

Teoria do Portfólio aplicada à previsão de recurso Solar e Eólico

Marcello Anderson F. B. Lima, Paulo C. M. Carvalho,
Tatiane C. Carneiro
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Ceará – UFC
Fortaleza- CE, Brasil
E-mails: marcello@ifce.edu.br, carvalho@dee.ufc.br,
tatianecarolyne@oi.com.br

Resumo—A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis descentralizadas (solar, eólica, biomassa), também chamadas fontes alternativas de energia, tem sido cada vez mais empregada em vários países. Apesar de a geração hidrelétrica ser a fonte renovável mais utilizada, geradores elétricos solares e eólicos de energia são os que mais se destacam em termos de crescimento e investimento. O presente artigo visa adaptar a Teoria do Portfólio para uso na previsibilidade solar e eólica, encontrando assim, através de fronteiras eficientes, um limite em que a combinação dessas fontes de energia resulte em menores erros de previsão. Tradicionalmente a teoria é utilizada no setor financeiro para que os riscos dos investimentos sejam diminuídos através da diversificação das aplicações dos investidores. O uso da Teoria do Portfólio para melhoramento da previsibilidade solar e eólica é um projeto pioneiro no Brasil.

Palavras-chave-- Diversificação Energética, Integração Solar Eólica, Previsibilidade Solar e Eólica, Teoria do Portfólio.

I. INTRODUÇÃO

Em 2014, o crescimento da energia solar fotovoltaica foi de 40 GW, elevando o potencial mundial para 177 GW, sendo a Alemanha (38,2 GW), China (28,1 GW), Japão (23,3 GW) e Itália (18,5 GW), países com maior capacidade fotovoltaica instalada. Já a geração de eletricidade a partir de fonte eólica conta com uma capacidade mundial de 370 GW, destacando-se a Ásia como responsável por concentrar 50% desta produção e, especificamente, a China, país com maior capacidade instalada, totalizando 115 GW [1].

A energia solar no Brasil tem uma irradiação global média anual entre 1.200 e 2.400 kWh/m², o que tem motivado a disseminação de centrais fotovoltaicas; a energia eólica sairá de uma capacidade de 1.805 MW em 2012 para estimados 17.463 MW em 2022, dessa maneira, observa-se potencial para diversificação da matriz energética brasileira [2].

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2022 (PDE 2022) mecanismo estratégico que traça os parâmetros para investimentos no setor energético do Brasil, indica que o

Josileudo R. Leite, Luiz J. B. Neto, Antônio N. da Silva
Departamento de Petróleo e Gás
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFCE
Tabuleiro do Norte - CE, Brasil
E-mails: josileudorodrigues@hotmail.com,
luizbessa2015@hotmail.com, aneiltons@ifce.edu.br

governo federal tem em seus planos a construção das últimas cinco grandes usinas hidrelétricas. Segundo o PDE 2022, não haverá espaço com potencial para grandes usinas hidrelétricas após a concretização desses projetos, pois alguns locais estão limitados por fatores ambientais [2].

O modelo através do qual a eletricidade é gerada e distribuída vem sendo discutido em diversos países. Dessa maneira, um novo conceito, denominado de Geração Distribuída (GD) vem emergindo como novo padrão e sendo apresentado como uma forma de suprir a necessidade de energia através da diversificação e da descentralização da geração de energia elétrica. A GD insere geradores alternativos de eletricidade no sistema convencional, promovendo sua diversificação e descentralização, o que tem se tornado a estratégia de muitos países em gerenciamento de energia [3].

Os desafios do mundo em relação à necessidade de energia elétrica e à sustentabilidade podem receber colaboração de sistemas descentralizados. A Figura 1 abaixo mostra uma visão geral do modelo proposto pela Geração Distribuída.

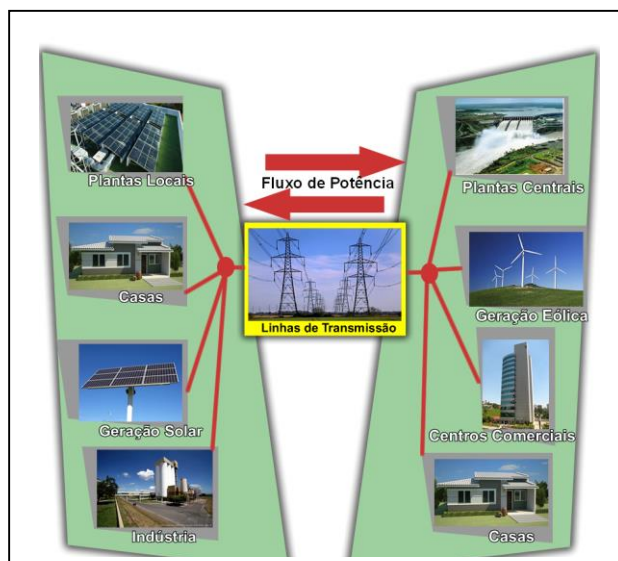


Figura 1. Modelo proposto para geração e distribuição de eletricidade. Adaptado de [3].

A Geração Distribuída pode unir a característica de geração limpa de geradores alternativos, como eólico, solar e outros, que são fontes flutuantes com, por exemplo, termelétricas já existentes, que podem ser controladas para o balanceamento do sistema [3].

Ao contrário da geração de eletricidade a partir de fontes hidráulicas, que acontece de forma contínua, podendo ser aumentada ou diminuída de acordo com a necessidade de consumo, a geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas apresenta caráter intermitente, causado por fatores climáticos. Desta característica podem resultar complicações, na medida em que a energia produzida deve ser consumida de maneira imediata; ou seja, a intermitência e o não controle absoluto da geração podem causar falta ou excesso de energia elétrica no sistema.

Devido essa característica faz-se necessário o armazenamento de energia ou a integração da fonte intermitente com outra fonte de energia, seja ela também revezada ou contínua, para atender com exatidão à demanda. Desta forma, pode-se observar a necessidade da previsão de consumo e a necessidade da previsão de geração elétrica a partir de fontes renováveis descentralizadas para estimar a quantidade de energia elétrica que deve ser adicionada ao sistema para atender à demanda.

A inclusão da energia eólica e solar impactará diretamente nos preços de produção no mercado de energia eólica, sendo assim um fator determinante para elevação ou redução nos valores médios. Um fator importante é a consideração das políticas de incentivo à produção de energia alternativa. Através de subsídios, como por exemplo, certificados verdes, a geração eólica pode tornar-se mais rentável e influenciar queda dos preços barateando-a [4].

A energia eólica permite pouca ou nenhuma capacidade de controle de geração, o que conduz a uma preocupação acerca do excesso de geração de energia eólica durante os períodos de baixa demanda. Essa preocupação é ratificada quando são consultadas as estatísticas de alguns lugares, como Dinamarca, Portugal e Espanha que ultrapassam o uso de energia eólica em 15%. Vários países já sentiram a necessidade de reduzir a geração eólica durante os períodos de excesso de produção; como exemplo, a Irlanda estabeleceu um limite operacional de 50% de penetração de fontes não estáveis [5].

Os desafios para a integração de uma grande quantidade de geração variável dependem principalmente da flexibilidade de outras fontes de energia, da gestão do congestionamento da rede e das possibilidades de comércio com os sistemas vizinhos. Os sistemas português e espanhol foram operados durante vários períodos com mais da metade de sua demanda cobertos apenas pela geração de energia eólica, com valores recorde de 85% em Portugal, no dia 13 de novembro de 2011. Já no dia 06 de novembro do mesmo ano, a Espanha havia conseguido alimentar 59,6% da demanda instantânea através da geração eólica [5].

Este trabalho utiliza a integração de duas fontes de energia alternativas e intermitentes, solar e eólica, e apresenta uma contribuição para o melhoramento da previsibilidade a fim de se reduzir o risco de erros de previsão para tais fontes de energia. A Teoria do Portfólio foi adaptada para ser utilizada em termos de previsibilidade solar e eólica. Com isso, pode-se determinar um limite eficiente em que a combinação solar e

eólica faça com que os erros de previsibilidade sejam diminuídos. Será definida qual a porcentagem de cada fonte deve ser aplicada ao sistema a fim de propor uma matriz alternativa mais fácil de ser prevista e com retorno satisfatório.

A pesquisa aplicará a teoria em dados solares e eólicos extraídos de uma estação meteorológica localizada na cidade de Maracanaú-CE, Brasil. A teoria do portfólio é pouco utilizada para aperfeiçoar a previsibilidade a nível mundial, portanto o presente trabalho constitui uma pesquisa pioneira a utilizar tal mecanismo com dados solares e eólicos coletados no Brasil.

II. A TEORIA DO PORTFOLIO E SUA ADAPTAÇÃO PARA MELHORAMENTO DA PREVISIBILIDADE SOLAR E EÓLICA

Desenvolvida pelo norte americano, Harry Max Markowitz no ano de 1952, a teoria do Portfólio tem por objetivo final chegar ao percentual de penetração de cada ativo a fim de obter o gerenciamento de carteiras de investimentos, através da seleção de portfólios. Estes são chamados de portfólios eficientes, pois maximizam os retornos esperados por níveis de riscos, determinando a melhor integração possível, e diminuindo, respectivamente, os riscos de perdas fundamentados na soma ponderada do risco dos mesmos ativos no que diz respeito às suas correlações [6].

Mediante o efeito da diversificação em relação aos riscos de investimentos apresentados no gráfico 1, percebe-se que quanto maior a quantidade de ativos, menor será o risco diversificável. Desse modo, a melhor forma de atingir uma rentabilidade elevada com pouco risco é diversificar os investimentos em todas as classes de ativos, em especial nas ações.

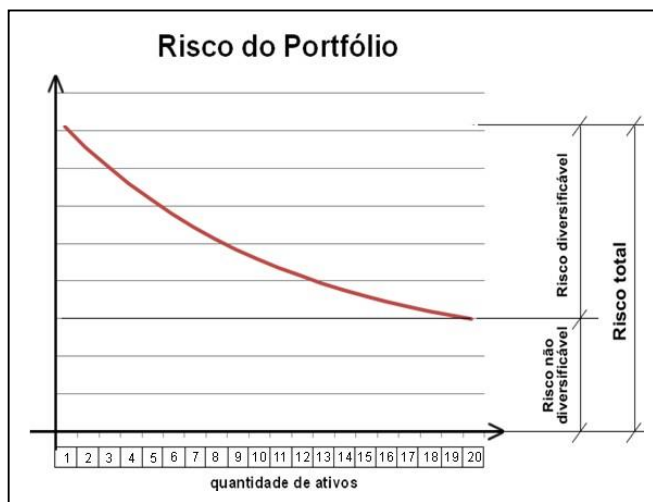


Gráfico 1. Curva de efeito da diversificação, adaptado de [7].

É costumeiro que os investidores diversifiquem suas aplicações com a finalidade de reduzir os riscos. Então Markowitz especifica que a integração de dois ou mais ativos financeiros tenham correlação negativa, obtendo como resultado a redução do risco do pacote de investimento. A teoria do Portfólio metodizou a escolha do percentual ideal de cada ativo no investimento total, tornando possível obter retornos iguais com riscos menores, quando se considera um investimento em uma carteira balanceada de aplicações. O conceito de correlação dos ativos está fortemente ligado à

eficiência das integrações. A correlação é uma medida de relação entre uma série de dados [8].

O Coeficiente de Correlação (p) pode ter os seus valores variando de -1 a +1, isso significa que quando o coeficiente de correlação for igual a +1, as variáveis em estudo estão positivamente correlacionadas, ou seja, é uma correlação que não favorece a diversificação proposta pela teoria, já que essa característica faz com que não haja compensação de um ativo mediante uma possível perda do outro. Por exemplo, no setor financeiro, se as ações de duas empresas estiverem fortemente ligadas através de um coeficiente de correlação positivo, isso significa que esses dois investimentos são incompatíveis para ocupar o mesmo portfólio, pois não haveria complementação conforme a proposta da Teoria do Portfólio, já que, se uma empresa gerasse prejuízos ao investidor devido as oscilações do mercado financeiro, a outra empresa provavelmente teria mesma reação em relação as instabilidades.

A característica ideal do coeficiente de correlação entre os ativos que a teoria necessita é o menor valor possível. A oscilação dos valores comportamentais das variáveis é representada na figura 2.

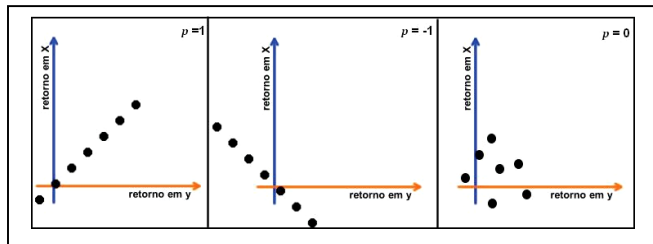


Figura 2. Coeficiente de correlação e seus valores. Adaptado de [7].

A diversificação dos ativos de um investimento, medida pelo coeficiente de correlação, pode ser encontrada através de (1), onde $p_{x,y}$ é o Coeficiente de Correlação entre os ativos x e y , $Cov(y, x)$ é a covariância entre os ativos x e y , σ_x é o desvio padrão do ativo x e σ_y é o desvio padrão do ativo y .

$$p_{x,y} = \frac{Cov(y, x)}{\sigma_x \times \sigma_y} \quad (1)$$

A Covariância entre os ativos x e y é determinada por (2), onde x_i são os valores do ativo x , $\bar{x}$ é a média dos valores do ativo x , y_i são os valores do ativo y , $\bar{y}$ é a média dos valores do ativo y e n é a quantidade de valores dos ativos.

$$Cov(y,x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{n} \quad (2)$$

A Teoria utiliza-se da ferramenta estatística do desvio padrão para encontrar o risco do Portfólio, conhecendo-se a probabilidade de ocorrer determinado resultado. Desta forma, com dados históricos de rendimento de um ativo podem-se estimar as probabilidades de ocorrência de vários resultados. O desvio padrão é verificado em (3), onde σ é o desvio padrão, n é a quantidade de valores dos ativos, x_i são os valores do ativo x , $\bar{x}$ é a média dos valores do ativo.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

Portanto, define-se risco como o desvio padrão das variações de retorno de um ativo; quanto maior for o valor deste último, maior será o risco que mede o grau de dispersão absoluta dos valores ao redor da média [6].

A Teoria do Portfólio adaptada para a integração e o melhoramento da previsibilidade da irradiação solar e da velocidade dos ventos leva em consideração três itens: variância dos valores do título, a relação entre os títulos, e os erros de previsão.

A porcentagem dos erros de previsão é dada por (4). Dessa maneira, E_p é o erro de previsão, D_c são os dados coletados e D_p são os dados previstos.

$$E_p = \left(\frac{D_c \times 100}{D_p} \right) - 100 \quad (4)$$

Na Alemanha, por exemplo, geradores de energia elétrica têm que informar a produção prevista com um dia de antecedência. A produção de energia elétrica a partir de fontes alternativas no período de março a outubro de 2010 na cidade de Stuttgart na Alemanha foi de 2 GWh abaixo do previsto, resultando em um custo adicional de 2,20 euros por MWh gerado a partir de fontes eólicas e solares [9]. Portanto, a teoria presente no trabalho pode ser aplicada a fim de se produzir menos erros de previsibilidade através da determinação da quantidade ideal de cada uma das duas energias supracitadas.

Para fim de definição do percentual de cada ativo, a fim de se reduzir os erros de previsão, foi construído o gráfico de Fronteiras Eficientes. Esse limite são linhas formadas pelas diferentes proporções dos ativos envolvidos no portfólio e que representa graficamente a relação de que um determinado retorno promoverá um menor risco possível [12].

O gráfico de fronteiras eficientes é representado na figura 3. A percepção da porcentagem de cada fonte será definida pela obtenção de um ponto de equilíbrio entre o retorno e o desvio padrão. A representação desse ponto pode ser observada através da indicação da seta vermelha.

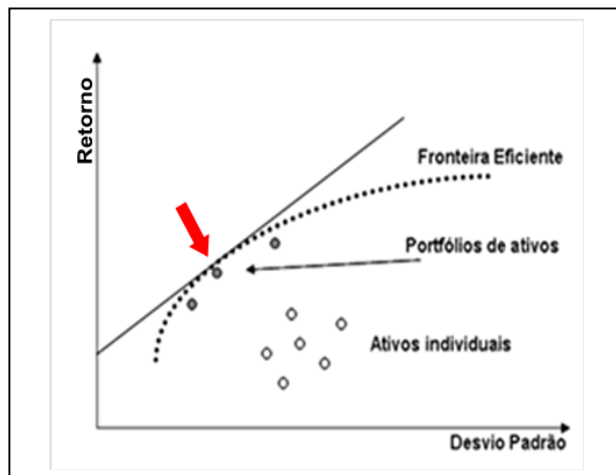


Figura 3. Gráfico de fronteiras eficientes. Adaptada de [11].

Os cenários criados para obtenção dos dados da fronteira eficiente variam entre 100% solar e 0% eólico até 0% solar e 100% eólico.

III. OBTENÇÃO DE DADOS

As medições de velocidade dos ventos e de irradiação solar foram obtidas através de uma estação anemométrica localizada no município de Maracanaú – CE, situado a 18 km de Fortaleza, considerado o maior centro industrial e a segunda maior economia do estado [12]. Essa estação é uma das três estações anemométricas proporcionadas pelo Projeto “Previsão de potencial eólico visando operação integrada ótima de unidades geradoras de eletricidade: estudo de caso para o Nordeste do Brasil”, financiado pelo CNPq. A estação anemométrica foi instrumentalizada com conjuntos de medições, constituídos de três anemômetros, do modelo NRG 40c, instalados, a 78, 50 e 20 m de altura; o Equipamento NRG 500P para medição de direção do vento, instalado a 78 m, um sensor de temperatura, da marca NRG 110S e um Piranômetro do modelo NRG LI – 200SA, instalado a 14m. Um sistema de aquisição Data Logger NRG Symphonie-plus, com faixa de medição entre 0 e 96 m/s, que permite o armazenamento de dados de velocidade média, para intervalos de 10 min [13].

Para obtenção dos dados de previsibilidade eólica, a partir dos quais posteriormente foram verificados os erros de previsão e aplicada a Teoria do Portfólio, foram utilizados resultados do estudo “Redes neurais artificiais para previsão de velocidade do vento: Estudo de caso para Maracanaú – CE”, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, em que o modelo de RNA utilizado foi o MLP treinado pelo conhecido algoritmo de retropropagação de erros (back-propagation) combinado com a técnica de Focused Time Delay Neural Network (FTDNN). Foram utilizadas duas aplicações, responsáveis pela estimação de valores horários de velocidade do vento para o município de Maracanaú-CE, baseadas em dados passados. Foram desenvolvidas duas diferentes RNAs: uma rede em que são utilizados os dados da própria série de velocidade do vento, aplicados a uma rede MLP combinada com FTDNN (MLP_FTDNN_1) e outra RNA em que são acrescentados às entradas da rede informações meteorológicas da localidade: a) Direção; b) Temperatura do ar; e c) Rugosidade (medida que representa as irregularidades do terreno) (MLP_FTDNN_2) [13].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gráfico 2 apresenta a porcentagem de erro para cada dado previsto de velocidade dos ventos em relação à sua respectiva medição para o período de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013.

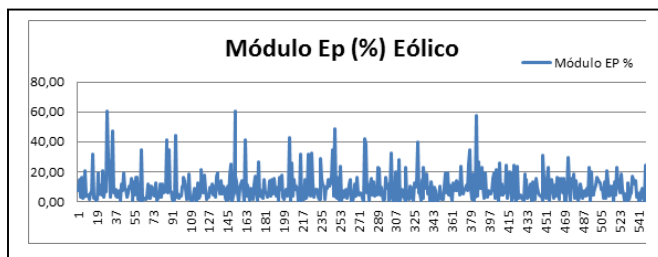


Gráfico 2. Porcentagem de erro sobre dados da velocidade de ventos.

Para efeito de apresentação e aplicação da teoria, os erros foram representados por seus módulos, permitindo assim uma compreensão do afastamento percentual das previsões em relação ao valor medido. A aplicação da Teoria do Portfólio, em caso de não conversão dos valores para os seus módulos, poderia apresentar resultados incoerentes, pois a média de valores negativos e positivos poderia anular ou diminuir esses erros.

Um cenário de previsão solar foi estipulado de forma hipotética, onde depois desenvolveu-se a comparação com valor de irradiação solar medida pela torre meteorológica instalada em Maracanaú-CE. Com isso, foi possível criar um sistema híbrido e posteriormente aplicar a adaptação da Teoria do Portfólio. O gráfico 3 mostra a porcentagem de erro para cada dado de irradiação solar previsto em relação à sua respectiva medição.

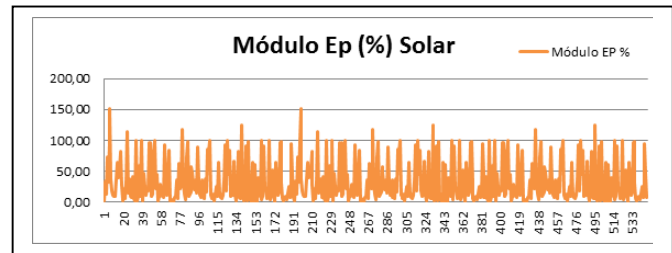


Gráfico 3. Porcentagem de erro sobre dados da irradiação solar.

Os erros médios de previsões obtidos nos dois sistemas foram de 9,29% para previsões eólicas e de 32,5% para erros de previsão solar. O coeficiente de correlação encontrado obteve o valor de -0,0278, resultado que é favorável à integração proposta pela Teoria do Portfólio.

A tabela 1 permite observar a variação dos riscos e erros do sistema híbrido conforme a alteração da porcentagem de cada uma das duas fontes de energia.

TABELA I. VARIAÇÃO DOS RISCOS E ERROS DO SISTEMA HÍBRIDO

Conclusões		
Cenários	Risco	Erros
Solar 100 % - Eólica 0%	22,98	32,50%
Solar 90 % - Eólica 10%	20,03	30,18%
Solar 80 % - Eólica 20%	17,07	27,86%
Solar 70 % - Eólica 30%	14,12	25,54%
Solar 60 % - Eólica 40%	11,16	23,22%
Solar 50 % - Eólica 50%	8,21	20,90%
Solar 40 % - Eólica 60%	5,25	18,58%
Solar 30 % - Eólica 70%	2,30	16,25%
Solar 20 % - Eólica 80%	0,66	13,93%
Solar 10 % - Eólica 90%	3,61	11,61%
Solar 0 % - Eólica 100%	6,57	9,29%

O resultado final da aplicação da Teoria do Portfólio pode ser visualizado através do gráfico 4 de fronteiras eficientes, conforme apresentado a seguir. Pode ser verificado que o cenário mais fácil de ser previsto, onde há menos risco, é a

combinação de 80% de energia eólica e 20% de energia solar para serem aplicados na região estudada por este trabalho.

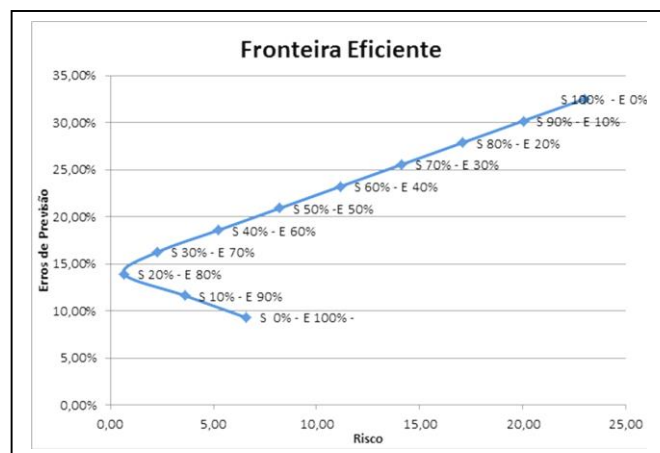


Gráfico 4. Integração solar eólica definida pela fronteira eficiente.

V. CONCLUSÕES

O presente trabalho combina a energia solar e eólica e identifica que a diversificação das fontes energéticas, em dois ou mais ativos, reduz os riscos de previsão do sistema, propiciando a redução de custos adicionais de matrizes energéticas intermitentes, devido aos erros de previsibilidade.

Mediante o desenvolvimento do gráfico de fronteiras eficientes no presente trabalho, pôde-se prever que o percentual dos valores das fontes energéticas do sistema híbrido, pelo qual a intermitência geral da matriz poderá ser prevista com os menores riscos, é de uma combinação de 80% de energia eólica e 20% de energia solar para o local estudado. Isto pode ser interpretado pelo menor desvio padrão, o que significa que a energia eólica foi prevista de forma mais precisa durante um período maior que a energia solar.

Verificou-se também, que o cenário de previsibilidade de energia solar apresentou um maior percentual de erros e um maior desvio padrão, mesmo assim, através da Teoria do Portfólio, foi determinada a quantidade de inserção desta fonte de energia no sistema. Como verificado, a combinação fez com que o valor do risco do portfólio fosse diminuído.

O presente estudo contribuiu para o desenvolvimento de um cenário solar e eólico, buscando a redução dos riscos nos erros de previsão, como forma de contribuir no desenvolvimento de futuros cenários energéticos alternativos, com custo nivelado de geração de eletricidade em relação a fontes não intermitentes.

VI. REFERÊNCIAS

- [1]. Zervos, A, et al, "Renewables 2015 global status report" *REN21 annual reporting on renewables: ten years of excellence*, pp. 58-70, 2015.
- [2]. BRASIL. MME/EPE, "Plano decenal de expansão de energia 2022." Brasília, pp. 94-105, 2013.
- [3]. Josep M. G., et al, "Distributed generation: toward a new energy paradigm" *IEEE Industrial Electronics Magazine*, pp.1-13, Mar. 2015.
- [4]. Pineda, I, et al, "Markets to facilitate wind and solar energy integration in the bulk power supply. An IEA task 25 collaboration, " *Presented at the 11th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power*, 15 November 2012.

- [5]. Estanqueiro, A, et al, "Experience and challenges with short-term balancing in european systems with large share of wind power. " *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 3 (4): pp. 853-861. Outubro 2012.
- [6]. Renner, R, Tomamichel, M, Colbeck, R, "Duality between smooth min- and max-entropies, *information theory*", *IEEE Transactions on*, vol 56, pp. 4674-4681, Set.2010.
- [7]. Speth, V, "Diversification of wind and solar energy portfolio risk an explorative analysis for Germany 2010-2012" *Ph.D. dissertation. sch. of manag., econ., law, social sci. and inter. aff.* Univer. of St. Gallen, St. Gallen, 2013.
- [8]. Gitman, J. L, *Princípios da administração financeira*. 2.ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.
- [9]. Speth, V, "Wind and solar portfolios and their impact on predictability german case study 2010-2011" *Presented at 12th wind integration workshop*, 22 October 2013.
- [10]. Bianchi, F, "Monetary/Fiscal mix and agents' beliefs", Ed 1254, *Meeting Papers 2010*.
- [11]. ONUDI, "Portfólio de projetos", Observatório de energias renováveis para a América Latina e o Caribe, 2014.
- [12]. IBGE. Município Maracanaú, <http://www.ibge.gov.br/>, acessado em 27 de janeiro de 2016.
- [13]. Carneiro, T.C, et al, "Redes neurais artificiais para previsão de velocidade do vento: estudo de caso para Maracanaú – Ce" pp. 1011-1018, *Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática*, setembro de 2014.