

# Precipitação como fonte de energia

Curt Harting

28 de novembro de 2010

Submetido como curso para [Física 240](#), Universidade de Stanford, Outono de 2010

## Introdução

A energia hidrelétrica é uma importante fonte de eletricidade na Califórnia e nos Estados Unidos. Em 2008, 6,2% da eletricidade na América foi gerada usando energia hidrelétrica (11,6% em CA). [1] Esta eletricidade é tipicamente gerada por projetos de barragens em grande escala que bloqueiam rios e passam água sobre turbinas. Desta forma, a quantidade de eletricidade que pode ser gerada varia de alguns quilowatts a centenas de megawatts. Os córregos e rios efetivamente canalizam a quantidade de chuvas cobrindo uma enorme área de terra em um fluxo concentrado com energia cinética e potencial suficiente para justificar grandes projetos de infraestrutura para abastecer um grande número de residências. Esta página da Web procura descrever o potencial de geração de energia de um único domicílio americano usando apenas a quantidade de precipitação que cai em sua casa e o compara ao consumo anual de energia doméstica de cerca de 6.000 a 10.000 kWh por ano. [2,3]

## Potencial Energia da Água

Qualquer massa de massa que tenha sido levantada acima da superfície da Terra tem uma energia potencial relativa à mesma massa na superfície da Terra. Como explicado acima, ao passar água elevada sobre uma turbina, parte dessa energia potencial pode ser convertida em energia cinética e elétrica. No ciclo da água, a água evapora através da energia solar e ganha energia potencial que é então perdida novamente quando a água se precipita. Este ciclo de evaporação, chuva, turbina, fornece um mecanismo para a conversão de energia solar em energia elétrica. Na melhor das hipóteses, a quantidade de energia elétrica que pode ser gerada é igual à energia potencial da chuva.

Essa energia potencial gravitacional é simplesmente igual ao produto de massa, altura e constante gravitacional ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Por exemplo, a energia potencial de um metro cúbico de água (1000 kg) em uma nuvem estratificada a 2000 m de altitude é de cerca de 20 MJ, ou 5,5 kWh. Isto significa que em uma região onde a quantidade média de chuva é de cerca de 0,40 m, a quantidade total de energia potencial de chuva perdida em um terreno de  $1 \text{ km}^2$  é de cerca de  $7,8 \times 10^{12} \text{ J}$ ,  $2,18 \times 10^6 \text{ kWh}$ , ou energia suficiente para cerca de 220 casas. Infelizmente, a grande maioria desta energia é perdida através do atrito com o ar durante a queda da chuva. A próxima seção analisa a quantidade total de energia cinética que ainda está presente quando a chuva atinge o solo.

A fim de contabilizar a quantidade total de energia potencial que praticamente é usada, suponha que a chuva seja canalizada (através de calhas domésticas) e depois armazenada em um tanque localizado a cerca de 7 m do solo. A quantidade total de energia potencial da água da chuva no tanque seria igual a cerca de 70 kJ por metro cúbico de água. Por exemplo, se o espaço total do telhado fosse de

cerca de  $185 \text{ m}^2$  (2000 pés quadrados), a quantidade de energia potencial seria 130 kJ (0,036 kWh) por cm de chuva. Em uma cidade universitária, onde a quantidade de chuva é de apenas 43 cm / ano, isso equivale a apenas cerca de 1.5k Wh. Mesmo no lugar mais chuvoso da Terra (13,3m em Lloro, Colômbia) a quantidade de energia gerada seria de 48kWh. [7] A fim de capturar chuva suficiente para um ano de energia, a quantidade de área superficial a 7 m exposta a 100 cm de chuva por ano precisaria ser de cerca de  $515.000 \text{ m}^2$ . Isso pressupõe um gerador perfeitamente eficiente, que não existe.

	<b>Caso 1: uma casa de amostra</b>	<b>Caso 2: O Empire State Building</b>	<b>Caso 3: A Represa Grand Coulee</b>
Constante Gravitacional	$9,81 \text{ m} / \text{s}^2$		
Altura	7 m	325 m (excluindo torre)	170 m
Área de superfície	$185 \text{ m}^2$	$8000 \text{ m}^2$ (base)	$334 \times 10^9 \text{ m}^2$ (estimativa)
Chuva	0,43 m	1,15 m	0,14 m (engenharia reversa)
Massa de Chuva (= $1000 \text{ kg} / \text{m}^3$ )	79600 kg	$9,2 \times 10^6 \text{ kg}$	$47 \times 10^{12} \text{ kg}$
Energia Potencial (J)	$5,5 \times 10^6 \text{ J}$	$29 \times 10^9 \text{ J}$	$78 \times 10^{15} \text{ J}$
Potencial de Energia (kWh)	1,5 kWh	$8,1 \times 10^3 \text{ kWh}$	$22 \times 10^9 \text{ kWh}$

**Tabela 1:** Exemplos da energia potencial da chuva no telhado de dois edifícios e na Bacia do Rio Columbia

Em vez de depender inteiramente de chuvas para encher o tanque de água em cima da casa, o dono de uma casa poderia ter um tanque de tamanho similar (ou piscina) no nível do solo e construir um mecanismo de captação de água que sobe devido à evaporação. Esta seria a mesma conversão de energia térmica solar em eletricidade, como explicado acima. A quantidade média de água que pode ser evaporada por unidade de superfície varia na Califórnia, com um pico de 404 cm no Vale da Morte e um valor de cerca de 182 cm na área de São Francisco. [8] Se a evaporação ocorresse de uma piscina do mesmo tamanho que o tanque de telhado ( $185 \text{ m}^2$  para um tanque de 7 m de altura) acima, a quantidade total de energia colhida seria de 6,42 kWh em Stanford e 14,3 kWh em Vale da Morte. Mais uma vez, não é suficiente para alimentar uma casa.

Finalmente, outra idéia (obviamente horrível) é encher o tanque de energia potencial em cima da casa através de uma mangueira de jardim. Uma vez que o proprietário não executa diretamente / pagar pela bomba de água, isso não seria uma perda de eletricidade líquida, quando olhou da perspectiva da casa. Assumindo uma mangueira de jardim pode saída 6 galões por minuto ( $456 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$ ) para o telhado, a quantidade total de energia produzida é cerca de 31W. A operação dessa mangueira por uma hora geraria cerca de US \$ 0,003 de eletricidade consumindo 360 galões, ou cerca de US \$ 1, de água (aproximadamente 2000 x mais caro).

Estudar a quantidade total de chuva em todo um vale fluvial produz resultados muito diferentes. Por exemplo, o tamanho da bacia do rio Columbia é de cerca de  $668 \times 10^9 \text{ m}^2$ . Fazendo (meu próprio) estimar que metade desta terra drene a montante da Represa Grand Coulee, isso significa que a área de superfície exposta para coleta de chuva é de aproximadamente  $334 \times 10^9 \text{ m}^2$ . A barragem Grand Coulee em si tem cerca de 170 m de altura e gera  $21 \times 10^9 \text{ kWh}$  por ano. [9] Isso significa que, em média, 14 cm de chuva que cai na bacia superior precisa alcançar a represa, a fim de fornecer energia potencial suficiente (assumindo conversão perfeita) para gerar sua eletricidade. Como um limite final, se toda a chuva que caiu nos Estados Unidos (uma área de  $9,62 \times 10^{12} \text{ m}^2$  e profundidade de 76,2 cm) foi passado através de uma estrutura a altura da represa, de um total de  $3,4 \times 10^{12} \text{ kWh}$  poderia ser produzido. Embora esse número ainda seja apenas 80% da produção elétrica total dos EUA, vale mencionar que a produção hidrelétrica dos EUA já está em 7,5% desse número. [1]

## Chuva Energia Cinética

Como mostrado acima, prender a chuva, armazená-la e passar por uma turbina é um dos mecanismos de conversão da energia das chuvas em eletricidade. Outra opção que pode ser usada em conjunto é capturar diretamente a energia cinética da chuva. Isso pode ser feito usando piezoeletricidade, onde os cristais convertem o movimento mecânico em eletricidade.

Novamente fazendo a suposição irrealista de conversão perfeita, a quantidade de energia cinética em um objeto é metade da massa vezes a velocidade ao quadrado. A velocidade da chuva é limitada pela resistência do ar e normalmente tem um máximo de cerca de  $8 \text{ m/s}$  [4]. Fazendo o cálculo, a quantidade de energia cinética que cai sobre um telhado de  $185 \text{ m}^2$  é de cerca de 59,2 kJ (0,016 kWh) por cm de chuva. Isso é apenas cerca de 1,6 kWh de energia por ano em uma área que recebe um metro de chuva por ano. Como um limite irrealizável, a quantidade total de energia cinética de chuva nos EUA é de cerca de 65 bilhões de kWh (um quarto do uso total de energia).

Existem aplicações práticas que surgem desse efeito, no entanto. Uma pesquisa recente demonstrou como esse efeito pode alimentar pequenos sensores que usam apenas uma pequena quantidade de energia e são inconvenientes para o poder por outros meios. [5,6]

## Conclusão

Este artigo mostra cálculos básicos e estimativas para a quantidade de energia que poderia potencialmente ser colhida da chuva. Em escalas moderadas, há pouco potencial para geração de energia usando a energia potencial ou cinética da água em queda. Na escala gigantesca, no entanto, onde a natureza esculpiu uma grande bacia para captar chuvas, represas e turbinas podem ser instaladas para produzir quantidades significativas de eletricidade. Em pequenos sensores, a energia cinética da chuva pode fornecer energia suficiente para sustentar a operação. No geral, o uso de precipitação para gerar eletricidade pode ser usado situacionalmente para complementar outras tecnologias, mas não é uma solução final.

© Curt Harting. O autor concede permissão para copiar, distribuir e exibir este trabalho de forma inalterada, com atribuição ao autor, apenas para fins não comerciais. Todos os outros direitos, incluindo direitos comerciais, são reservados ao autor.

## Referências

- [1] M. Bowles, State Electricity Profiles 2008, "US Energy Information Administration", [DOE / EIA 0348 \(01\) / 2](#) , março de 2010.
- [2] O. Dzioubinski e R. Chipman, "Tendências no Consumo e Produção: Consumo de Energia Doméstica", Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, [ST / ESA / 1999 / DP.6](#) , abril de 1999.
- [3] R. Brown e J. Koomey, "Uso da Eletricidade na Califórnia: Tendências Passadas e Padrões de Uso Presente", Energy Policy **31** , 849 (2003).
- [4] R. Gunn e GD Kinzer, "A Velocidade Terminal de Queda para Gotas de Água em Ar Estagnado", J. Atmosph. Sci. **6** , 243 (1949).
- [5] R. Guigon *et al.* "Colheita de Energia de Pingo de Chuva : Estudo Experimental," Smart Materials and Structures **17** , 015039 (2008).
- [6] R. Guigon *et al.* "Colheita de Energia de Pingo de Chuva : Teoria," Smart Materials and Structures **17** , 091038 (2008).
- [7] PF Krause e KL Flood "Weather and Climate Extremes", Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, Technical Report [TEC-0099](#) , setembro de 1997.
- [8] R. Farnsworth e E. Thompson, "Média Mensal, Sazonal e Panavaporação Anual para os Estados Unidos," Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos EUA, Relatório Técnico da NOAA [NWS 34](#) , dezembro de 1982.
- [9] L. Ortolano e K. Kao Cushing, " [Grand Coulee Dam e o Columbia Basin Project, EUA](#) ", Comissão Mundial de Barragens, novembro de 2000.