

**Alunos:** Adriano Marto Barros, Artur Mancecini, Bruno Pannain, Douglas Soares do Nascimento, Gabriel Cesário da Costa, Gabriel Lucas Marinello, Guilherme Toshiyuki Totake, Luccas Patron de Andrade, Rafael Patricio dos Santos

**Orientador:** Msc. Taylor Mac Intyer Fonseca Jr.

**Co-Orientadora:** PhD. Carla Dick de Castro P. N. Gomes

### Resumo

• A preocupação em gerar energia de forma sustentável aumenta a cada dia. Sabendo disso, desenvolvemos uma turbina axial, que tem como objetivo a geração de energia elétrica de forma sustentável, sem afetar o ecossistema onde será instalada.

• O público-alvo são as populações ribeirinhas da região norte do país, de forma que elas tenham um ganho considerável em qualidade de vida, com a possibilidade de estender as atividades para os períodos sem luz diurna.

### Introdução/objetivos

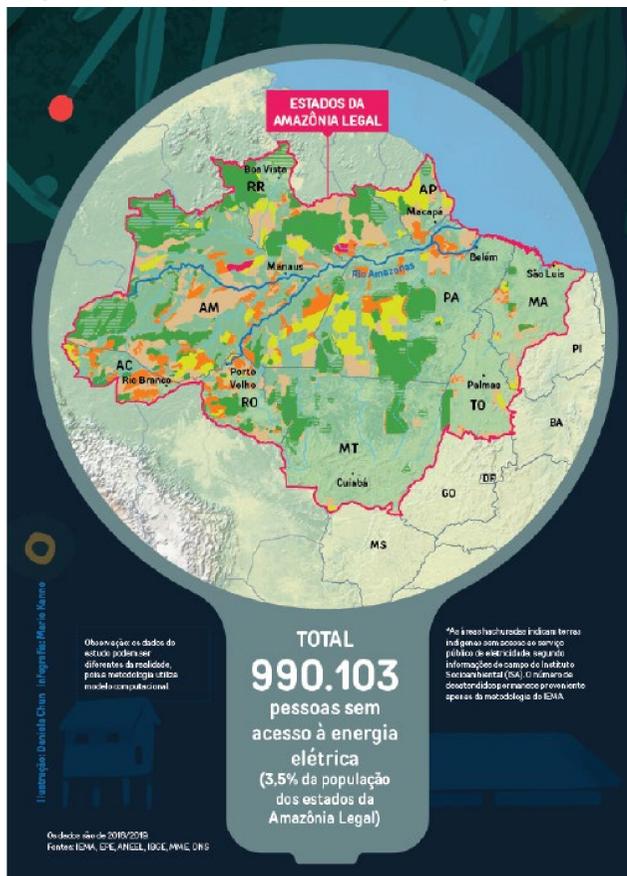
No Brasil, a maior parte da população está conectada a rede elétrica, mas aproximadamente 1% da população ainda vive sem energia.

A região conhecida como Amazônia legal – que inclui toda a região norte e o estados do Mato Grosso, Maranhão e Tocantins, concentra a maior parte dessas pessoas, sendo aproximadamente 990 mil pessoas desconectadas (Figura 1).

O projeto TECA consiste no desenvolvimento de uma turbina hidrocínética acoplada a um alternador elétrico capaz de atender a iluminação pública de uma pequena vila ou uma residência com equipamentos essenciais para uma comunidade ribeirinha.

A propulsão devido ao movimento cinético das pás, através do recurso hídrico, consiste em uma fonte de energia renovável. Essa aplicação pode contribuir para uma melhor qualidade de vida para as pessoas que tem acesso limitado ou não tem acesso à energia elétrica.

Figura 1 – Mapa da Amazônia Legal



Fonte: IEMA, 2019

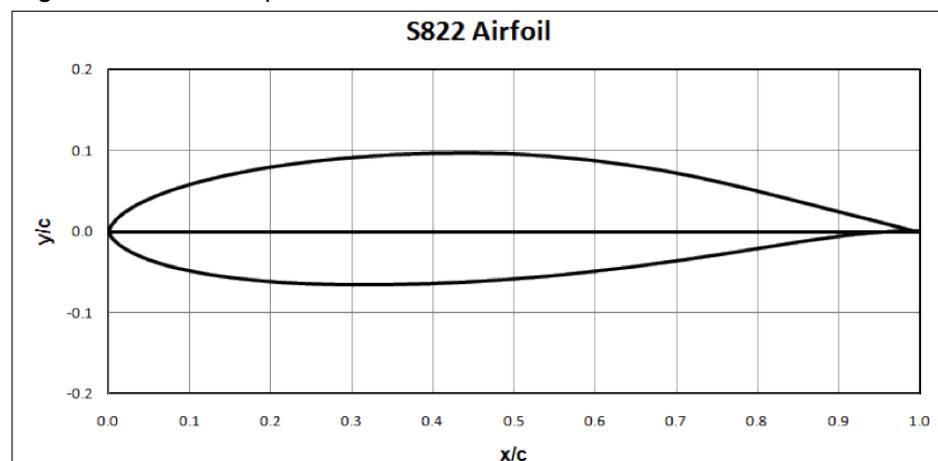
### Palavras-chave

• Conversão, Eletricidade, Geração, Sustentável, Turbina.

### Modelo das pás

O formato das pás é fundamental para definir os coeficientes de arrasto e sustentação que serão limitadores da geração de potência. Para o projeto TECA foi utilizado um formato especialmente desenvolvido para turbinas axiais de pequeno porte (Figura 2). Dentre suas principais vantagens estão redução na sensibilidade quanto à rugosidade com aumento da conversão de energia em condições de pá “suja”. Essa solução se adequa devido aos rios não possuírem água livre de contaminantes, sejam eles terra, folhas, entre outros que possam se acumular nas pás. Outra vantagem é o aumento da espessura, rigidez, resistência a fadiga, com peso e custo menores.

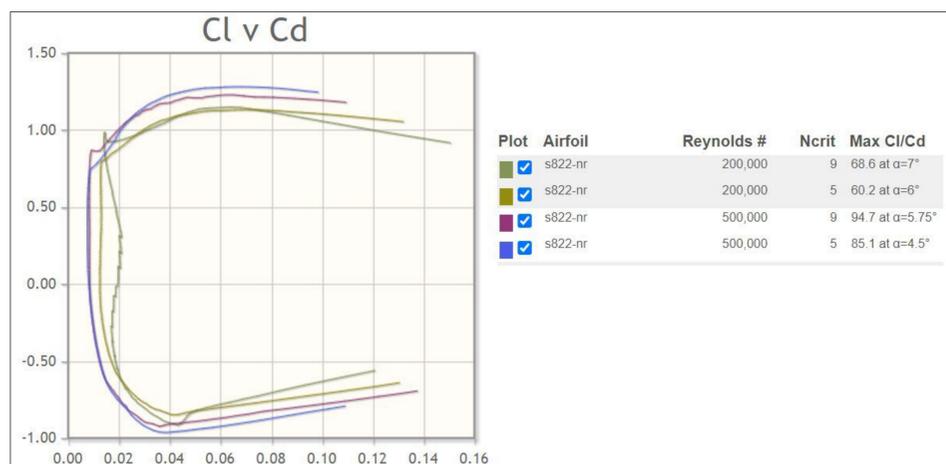
Figura 2 – Perfil da pá



Fonte: NREL, 2021

O comportamento do perfil foi estudado em intervalos de Reynolds que variam entre 50 mil e 1 milhão, sendo que para cada um deles o comportamento dos coeficientes de sustentação e arrasto sofrem variações (Figura 3). O TECA deverá operar em Reynolds entre 250 mil e 500 mil.

Figura 3 – Relação entre Reynolds e coeficientes de sustentação



Fonte: NREL, 2021

**Alunos:** Adriano Marto Barros, Artur Mancecini, Bruno Pannain, Douglas Soares do Nascimento, Gabriel Cesário da Costa, Gabriel Lucas Marinello, Guilherme Toshiyuki Totake, Luccas Patron de Andrade, Rafael Patricio dos Santos

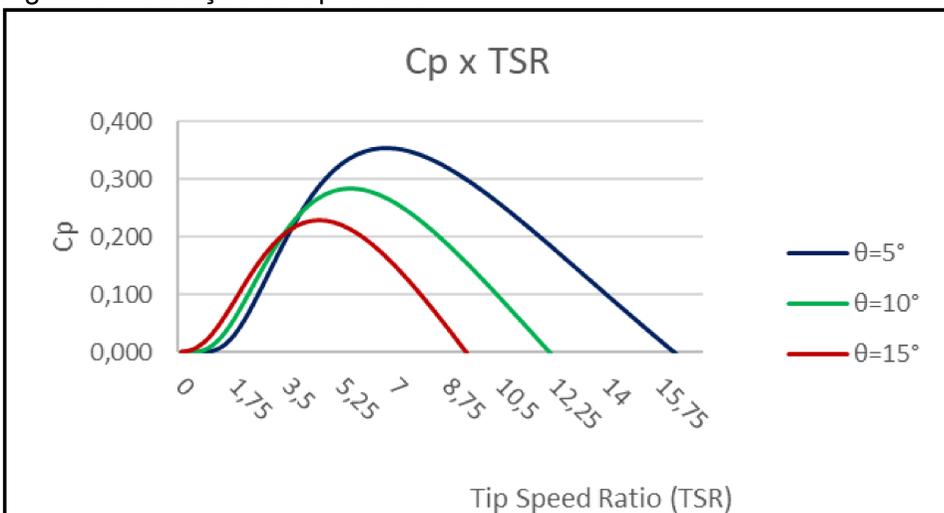
**Orientador:** Msc. Taylor Mac Intyer Fonseca Jr.

**Co-Orientadora:** PhD. Carla Dick de Castro P. N. Gomes

### Dimensionamento das pás

O TSR (*Tip Speed Ratio*) corresponde a relação entre a velocidade do fluido e a velocidade angular das pás. Para cada valor de TSR existe um valor correspondente do  $C_p$ , pois o cálculo do  $C_p$  é em função da relação de velocidades, ou TSR. Em funcionamento, a turbina sofrerá constantemente variação do TSR, uma vez que o escoamento dos rios não é alinhado e por diversas razões pode sofrer variação de velocidades. Abaixo a demonstração da variação do  $C_p$  em função da variação do TSR (Figura 4) para ângulos de ataque de  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  e  $15^\circ$ . O projeto TECA utilizará uma pá com um ângulo de ataque de  $10^\circ$ .

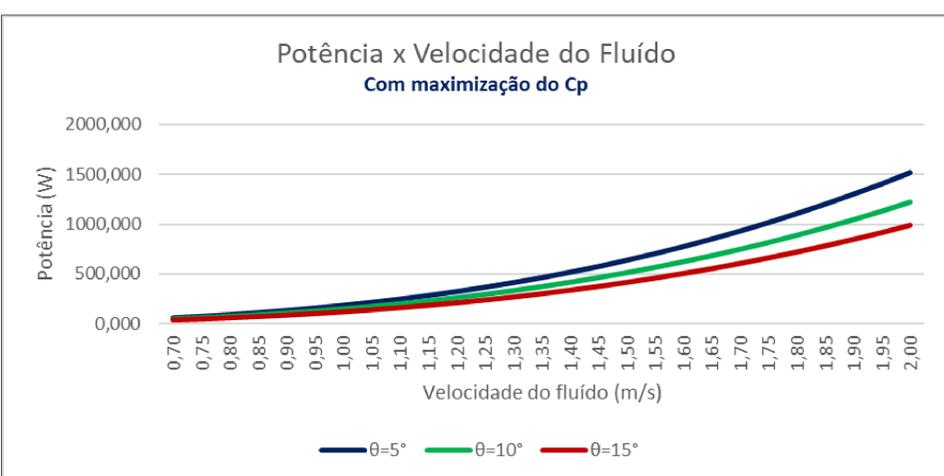
Figura 4 – Variação do  $C_p$  x TSR



Fonte: Autores, 2021

De acordo com o tamanho das pás, o TSR pode sofrer grande variação e influenciar diretamente no  $C_p$ . Essas variações são mais recorrentes em pás de grandes dimensões com formatos mais esbeltos. No projeto TECA, a rotação e comprimento de pá são de pequenas grandezas, não sofrendo grandes variações de TSR e conseqüentemente de  $C_p$ . Fixando o  $C_{pmax}$ , é possível encontrar a velocidade ideal (Figura 5).

Figura 5 - Variação da Potência x Velocidade do fluido com maximização do  $C_p$



Fonte: Autores, 2021

### Construção das pás

A partir de cálculos matemáticos, foram obtidos os resultados para cada seção da pá, totalizando um total de 13 seções (Tabela 1).

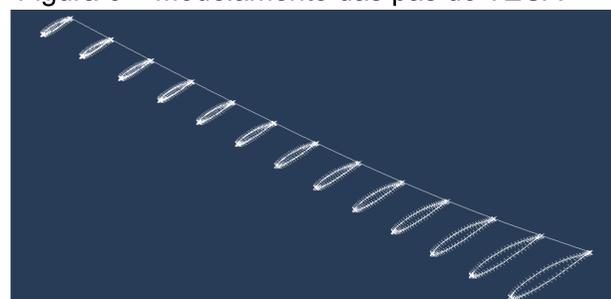
Tabela 1 – Resultados para cada seção do perfil das pás

Seção	Raio de Pá (m)	TSR Local	Fat. Ind. Angular ( $\alpha'$ )	Ângulo Vel. Rel. ( $\phi$ - rad)	Ângulo Vel. Rel. ( $\phi$ - $^\circ$ )	Torção da Pá ( $\beta$ )	Comp. Corda (c - m)
1	0,100	0,630	0,403	0,641	36,747	32,247	0,109
2	0,150	0,945	0,208	0,524	30,034	25,534	0,099
3	0,200	1,260	0,126	0,436	24,956	20,456	0,086
4	0,250	1,575	0,083	0,369	21,144	16,644	0,075
5	0,300	1,890	0,059	0,318	18,245	13,745	0,067
6	0,350	2,205	0,044	0,279	15,995	11,495	0,061
7	0,400	2,520	0,034	0,248	14,211	9,711	0,056
8	0,450	2,835	0,027	0,223	12,770	8,270	0,053
9	0,500	3,150	0,022	0,202	11,582	7,082	0,050
10	0,550	3,465	0,018	0,185	10,594	6,094	0,047
11	0,600	3,780	0,015	0,170	9,756	5,256	0,045
12	0,650	4,095	0,013	0,158	9,038	4,538	0,044
13	0,700	4,410	0,011	0,147	8,417	3,917	0,043

Fonte: Autores, 2021

A partir deste ponto, foi possível realizar o mapeamento das seções das pás do projeto TECA. O mapa de pontos foi gerado através de software CAD, onde foi possível, por meio de superfícies, gerar as pás. Ao todo, cada pá tem 858 pontos mapeados, sendo 66 pontos por seção. A partir dos pontos coordenados, foi gerado um "spline" (Figura 6) que unisse todas as seções para que fosse possível gerar a superfície da pá.

Figura 6 – Modelamento das pás do TECA



Fonte: Autores, 2021

As seções da pá recebem os esforços distribuídos pela superfície da mesma e transferidos para a haste, e uma vez que os esforços são baixos, não há necessidade de materiais muito resistentes para as seções, dessa forma, visando apoiar as pás e posicionar cada pá na haste, o material definido foi madeira balsa, por ter baixo custo e ser leve. Devido aos esforços aos quais serão solicitadas, elas precisarão de reforços internos, sendo um deles as hastes que ficarão conectadas ao cubo. Devido ao contato constante com a água, o material definido para as hastes foi INOX 304.

**Alunos:** Adriano Marto Barros, Artur Mancecini, Bruno Pannain, Douglas Soares do Nascimento, Gabriel Cesário da Costa, Gabriel Lucas Marinello, Guilherme Toshiyuki Totake, Luccas Patron de Andrade, Rafael Patricio dos Santos

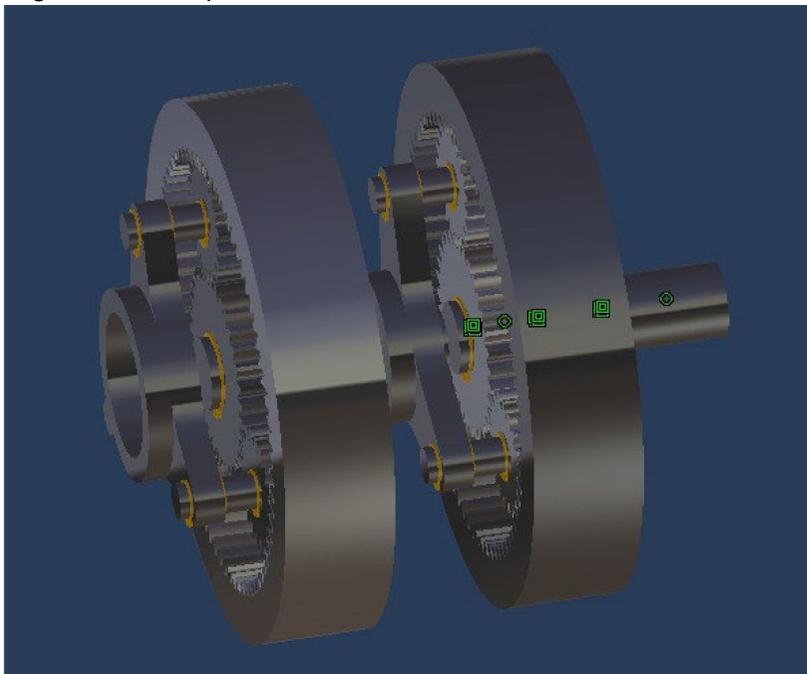
**Orientador:** Msc. Taylor Mac Intyer Fonseca Jr.

**Co-Orientadora:** PhD. Carla Dick de Castro P. N. Gomes

### Conjunto multiplicador

O trem epicicloidal (Figura 7) é aplicado para este tipo de turbina por apresentar vantagens sobre os outros trens de potência convencionais, como a capacidade de elevadas relações de transmissão em sistema compacto. Trata-se um sistema de engrenagens onde temos como componentes principais o planeta, que é uma roda que possui o grau de liberdade de girar apenas em torno do próprio eixo, o satélite que se trata de uma roda que possui os graus de liberdade de girar em torno do próprio eixo e transladar e, por último, o braço que é um braço mecânico conectado com o satélite possibilitando que este translade.

Figura 7 – Multiplicador TECA



Fonte: Autores, 2021

O multiplicador foi dimensionado para atender os parâmetros necessários para o correto funcionamento do alternador, sendo eles potência mecânica de 1037 W, torque de 15 N e rotação de 620 rpm.

Com isso, um multiplicador epicicloidal com relação de transmissão 1:10 distribuída em 2 estágios foi devidamente projetado e compatibilizado com as dimensões principais da turbina. Cada estágio multiplicativo é formado por um braço, uma engrenagem coroa, uma engrenagem solar e uma engrenagem satélite. Realizados os devidos dimensionamentos, concluímos que para que o multiplicador resista as forças aplicadas, as engrenagens coroa deverão ser fabricadas em Aço 1035 e Ferro Fundido Nodular 4212. Já as engrenagens satélites deverão ser fabricadas em Aço 5130 e Aço 1025, enquanto que as engrenagens solar deverão ser fabricadas em Aço 1070 e Aço 1025.

O multiplicador possuirá um conjunto de 3 eixos, cada um com seu respectivo diâmetro. Os diâmetros foram dimensionados conforme critério da ASME Os 3 eixos deverão ser fabricados em Aço 1020. Os rolamentos deverão ser montados no eixo por interferência de forma D. As chavetas serão de forma retangular DIN 6885, fabricadas em aço.

### Conjunto gerador

O movimento mecânico de rotação na saída da caixa de transmissão será acoplado ao alternador (Figura 8) por meio de conexão flangeada. Diante disso será criado um campo magnético com polo sul e polo norte de ímãs de neodímio, contidos no interior do alternador em forma de corrente alternada.

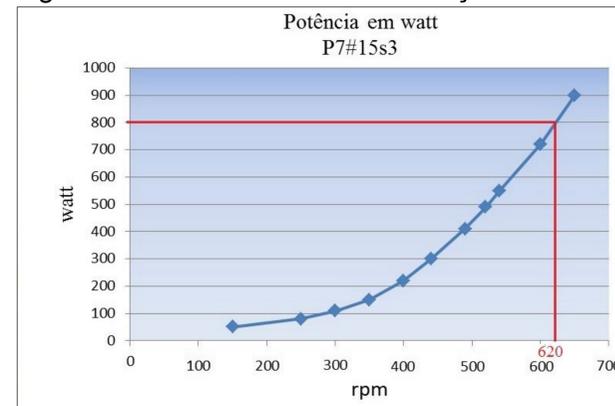
Figura 7 – Alternador elétrico



Fonte: ENERSUD, 2021

Graças ao conjunto multiplicador, a rotação entregue do alternador será capaz de fornecer 800 W de potência elétrica (Figura 8).

Figura 8 – Gráfico Potência x Rotação



Fonte: Adaptado de ENERSUD, 2021

### Conclusão

Para o ponto de aplicação estudado, nosso projeto alcançou e superou algumas de suas metas. Conseguimos uma potência elétrica de 800W, possibilitando ligar desde iluminação da comunidade ou cerca de 2 refrigeradores mais 26 lâmpadas de LED. Além disso, a energia elétrica também agrega positivamente em aspectos econômicos, como melhoria na geração de renda, por meio da possibilidade de utilização de meios de refrigeração para peixes e produtos de perecíveis, evitando o descarte prematuro. Também há ganhos no processamento de alimentos, transformando por exemplo frutas em polpa, raízes em farinha, agregando valor ao produto, além de aspectos e ambientais, pois o projeto foi feito de forma sustentável, com baixo impacto ambiental, sem necessidade de alteração do ecossistema no ponto de instalação. Concluímos que o projeto é viável e funcional, possui flexibilidade para diversos tipos de aplicações, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico da região de forma sustentável.