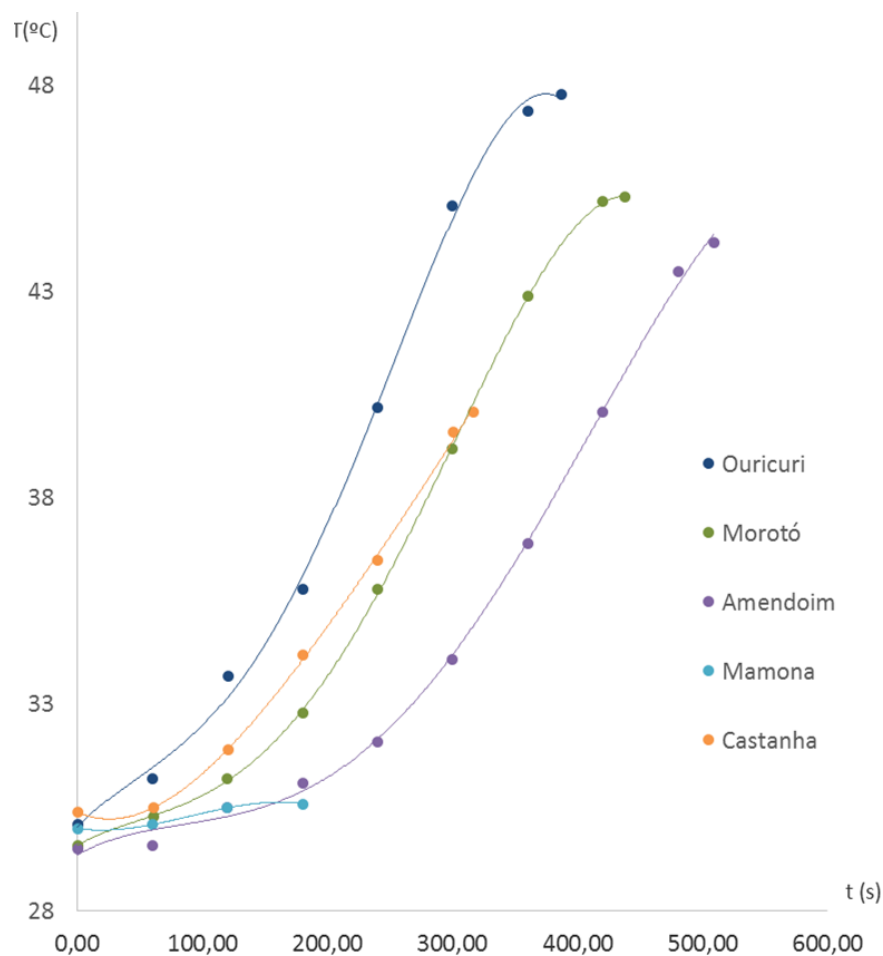
Na *tabela 2*, os dados do experimento realizado no calorímetro de combustão com cada óleo. Os traços (“-”) significam que a chama do óleo já estava apagada para ser realizada aquela medida. A chama do óleo de mamona não se manteve por muito tempo acesa. Na verdade, não desenvolveu (queima). O óleo de amendoim se manteve por mais tempo aceso. Alguém poderia pensar que ele é o mais energético, mas não é.

Tabela 2: Dados coletados no experimento do calorímetro de combustão.

Nº	Ouricuri		Soja		Morotó		Amendoim		Mamona		Castanha	
	t (s)	T (°C)	t (s)	T (°C)	t (s)	T (°C)	t (s)	T (°C)	t (s)	T (°C)	t (s)	T (°C)
1	0	30,1	0	30,3	0	29,6	0	29,5	0	30	0	30,4
2	60,37	31,2	60,18	30,6	60,54	30,3	60,29	29,6	60,37	30,1	61,01	30,5
3	120,31	33,7	120,15	31,4	120,07	31,2	120,07	30,5	120,09	30,5	120,28	31,9
4	180,43	35,8	180,35	32,5	180,19	32,8	180	31,1	180,45	30,6	180,41	34,2
5	240,31	40,2	240,1	34,9	240,05	35,8	240,01	32,1	-	-	240,38	36,5
6	300,18	45,1	300,38	38,9	300,14	39,2	300,01	34,1	-	-	300,41	39,6
7	360,38	47,4	360,32	42,8	360,25	42,9	360,12	36,9	-	-	317,04	40,1
8	387,16	47,8	420,19	45,8	420,4	45,2	420,36	40,1	-	-	-	-
9	-	-	480,07	47,2	438,1	45,3	480,37	43,5	-	-	-	-
10	-	-	500,12	47,4	-	-	509,04	44,2	-	-	-	-

Para responder a essa, inquietação se fez necessário análise gráfico.

Figura 2: Gráfico da regressão polinomial de 4ª ordem (T x t).



Fonte: Os autores.

Foi realizado um estudo dirigido para abordagem da regressão, readequando o conteúdo para ser aplicado com os alunos, que são do Ensino Médio. Com a utilização do Microsoft Office Excel® (Excel), foi possível fazer uma inferência qualitativa sobre esse método e ainda sobre o coeficiente determinação, R^2 .

O gráfico da *figura 1* representa a temperatura em função do tempo dos dados coletados, para cada óleo. A curva exposta retornou uma regressão polinomial de 4ª ordem. Por questões estéticas, as equações e o R^2 não foram inseridos. Ainda, o óleo de soja, não está *in natura*, é óleo utilizado para cozinhar, modificado industrialmente e só foi utilizado como guia (foi suprimido no gráfico). Dessa forma, esses dados seguem na *tabela 3*.

Tabela 3: Equação da regressão e R^2 retornados pelo Excel.

Óleo	Equação da regressão	R^2
Ouricuri	$y = -3.10^{-9}x^4 + 2E-06x^3 - 0,0002x^2 + 0,0313x + 30,04$	0,9982
Soja	$y = -1.10^{-9}x^4 + 9E-07x^3 - 0,0001x^2 + 0,0082x + 30,319$	0,9993
Morotó	$y = -2.10^{-9}x^4 + 1E-06x^3 - 0,0001x^2 + 0,0168x + 29,597$	0,9999
Amendoim	$y = -7.10^{-10}x^4 + 7E-07x^3 - 0,0001x^2 + 0,0163x + 29,372$	0,9986
Castanha	$y = 7.10^{-10}x^4 - 7E-07x^3 + 0,0003x^2 - 0,0135x + 30,396$	0,9992

Fonte: Os autores.

Visualmente (análise da área abaixo da curva, respaldada pelo coeficiente de determinação) é possível perceber que a queima do óleo de ouricuri cedeu maior quantidade de calor para o conjunto lata-água, em um mesmo intervalo de tempo em comparação com os outros. Pelas considerações anteriormente exposta, é possível afirmar que esse óleo é o mais eficiente energeticamente (combustão). Em sequência: óleo de castanha, morotó e amendoim. Não foi possível obter, com confiabilidade informações sobre o óleo de mamona motivo da não exposição na *tabela 3*.

Como desdobramento da análise qualitativa da área, fez-se a quantitativa para realizar a comparação da eficiência energética dos óleos. Assim, buscou uma adequação do conteúdo de integrais de Riemann, utilizando o método dos retângulos aplicado ao cálculo numérico. Esse estudo foi realizado no Excel.

Dessa forma, utilizando o cálculo numérico (no Excel) associado com o conceito da integral de Riemann, foram obtidas as áreas correspondentes a cada gráfico. Conforme exposto, as equações da *tabela 3* foram extraídas da regressão polinomial de 4ª ordem, individualmente para cada óleo, todos com R^2 maior que 0,99. O valor das áreas foi calculado de forma numérica

nesse mesmo *software*. Um exemplo pode ser verificado na *figura 3*, que representa um recorte da imagem do programa para o óleo de ouricuri.

Figura 3: Recorte do programa com o cálculo numérico aplicado à integral de

	A	B	C
1	x	y	Área (u.a)
2	0	$=-0,000000003*A2^4+0,000002*A2^3-0,0002*A2^2+0,0313*A2+30,04$	$=0,001*B2$
3	$=A2+0,001$	$=-0,000000003*A3^4+0,000002*A3^3-0,0002*A3^2+0,0313*A3+30,04$	$=0,001*B3+C2$

Dessa forma, a área foi calculada e segue na *tabela 4*. Esses valores foram obtidos fazendo x variar de 0 até 300 (ou seja, integrando a função de 0 até 300).

Tabela 4: Determinação da área pela integral de Riemann.

Óleo	Área (u.a)
Ouricuri	11213
Soja	9901
Morotó	9788
Amendoim	9722
Castanha	10134

Observe que os valores das áreas corroboram com os resultados qualitativos encontrados anteriormente (em ordem decrescente: ouricuri, castanha, morotó e amendoim). Relembra-se que a soja foi utilizada como guia e que não foi possível obter dados suficientes para a mamona.

O processo de avaliação final foi realizado pelo professor-orientador com instrumentos de observação, anotação e vídeo. Foi realizada comparação qualitativa entre o estado inicial e final. Essa comparação direciona para um desenvolvimento nas percepções (dos temas abordados) dos alunos durante o projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sobre o resultado da comparação da eficiência energética dos óleos para biocombustíveis, não significa que o mais eficiente seja o mais economicamente viável ou sustentável. Também, os óleos foram analisados *in natura* e em misturas podem apresentar outros resultados.

Os resultados encontrados são coadjuvantes no contexto desse trabalho. O ator principal é a sequência de ensino, os passos metodológicos e as situações didáticas.

Um ponto chave na execução foi a padronização das variáveis que imprimiu necessidade de outro conceito: o da eficiência energética ao invés da variação de entalpia de combustão. Outros aspectos merecem destaque: a contextualização inerente ao tema de biocombustíveis, aproximando o conteúdo com o cotidiano do aluno; a participação de outros professores, além do Física (a exemplo do professor de Ciências Agrárias e de Química), devido a interrelação do assunto, conclamando para a interdisciplinaridade; as readequações (Transposição Didática) dos conteúdos de regressão e integrais para serem aplicados no Ensino Médio; a utilização do *software* Excel no processamento da regressão e na realização do cálculo numérico para se determinar as áreas sobre as curvas no gráfico de T por t.

REFERÊNCIAS

- WAGNER, R. R. **A relação dos professores de matemática com o processo de transposição didática: apoios na interdisciplinaridade, na contextualização e na complexidade do saber.** Ponta Grossa: UEPG, 2006.
- SUAREZ, P.; SANTOS, A.; RODRIGUES, J.; ALVES, M. **Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los.** *In: Química Nova*, vol. 32, nº 3, pp. 768-775, 2009.
- ALMOULOU, S. A.; COUTINHO, C. Q. S. **Engenharia Didática: características e seus usos em trabalhos apresentados no GT-19/ANPEd.** *In: Revista Eletrônica de Educação Matemática*, vol. 3, pp. 62-77, 2008.
- ALVARENGA, E. M. **Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa.** Assunción: A4 Diseños, 2008.