

O USO DE FONTES RENOVÁVEIS NA AVICULTURA DE CORTE: A SUSTENTABILIDADE DE UM AVIÁRIO *DARK HOUSE*

Luis Antonio Brum do Nascimento – brum@utfpr.edu.br

Jean Marc Lafay – jeanmarc@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. A avicultura de corte brasileira ocupa uma posição de destaque no mercado internacional, o Brasil se destaca neste cenário como o maior exportador e terceiro produtor mundial. O fato da proteína frango se comportar como uma commodity, exige investimentos em tecnologia e manejo que podem proporcionar a manutenção e melhoria da rentabilidade da atividade, justificados pelo crescente aumento na competitividade entre os grandes players internacionais. Os aviários climatizados *Dark House* podem ser considerados como uma resposta à estas exigências ao proporcionar ao investidor uma alta densidade de aves e custos de produção otimizados, por outro lado, demandam quantidades significativas de energia. A eficiência no uso final dos equipamentos e do ambiente construído, justificados pela demanda energética e isolamento deficiente do aviário, complementados pela implementação de sistemas de geração distribuída local à fontes renováveis, proporciona conservação de energia e sustentabilidade à atividade. A viabilidade técnica e econômica dos dispositivos de conversão investigados considera o processo de eficiência, a existência de um gerador à diesel em paralelo à rede elétrica rural e o efeito estocástico das fontes renováveis. A estratégia de melhorias considerou, entre outras: a substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas dimerizáveis com ganhos de até 70 % no consumo de eletricidade; o pré aquecimento solar passivo do ar de insuflamento associado a melhorias nos coeficientes de resistência térmica do telhado, laterais e oitões deve proporcionar uma redução de até 40% no consumo de energia térmica. A estratégia sugerida permitiu a simulação do uso de um aerogerador em paralelo com módulos fotovoltaicos, dimensionados pelo fator de demanda médio das cargas do aviário e, investigou-se, ainda, a utilização de aquecedores solares em paralelo à fornalha indireta. Este artigo, portanto, pretende ser um estímulo no sentido de se promover o debate acerca de conservação de energia e geração distribuída, a análise financeira e viabilidade à tomada de decisões, considerando a produção de alimentos e o uso de tecnologias limpas de produção de energia e não venha, simplesmente, servir de um amortecedor à crise energética-ambiental e sua cultura de desperdícios, aproveitando o potencial da atividade avicultura de corte e suas possíveis contribuições ao denominado desenvolvimento sustentável

Palavras-chave: Energias Renováveis, Avicultura de Corte, Sustentabilidade, Aviários *Dark House*

1. INTRODUÇÃO

A avicultura de corte brasileira ocupa hoje, respectivamente, a primeira e terceira posição mundial em exportações e produção de carne de frango. A atividade contribuiu com cerca de 9 % das exportações do país e gerou mais de dois milhões de empregos diretos e indiretos. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA, 2009), somente no ano de 2009, proporcionou um volume total de exportações no valor de US\$ 3,94 bilhões e, considerando apenas o estado do Paraná, com 1,257 milhões de aves abatidas, respondeu com cerca de 25,73 % das exportações brasileiras de carne de frango e proporcionou receitas no valor de US\$ 1,292 bilhões, segundo dados disponibilizados pela Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB, 2010).

Investimentos em tecnologia, cuidados com sanidade e desenvolvimento genético, vigilância com relação às condições do mercado mundial, variáveis climáticas e disponibilidade de terras agricultáveis justificam esta liderança.

A sustentabilidade e rentabilidade deste sistema sofre influências dos parâmetros econômicos e ambientais do mercado interno e, principalmente, externo. A atividade consome quantidades expressivas de energia para realizar seus processos, justificando assim a implantação de programas de conservação de energia que, associados à estratégias de operação à fontes renováveis, podem proporcionar uma melhoria na rentabilidade da atividade em um mercado futuro caracterizado por forte concorrência e grandes *players* externos.

Os investimentos em tecnologia e melhoria nos índices de produtividade do setor podem ser identificados pela implantação dos aviários climatizados *Dark House* em algumas regiões no Brasil. O controle artificial dos principais parâmetros de conforto ambiental das aves confinadas, associado principalmente ao conceito de ventilação tipo túnel destes aviários, proporciona uma alta densidade com máximo desempenho e lucratividade. Por outro lado, demandam quantidades significativas de energia para manter seus parâmetros de desempenho. O consumo de energia nestes galpões avícolas pode representar até 27 % dos custos variáveis do integrado no processo de confinamento de frangos de corte (SEAB, 2010).

Manter e melhorar a rentabilidade da atividade exige que o integrado busque novas técnicas de gestão e estratégias de aplicabilidade e sustentabilidade dos recursos energéticos demandados pela atividade.

Este artigo aborda o tema da sustentabilidade energética dos aviários sob o ponto de vista do efeito nos custos de produção ao considerar a otimização da eficiência dos equipamentos e do ambiente construído e, ainda, a utilização de sistemas integrados de conversão de energia à fontes renováveis locais. O objetivo é investigar a viabilidade de dispositivos de conversão à energias renováveis que podem proporcionar meios de redução da demanda energética à fontes tradicionais nestes aviários e, ainda, garantir e manter os níveis adequados de conforto ambiental das aves.

A importância de suprir, parcial ou totalmente, os picos de demanda e o consumo do galpão avícola, pode ser avaliada pela análise de hipóteses e estimativas propostas de comportamento elétrico e térmico do ambiente e suas relações com o dimensionamento e configurações dos sistemas, as fontes disponíveis no local e os custos de produção despendidos com energia

2. O CONCEITO *DARK HOUSE*

O aprimoramento da criação intensiva de aves de corte em climas tropicais e subtropicais, a exemplo do que ocorre no Brasil, justifica a busca por uma melhoria nos custos de produção e, considerando os altos valores despendidos com ração e os preços pagos ao integrado limitados pelo mercado, os investimentos em tecnologia de ambientes construídos e conservação de energia para o confinamento de aves de corte pode representar uma opção de resposta à estas necessidades.

Aviários climatizados *Dark House* são galpões avícolas que permite densidades de aves diferenciadas em várias partes do mundo, sendo que em países de clima quente até 30 kg/m² podem ser implantadas. O conceito *Dark House* explora os benefícios da ventilação tipo túnel negativo no controle das flutuações sazonais de temperatura e umidade ao longo do eixo longitudinal do aviário que, associados à programas de luz e ventilação, proporcionam às aves atingirem os parâmetros finais exigidos pelo mercado de forma mais eficiente, em contrapartida, à maior lucratividade da criação adensada, demandam um consumo intenso de energia para obter e controlar os parâmetros ambientais de conforto exigidos pelas aves.

Nestes aviários climatizados, o microclima pode ser definido como 100% artificial e o ambiente proporciona um isolamento total das aves do meio exterior. Os programas de luz criam o efeito dos dias e noites e os parâmetros de temperatura, umidade relativa, velocidade e qualidade do ar são proporcionados pelos sistemas de ventilação, climatização e calefação, interagindo de forma diferenciada ao longo do ano.

Aviários *Dark House* são equipados com painéis evaporativos adiabáticos externos em uma extremidade e um conjunto de exaustores axiais na extremidade oposta associados à bicos nebulizadores internos que proporcionam o controle dos parâmetros de conforto ambiental das aves, de forma mais intensa, durante os períodos de estresse térmico e estações quentes. O fornecimento de calor as aves, em períodos e climas frios, é proporcionado pelo sistema de calefação com fornalhas indiretas à lenha, principalmente no Brasil. Parâmetros de aquecimento de até 0,05 Kwh/m³ em climas temperados e 0,10 Kwh/m³ em climas frios são recomendados. A Fig.1 representa o *lay-out* simplificado de uma configuração *Dark House* (Cobb-Vantress, 2008).

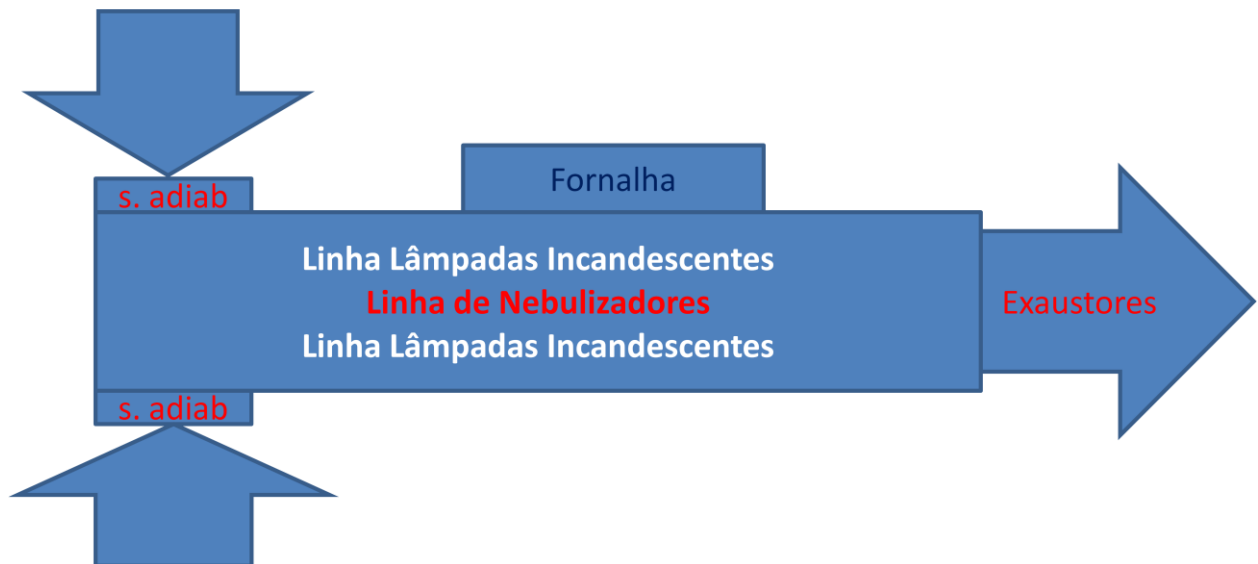


Figura 1 - esquemático *Dark House*

O sistema de ventilação mínima tem como objetivo principal manter a qualidade do ar, fornecendo oxigênio e removendo do ambiente os resíduos do processo de crescimento e combustão e, ainda, permitir o controle da umidade relativa e manter a cama em boas condições. Este sistema deve proporcionar uma troca completa de ar, em média, de 5 à 8 minutos. A operação é controlada por timer, ciclos de 5 à 10 minutos e o tempo mínimo de funcionamento deve ser de 20% do tempo total, normalmente, 2 exaustores são responsáveis pelo processo. Por outro lado, as necessidades das aves sofrem alterações em função da idade, temperatura e umidade relativa, o que exige a execução do programa

de ventilação máxima com o funcionamento de todos os exaustores disponíveis, situação encontrada em períodos quentes do ano e aves adultas. O controle do processo, neste caso, considera a temperatura e umidade. Estes parâmetros são definidos pela integradora.

Além da temperatura e umidade, a velocidade do ar deve ser considerada, pelo fato de que a ventilação distribui calor ou frio e deslocamentos de ar incorretos podem causar um efeito adverso significativo, principalmente nas aves jovens.

Os aviários apresentam densidades diferenciadas e, os custos seguem a mesma tendência. A planilha de custos fixos e variáveis de produção de frango de corte em ambientes climatizados, permite identificar quais as componentes do custo total que podem potencialmente proporcionar riscos ao investidor. As variáveis significativas nestes sistemas de produção, que apresentam os riscos mais elevados e, consequentemente, a rentabilidade do integrado, podem ser representadas pelo preço recebido na venda do frango, pelos índices de produtividade e pelos custos de produção (SEAB, 2009).

A probabilidade de sucesso do aviário climatizado ser maior que a dos sistemas manual e automatizado, com chances de resultados superiores de renda líquida, é justificada quando se analisa a hipótese de aumento nos riscos e o efeito nos melhores resultados financeiros nos aviários climatizados. Os sistemas climatizados proporcionam uma resposta ao desafio de melhores padrões de produtividade da avicultura nacional frente às mudanças na economia nacional e internacional que pressionam o desenvolvimento de novas tecnologias em construções e manejo.

3. CONSUMO DE ENERGIA E CONFORTO AMBIENTAL

A importância do consumo de energia elétrica e térmica relacionado ao conforto ambiental das aves confinadas pode ser avaliado analisando-se os principais parâmetros de conforto que devem ser proporcionados por aviários adensados *Dark House*. Basicamente, os três fatores térmicos internos que definem este conforto são: a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar. A estes, devem ser acrescentados ainda, a luminosidade e a qualidade do ar. A manutenção destes parâmetros dentro de valores recomendados exige um conjunto de instalações que constituem o sistema de climatização e iluminação do aviário. A operação programada e combinada da calefação, resfriamento adiabático, ventilação e programa de luz constituem os meios disponíveis para se atingir as condições ambientais de conforto das aves.

Apesar da ventilação, de forma simplista, consistir na introdução de ar externo no interior do aviário, o processo se apresenta complexo e com influência em importantes variáveis ambientais internas, como: temperatura, nível de umidade e condensação, velocidade do ar em torno das aves, odores e concentração de gases, poeiras e, ainda, meio de transporte de energia térmica em períodos frios e resfriamento em situações de calor. O processo e seus efeitos exigem o uso intenso de ventiladores e exaustores, que, juntamente com resfriadores adiabáticos e bicos nebulizadores, demandam valores expressivos de energia elétrica. O sistema de calefação, equipado com fornalhas indiretas à lenha, proporciona os parâmetros de conforto ambiental nos períodos frios ao disponibilizar energia térmica as aves. O programa de luz sugerido pela integradora objetiva a otimização do ganho de peso diário das aves e, ainda, atender as exigências finais de mercado e, cabe comentar, que o uso de lâmpadas incandescentes potencializa o consumo de eletricidade do processo. A importância do consumo final e picos de energia nestes sistemas de confinamento está diretamente relacionada a ocupação, programas de operação e características construtivas do ambiente.

Relacionado com as operações, pode-se citar o sistema de ventilação e resfriamento adiabático juntamente com o programa de luz como as formas mais intensivas em consumo de energia. Estudos realizados em aviários climatizados *Dark House* nos Estados Unidos demonstraram que, a iluminação e o conjunto de exaustores, pode consumir até 89 % do total de energia elétrica fornecida ao aviário, sendo que, as lâmpadas incandescentes podem representar até 27 % e os exaustores demandam outros 62 % do consumo final de energia despendidos por lote (Auburn University, 2010).

O perfil de consumo de energia e a sustentabilidade da atividade pode ser correlacionada e analisada sob vários aspectos diferentes. Em particular, ao sistema de integração e a gestão de risco compartilhada com a integradora e, ainda, à sensibilidade da rentabilidade do integrado ao valor recebido da integradora pelas aves exige o desenvolvimento de estratégias de manejo e produção, cujo objetivo deve ser a otimização dos custos e melhoria nos índices de lucratividade do integrado. Os galpões avícolas climatizados *Dark House* podem ser considerados atualmente como o estado da arte em rentabilidade e conforto ambiental quando analisados os riscos mais significativos no processo de confinamento adensado. A estratégia de redução de demanda por energia permite idealizar e investigar a implantação de geração própria com fontes renováveis locais, principalmente, quando hipóteses e cenários futuros são considerados, como: taxa de gases de efeito estufa; alterações nos custos do kWh fornecido pela concessionária; pressão internacional sobre os preços da carne de frango; incentivos oficiais para a aquisição de dispositivos à fontes renováveis e venda de energia descentralizada com taxas diferenciadas.

4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AVIÁRIOS

A conservação de energia e o uso responsável das fontes energéticas foram algumas das alternativas encontradas por muitos países para vencer a crise do petróleo na década de 70. O uso racional de energia passou a ser uma opção vantajosa, devido ao fato de que a partir da redução do consumo seria possível adiar ou mesmo evitar a implantação de novos empreendimentos de geração de energia. O conceito de eficiência energética está vinculado ao serviço

disponibilizado, ou seja, se refere à cadeia energética como um todo. Para tanto, é necessário adequar os aviários às condições climáticas locais, utilizando materiais e técnicas construtivas apropriadas associados a dispositivos de conversão de energia à fontes renováveis que podem contribuir para com o uso racional de energia e a sustentabilidade da atividade. O consumo de energia do galpão está diretamente relacionado as trocas de calor e frio do ambiente construído com as aves e, ainda, daquele com o meio ambiente externo, que sofre influência dos efeitos da temperatura, umidade relativa, radiação solar e a velocidade dos ventos do local, além dos parâmetros de conforto ambiental exigidos pelas aves, proporcionados pelo programa de operação do aviário.

Atualmente, devido a globalização da avicultura brasileira, o gerenciamento do consumo de energia exige atenção, principalmente nos parâmetros de eficiência no processo associados a programas de operação otimizados. A racionalização energética exige uma revisão dos padrões vigentes e uma investigação da viabilidade econômica de possíveis fontes de suprimento à energias renováveis locais, como solar, eólica e resíduos entre outras. A eficiência do processo energético pode ser proporcionada por algumas tecnologias recentes:

Desenvolvimentos recentes em tecnologia de lâmpadas pode proporcionar ao programa de luz implementado, a troca de lâmpadas incandescentes, menos eficientes, por lâmpadas fluorescentes compactas dimerizáveis de alta eficiência. Um estudo experimental comparativo realizado em aviários climatizados padrão 12,00 x 150,00 metros, no Alabama em 2009, apresentou uma redução significativa no consumo de eletricidade despendido em iluminação, índices superiores à 70% foram verificados quando se considerou a substituição de lâmpadas incandescentes de 100 W, 1710 Lumens, eficiência média de 17,1 Lumens/Watt e ciclo de vida aproximado de 1200 horas, por lâmpadas fluorescentes compactas dimerizáveis de 23 W, 1600 Lumens, eficiência média de 69,6 Lumens/Watt e tempo de vida aproximado de 12000 horas. O custo total inicial foi de aproximadamente US\$ 450.00 por aviário e um *pay back* do investimento ocorrendo em 2 lotes, sem comprometer o desempenho das aves (Auburn University, 2009). Os bulbos de LEDS produzem um modelo de iluminação tipo cone não uniforme, tem custo mais elevado e requer um melhor detalhamento elétrico, todavia apresenta um grande potencial de desenvolvimento e aplicação na avicultura de corte.

Por outro lado, os incrementos nos custos dos combustíveis, ao longo dos anos, demandados no processo de calefação dos aviários, exige a busca por alternativas que podem melhorar a eficiência do processo. As estratégias partem de um programa racional de gestão de energia e otimização do sistema de ventilação e, ainda, do uso do aquecimento solar passivo do forro, que podem proporcionar uma redução no consumo de combustível. Entradas estrategicamente localizadas no forro reduzem a umidade relativa e pré aquecem o ar exterior que será fornecido ao ambiente. A quantidade de combustível que pode ser economizada depende do período do dia e das condições atmosféricas externas, observações experimentais em campo, identificaram que durante as estações existem um grande suprimento de calor no forro do aviário. A temperatura do forro, durante o verão, pode exceder 30 graus em relação aos valores externos durante metade do dia. À noite, entretanto, a temperatura do forro é praticamente igual à temperatura exterior. Situação semelhante ocorre nas outras estações do ano mas, com uma intensidade reduzida.

Simulações demonstraram que o potencial de economia de combustível ocorre nos períodos quentes, em aviários com vedação eficiente e parâmetros de resistência térmica das laterais e teto otimizada. Por outro lado, cuidados devem ser tomados quanto a especificação dos exaustores, velocidades e dimensões das entradas e saídas necessárias, vedação do sistema e quedas de pressão recomendadas.

O sistema de ventilação tipo túnel negativo pode ser considerado como o estado da arte no conceito *Dark House*. O conceito explora o efeito na redução da temperatura do corpo das aves quando expostas à certos parâmetros de velocidade do ar otimizados ao longo do eixo longitudinal do aviário, justificando a demanda expressivas de energia elétrica e térmica do processo. Decisões de compra devem considerar não somente o custo inicial, mas, principalmente os custos ao longo da vida do equipamento e sua eficiência. A razão cfm/Watt, vazão produzida por consumo de eletricidade, define o conceito de eficiência de ventiladores e exaustores certificados. Equipamentos com valores médios acima de 20cfm/Watt podem ser considerados excelentes, principalmente quando se analisa o consumo final ao longo do ano.

A eficiência pode ser ainda otimizada pela análise e simulação de dispositivos de conversão elétrica e térmica à energias renováveis locais que proporciona geração distribuída e complementariedade entre fontes de suprimento.

A energia solar pode ser utilizada considerando dois caminhos: painéis fotovoltaicos fornecendo energia elétrica ou, paredes e coletores solares gerando energia térmica. O potencial de geração pode ser incrementado pelas condições construtivas locais. Somente o telhado, pode disponibilizar uma área de até 1200m², tendo o devido cuidado de se investigar sua resistência ao peso dos dispositivos de conversão. A geração de energia elétrica também pode ser proporcionada pela captura de energia cinética dos ventos locais por aerogeradores, considerando uma necessidade média de demanda em aviários de cerca de 8 à 10Kw de potência elétrica.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Aplica-se neste artigo a metodologia de pesquisa experimental comparativa, pois se tenta comprovar os dados experimentais e hipóteses a partir da comparação destes dados com valores de conhecimento geral e multidisciplinares já existentes.

Determinou-se um aviário existente na região considerada que possibilitou o acesso à dados de produção e consumo e, ainda, características construtivas desejáveis para este estudo e análise. A configuração *Dark House* escolhida atende estas exigências por ser intensivo no consumo de energia e por apresentar a melhor rentabilidade dentre os tipos adotados no Brasil.

Foram realizados todos os levantamentos de carga elétrica existente e seu programa de utilização. Visitas identificaram fatos e fenômenos observáveis, registraram fotos e vídeos, bem como, entrevistas com operadores, gestores e análise de documentos que comprovaram o consumo identificado. O levantamento das cargas térmicas ocorreu de forma similar. Nesta primeira fase não se considerou a eficiência dos dispositivos de conversão de energia no uso final.

Identificou-se pela análise da fatura mensal de consumo de energia elétrica e do programa de operação dos equipamentos, o consumo de energia e os picos de demanda e correlacionou-se com a idade das aves e condições sazonais ambientais externas. A forma de cálculo das grandezas e dimensionamento foi fornecida pela NBR 5410 e, ainda, a Resolução 456 da ANEEL permitiu o enquadramento tarifário do consumidor. Os dados de consumo e picos de demanda de energia térmica foram investigados pela análise do consumo de lenha ao longo da vida dos lotes e, ainda, correlacionando-os com a idade das aves e condições ambientais externas. Gráficos foram elaborados reproduzindo os montantes de energia despendidos por lote, bem como, os custos de produção por kWh/ave final.

Foi proposta a efficientização de alguns equipamentos e do ambiente construído, envelope, com o objetivo de reduzir os picos de demanda e o consumo final de energia do aviário. Sugeriu-se a substituição das lâmpadas incandescentes, alterações estruturais e de isolamento do ambiente construído e, ainda, o uso de dispositivos de conversão de energia elétrica e térmica à fontes renováveis. O processo de efficientização e conservação de energia pretende viabilizar técnica e economicamente os sistemas de geração à fontes renováveis sugeridos. A investigação econômica dos sistemas propostos deve considerar algumas hipóteses e cenários que podem auxiliar os investidores na tomada de decisão ao considerar a possibilidade de utilização destes dispositivos em aviários climatizados *Dark House*, seja em ambientes já construídos ou, principalmente, em aviários à serem implementados.

6. ESTUDO DE CASO

O diagnóstico energético foi realizado em um aviário climatizado *Dark House* localizado no município de Capanema, na região sudoeste do Paraná, cujas coordenadas geográficas são: 25 41 00 sul e 53 47 00 oeste. A altitude é de 368 metros e o clima da região, de acordo com a classificação de KOPPEN é cfa, ou seja, é um clima subtropical úmido, com estações definidas e médias de temperatura acima de 22 graus Celsius no verão.

O aviário estudado tem as seguintes dimensões: 12 m de largura por 100 m de comprimento e 2,7 m de altura, coberto com telhas de fibrocimento à 30 graus, beiral com 0,5 m, forro de lonas plásticas e laterais protegidas por duplo cortinado e, ainda, com orientação cartográfica leste-oeste. Considerou-se 18.000 aves confinadas por um período médio de 42 dias.

Foi considerado os diversos sistemas que compõem o programa de operação do aviário. O sistema de climatização e ventilação é composto por 6 exaustores axiais de 1 CV em conjunto com 2 painéis evaporativos adiabáticos na face de entrada lateral de ar do túnel e um sistema de bicos nebulizadores internos, pressurizados por uma bomba centrífuga de 2 CV. O sistema de ventilação, equipado com 6 exaustores axiais na parede oposta à entrada de ar, pode operar 2 programas : ventilação mínima, controlado por tempo, utilizando apenas 2 exaustores, remove poluentes e fornece oxigênio ; ventilação máxima, controlado por temperatura e proporcionada pela operação simultânea dos 6 exaustores, tem como principal função a climatização do aviário nos períodos quentes. O sistema de calefação é composto por uma fornalha indireta com capacidade de 1,0 m³ de lenha, autonomia de 5 h e uma potência indicada de 480 kW complementado por um ventilador centrífugo de 2 CV e uma rede de dutos de distribuição de ar quente, que proporciona o aquecimento do aviário. O programa de iluminação implementado pela integradora utiliza 78 lâmpadas incandescentes de 100 watts com uma recomendação de 25 lux de intensidade luminosa e, exige, quando a ave atinge 160 gr, uma redução gradativa da intensidade para 5-10 lux (Cobb-Ventress, 2009). O fornecimento de água é proporcionado por um reservatório com autonomia de 48 horas e uma bomba submersa de 4 CV com capacidade para atender as necessidades das aves e também a demanda máxima dos sistemas de resfriamento evaporativo e bicos de nebulização. A ração é disponibilizada às aves por 3 transportadores helicoidais de ½ CV acoplados à um silo de armazenagem com capacidade para 5 dias de consumo.

O consumo de energia elétrica é definido pelo uso de força eletromotriz e iluminação, demandados pelos programas de ventilação e luz, fornecimento de ração e água ao aviário. O cálculo das grandezas elétricas utilizou como referência a norma NBR 5410.

6.1 Parâmetros operacionais referenciais do aviário

O consumo energético referencial kWh/lote e o custo referencial R\$/ave considerou os parâmetros operacionais definidos pela integradora para o aviário *Dark House* investigado, complementados por dados extraídos da planilha de custos de produção do integrado

- I) Programa de iluminação – energia elétrica (integradora)
- II) Programa de ventilação mínima – energia elétrica (integradora)
- III) Ventilação máxima – energia elétrica (estimado)
- IV) Calefação – energia térmica (estimado)
- V) Sistemas de fornecimento de ração e água – energia elétrica (estimados)

A Fig. 2 identifica o esquemático dos equipamentos avaliados e a potência final instalada, diferenciando os componentes por fonte de energia considerada. O rendimento dos equipamentos não está identificado nas grandezas disponibilizadas.

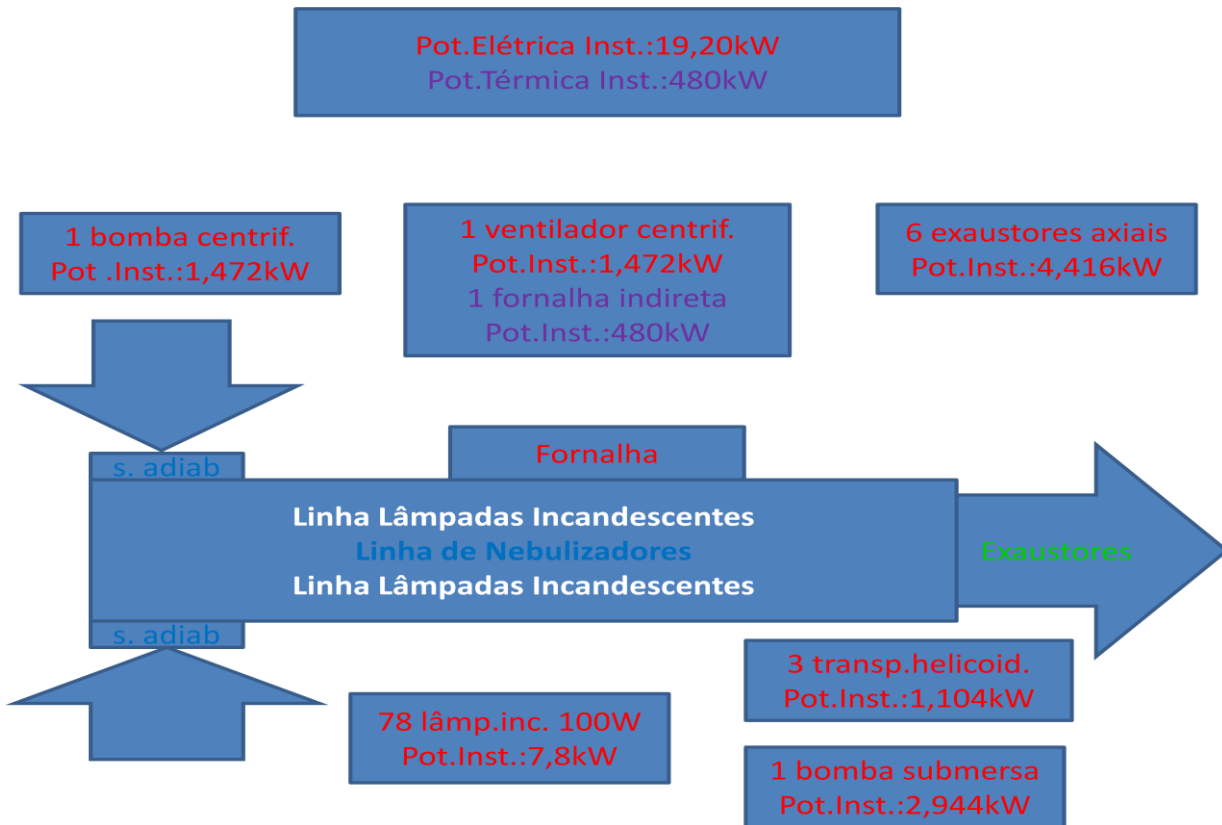


Figura 2 – Esquemático *Dark House* equipamentos avaliados/potência final/fonte de energia

6.2 Consumo energético referencial kWh/lote

O gráfico 1 representa o consumo médio final tendencial de energia elétrica por lote, considerando condições ambientais extremas para o local objeto de estudo: verão e inverno. Analisando os dados apresentados, identifica-se que o consumo máximo de eletricidade ocorreu no verão, 4,453 kWh, possível explicação: uso intenso do sistema de climatização; por outro lado, o menor consumo ocorreu no inverno, 3400 kWh, justificado pela operação do programa de ventilação mínimo. O gráfico 2 identifica os valores máximos demandados com calefação nos períodos frios, 20 m³ de lenha, possivelmente causado pelo clima subtropical do local, aves jovens e isolamento deficiente do aviário e, ainda, os valores despendidos no verão, 10 m³ coerentemente esperado. Os dados de energia térmica estão apresentados em m³ de lenha pelo fato do rendimento da fornalha indireta estar sendo investigado por este autor. Estes dados são valores finais por lote, em média aos 42 dias, fornecidos pela planilha de custos de produção do integrado e, ainda, se observa uma inversão na demanda de energia elétrica e calefação nos períodos quentes e frios.

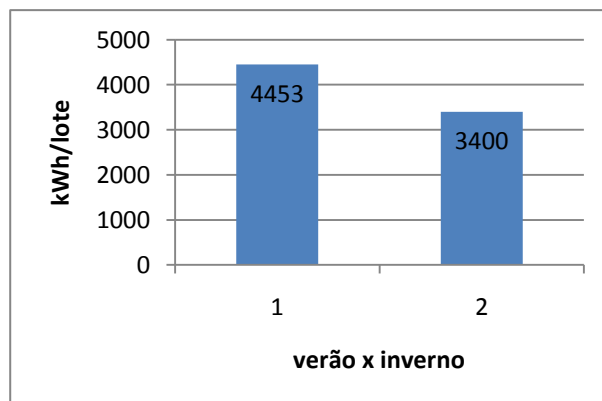


Gráfico 1 – Consumo de eletricidade verão x inverno em kWh/lote

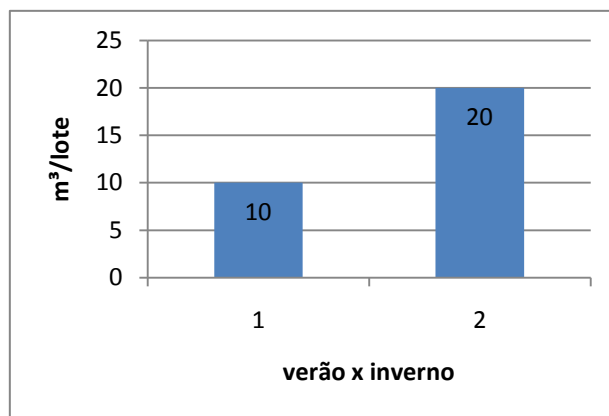


Gráfico 2 – Consumo de lenha verão x inverno em m³/lote

6.3 Custo energético referencial R\$/ave

Os custos variáveis de produção demandados com energia são compostos por : energia elétrica e calefação e, ainda, apresentam um comportamento diferenciado ao longo do ano , ou seja, na composição do custo energético final por lote, a energia elétrica representa o maior valor no verão e o sistema de calefação, no inverno.

O custo final energético por ave no verão é de R\$ 0,083, sendo, R\$ 0,058 representado por eletricidade e R\$ 0,025 por calefação, por outro lado, o custo nos meses frios é de aproximadamente R\$ 0,094/ave. O cálculo dos custos considerou 18.000 aves confinadas, o m³ de lenha em média à R\$ 45,00 e R\$ 0,2344 para cada kWh faturado pela concessionária. O gráfico 3 identifica os componentes e o comportamento tendencial verão x inverno.

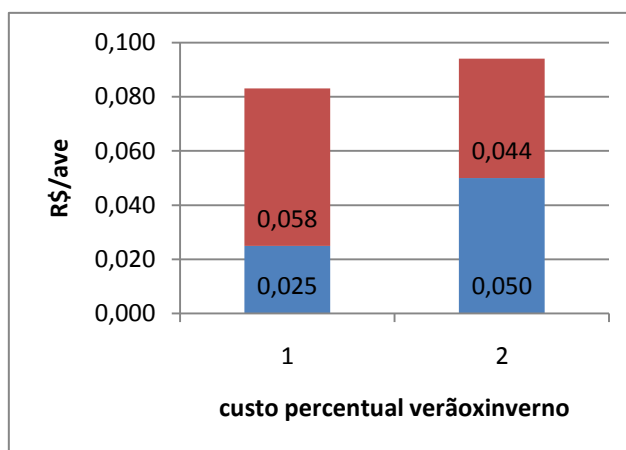


Gráfico 3 – Custo energético final verão x inverno em R\$/ave

6.4 Eficientização

O processo de efficientização energética do aviário tem como objetivos principais otimizar a eficiência e conservação de energia do aviário, redução nos picos de demanda, potencializar o uso de fontes de suprimento renováveis locais e, conseqüentemente, reduzir os custos de produção do integrado. A estratégia explora 3 pontos básicos: substituição das lâmpadas incandescentes pela tecnologia de lâmpadas fluorescentes compactas dimerizáveis; investigação do comportamento térmico do envelope construído, considerando seus parâmetros de isolamento e possibilidade de aquecimento solar passivo e, ainda, a utilização de sistemas integrados de geração à fontes renováveis.

A estratégia de efficientização pretende viabilizar técnica e economicamente os dispositivos de conversão sugeridos considerando um ambiente já construído, neste caso, especificamente, os custos do *retrofitting* devem ser investigados quanto à sua viabilidade técnica e financeira quando comparado aos investimentos necessários para a construção de um aviário novo que atenda os parâmetros desejados de consumo de energia.

6.5 Sistema de iluminação

O programa de iluminação, implantado pela integradora, demanda 693 horas de funcionamento por lote e, o consumo é proporcionado por 78 lâmpadas incandescentes de 100 watts, 1710 lumens, eficiência de 17,1 lumens/watt e uma vida estimada de 1200 horas. O processo de *retrofitting* considerou a substituição dos bulbos existentes pela

tecnologia das lâmpadas compactas fluorescentes dimerizáveis na configuração indicada: 26 watts, 1750 lumens, eficiência de 67,3 lumens/watts e ciclo de vida aproximado de 12000 horas. O custo estimado de substituição de cada lâmpada é de aproximadamente U\$ 6,00 e a economia média gerada por lote deve proporcionar um *pay back* do investimento em aproximadamente 2 lotes. Os cálculos não consideraram o ciclo de vida superior das lâmpadas fluorescentes e a redução nos custos de reposição. A redução no consumo de eletricidade projetado pelo sistema de iluminação à bulbos fluorescentes deve ser de aproximadamente 63 % e considerando um ciclo de vida para as lâmpadas de aproximadamente 17 lotes. O efeito final da estratégia de investimento em uma tecnologia mais eficiente de iluminação é um redução nos custos finais energéticos do aviário em aproximadamente R\$ 0,016/ave e R\$ 290.00 por lote, independente da estação do ano. O gráfico 4 apresenta a redução no consumo estimado de energia elétrica pela substituição na tecnologia de bulbos de iluminação, o potencial de economia é de aproximadamente 2.210kWh/lote.

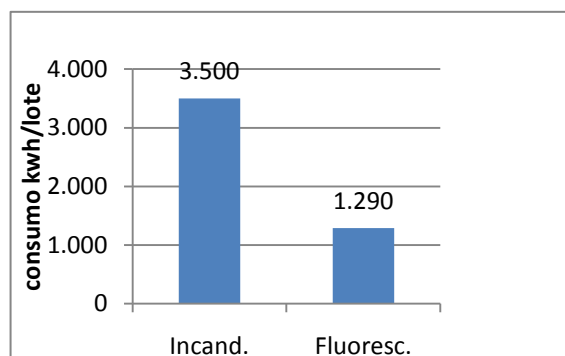


Gráfico 4 – consumo de eletricidade em kWh/lote

6.6 Eficiência energética do ambiente construído

Investigar os parâmetros de isolamento do aviário e propor alternativas construtivas para o envelope que podem se beneficiar do aquecimento solar passivo do aviário para fins de pré aquecimento do ar interno e otimização nos parâmetros de calefação. O ponto de partida de um bom plano de gerenciamento do consumo de energia em um aviário pode ser obtido a partir de algumas estratégias: investigar e quantificar as perdas de energia térmica do ambiente e propor melhorias nos parâmetros de isolamento e vedação do galpão avícola; viabilizar a conservação de energia e o gerenciamento do sistema de climatização e calefação utilizando conceitos construtivos *green* associados à fontes alternativas locais de calefação para as aves.

Considerando o teto dos aviários como uma potencial área de aproveitamento de energia solar, o aquecimento passivo solar do forro como fonte de pré-aquecimento do ar interno pode contribuir para a redução do consumo de combustível usado no processo de aquecimento. Segundo Campbell (2008), estudos realizados pela Universidade do Mississippi, indicaram, principalmente no verão, que a temperatura do forro pode exceder em até 30 graus à temperatura externa durante à metade do dia. Os ganhos dependem dos períodos do ano e das condições meteorológicas. Os melhores resultados foram obtidos no verão, com redução de até 40% no consumo de combustível e, os menores índices, cerca de 15 % no inverno (Auburn University, 2008).

Para o caso estudado, estimando ganhos conservadores, o pré aquecimento do ar de insuflamento, ao explorar a inércia térmica do sistema telhado e forro, poderia contribuir com cerca de 6.000 Kwh/lote. O cálculo considerou a demanda média de energia térmica verão e inverno fornecida pelo sistema de calefação do aviário estudado e sua correlação com as perdas estimadas pelo telhado, parâmetros que dependem da área do telhado, do coeficiente de resistência térmica do material construtivo e da diferença de temperatura entre os ambientes considerados.

Reduzir as perdas de calor através da estrutura do aviário, por outro lado, também pode potencializar a redução nos custos despendidos com energia, principalmente no inverno, justificados pela configuração construtiva dos aviários, que proporcionam áreas de teto e paredes significativas. A transferência de calor através destas estruturas depende, basicamente, do coeficiente de resistência térmica do elemento e da diferença de temperatura interna e externa. Valores elevados de amplitude térmica entre os ambientes e resistência térmica deficiente, proporciona as condições para perdas elevadas de calor. Os aviários apresentam valores de resistência térmica para as cortinas laterais próximos de $1\text{m}^2\text{K/W}$, ou seja, o isolamento é deficiente. Os valores médios recomendados de resistência térmica devem estar entre 5 e $6\text{m}^2\text{K/W}$ para as paredes laterais e próximo de $20\text{m}^2\text{K/W}$ para o telhado, estes valores devem ser adequadamente investigados considerando as variáveis meteorológicas para as coordenadas do local em análise. O nível de isolamento adequado reduz as flutuações de temperatura interna, a condensação e minimiza os custos com calefação do aviário. A fig. 3 permite identificar as áreas das superfícies à serem investigadas quanto ao isolamento adequado. O isolamento deficiente destes ambientes avícolas construídos no Brasil, percentualmente, podem proporcionar montantes energéticos de até: laterais contribuem com 56 % das perdas, o telhado com 39 % e os oitões com 5 %.

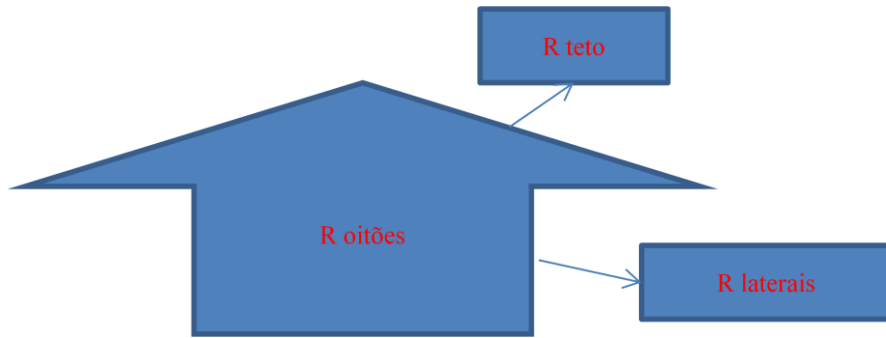


Figura 3 – áreas de troca térmica consideradas

A Eq. (1) estimou a perda de calor média do ambiente construído:

$$Q \text{ (Btu/h)} = \text{área(ft}^2\text{)} (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) / R \quad (1)$$

Por outro lado, o nível de isolamento economicamente viável é limitado pelos custos dos materiais isolantes. Os custos estimados para o isolamento de aviários, depende do tamanho e parâmetros do isolante selecionado, podem em média ser de até U\$10.000, justificando uma análise detalhada do investimento e o *pay back* esperado. Segundo Simpson (2007), valores de resistência térmica entre 5 e 8 m²K/W são considerados os limites economicamente viáveis e, ainda, valores próximos de 8 m²K/W podem reduzir as perdas pela estrutura em até 50%. Considerando a metodologia proposta para quantificar as perdas de calor e sua relação com o coeficiente de resistência térmica dos elementos construtivos do aviário estudado, o gráfico 5 apresenta a estimativa das perdas de calor do envelope e a redução esperada nas perdas de calor quando considera-se um coeficiente de resistência térmica de 19 m²K/W para o teto, 6 m²K/W para as laterais e 11 m²K/W para os oitões. O consumo de energia térmica estimado seria reduzido, nos períodos frios, em aproximadamente 40%. A redução esperada nos custos energéticos finais pela otimização do isolamento deve ser em média de R\$ 0,020/ave.

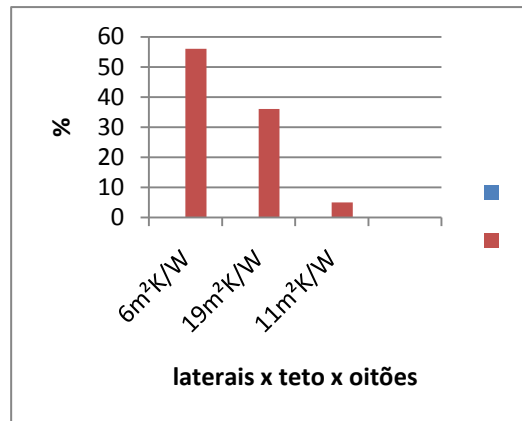


Gráfico 5 – Resistência térmica elemento x % redução perdas

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estratégia de conservação de energia e sustentabilidade da atividade, com a potencialização da eficiência no uso final dos equipamentos e do ambiente construído teve como principal objetivo otimizar o perfil de demanda do aviário e viabilizar a implementação, dimensionamento e análise econômica dos sistemas propostos à fontes renováveis locais.

A demanda foi estimada considerando a substituição das lâmpadas incandescentes pela tecnologia de bulbos fluorescentes compactos dimerizáveis, pré-aquecimento solar passivo do ar interno e otimização do isolamento térmico do ambiente. Cabe ressaltar, ainda, que duas estratégias foram adotadas: perfil de demanda em um dia típico do mês de janeiro e, em contra partida, os picos de demanda para um dia do mês de julho, considerando respectivamente, energia elétrica e térmica e os parâmetros meteorológicos das coordenadas do local investigado.

O consumo médio otimizado de energia do aviário, considerando todas as propostas de eficiência, deve apresentar os valores do gráfico 6, ainda, cabe comentar, que não foi analisado nestes dados a possível redução no tempo de operação do ventilador da fornalha e dos exaustores, pelo fato do isolamento ter sido otimizado e alterado o desempenho térmico do galpão avícola.

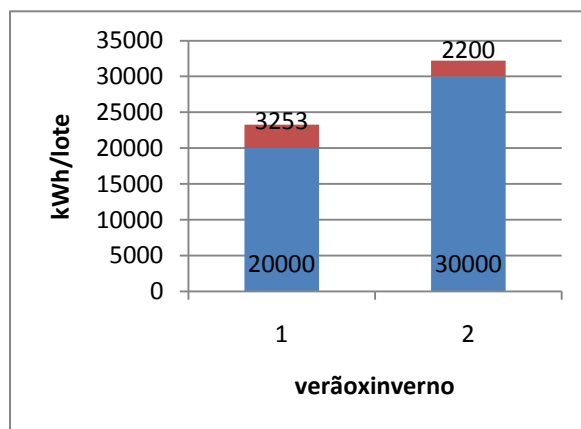


Gráfico 6 – Consumo otimizado de energia elétrica e térmica em kWh/lote

O custo variável energético final em R\$/ave estimado, após o *pay back* de todos os investimentos, deve apresentar os dados do gráfico 7.

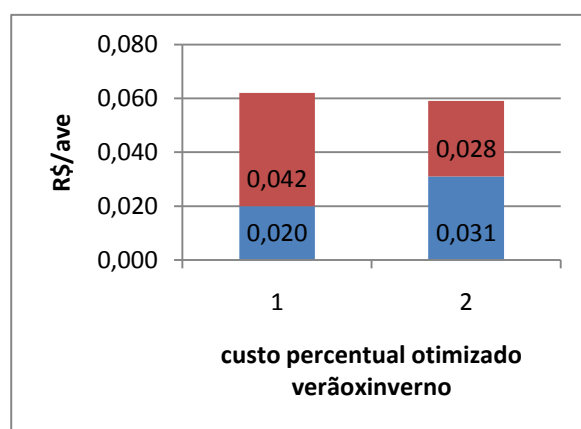


Gráfico 7 – Custo energético final otimizado verão/inverno/ave

A análise dos gráficos 3 e 7 proporciona a comparação entre os custos finais energéticos referencial e otimizado no verão e inverno e, identifica-se uma redução média esperada de aproximadamente 25 % nos custos no verão, sendo o custo final esperado de R\$ 0,062/ave e, até 36 % no inverno, aproximadamente R\$ 0,059/ave. A validação dos dados experimentais estimados e otimização dos dispositivos e do envelope modelado propostos estão sendo simulados no *software energy plus* e os resultados e conclusões serão apresentados pelo autor durante o IIICBENS à realizar-se em Belém-PA no mês de setembro de 2010, quando da apresentação e divulgação deste artigo.

8. CONCLUSÕES

O estudo apresentou dados baseados em hipóteses e estimativas a partir da análise energética em um aviário climatizado *Dark House* e propôs estratégias de efficientização considerando estudos e investigações existentes na literatura que podem potencializar a utilização das energias renováveis na avicultura de corte. Algumas considerações e comentários se fazem necessários:

- a) A investigação e dimensionamento de sistemas integrados à energias renováveis na avicultura de corte exige, necessariamente, a efficientização dos equipamentos e do ambiente construído existente ou projetado. A viabilidade dos sistemas integrados propostos, técnica e econômica, sofre influência significativa dos parâmetros de consumo do aviário e, ao considerar o uso de equipamentos e materiais construtivos de baixa eficiência elétrica e térmica, o efeito é potencializado.
- b) A substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas dimerizáveis é de extrema importância, o consumo demandado pelo programa de luz implementado demonstrou uma redução significativa se o aviário estiver equipado com este tipo de lâmpadas sem prejuízos nos índices de iluminação exigidos pela atividade. O consumo de energia elétrica pode ser reduzido em até 70 % quando se considera esta tecnologia de lâmpadas.
- c) A conservação de energia térmica e, conseqüentemente o menor consumo de lenha, pode ser, percentualmente reduzida, quando se considera o aquecimento solar passivo do ar insuflado pelo forro. A inércia térmica do conjunto telhado/forro pode ser utilizada pelo sistema de calefação quando o aviário estiver equipado com entradas

estrategicamente dimensionadas e posicionadas no forro, em contra partida, deve-se investigar o consumo de energia do conjunto de exaustores, justificado pela alteração do nível de pressão estática do sistema.

d)O nível de eficiência do isolamento do aviário, telhado, laterais e oitões, determina os parâmetros de perda de calor do ambiente e, conseqüentemente, influi na demanda energética da atividade. Os aviários, geralmente, apresentam isolamento e vedação deficientes, possivelmente por questões econômicas, em contra partida, o nível de isolamento ótimo é limitado pelos custos. A situação é mais crítica em aviários já construídos, o processo de *retrofitting* técnico e econômico do isolamento demanda uma análise estrutural do aviário. O projeto de aviários novos, deve, necessariamente, prever a investigação destes parâmetros de perda de calor e seu impacto na rentabilidade do investidor.

e)A viabilidade no uso de aerogeradores para fins de geração de eletricidade em aviários deve considerar as estratégias comentadas, neste sentido, o dimensionamento e os custos do investimento podem ser otimizados. O aviário investigado apresentou um fator de demanda das cargas elétricas médio ao longo do ano de 0,338 e, ainda, considerando a confiabilidade e a possibilidade de falta do suprimento renovável garantida pela rede elétrica rural ou pelo gerador à diesel, considerar o uso deste fator para fins de dimensionamento da potência do aerogerador pode ser uma estratégia técnica e economicamente interessante. Em contra partida, o local estudado apresentou uma distribuição irregular na velocidade dos ventos, determinando baixo rendimento da turbina e custos de geração mais elevados, neste sentido, é obrigatório investigar o uso de painéis fotovoltaicos que podem complementar a geração eólica.

f)Existe a necessidade de desenvolvimento técnico e econômico em aerogeradores com potência inferior a 20 Kw, viabilizando o uso destas turbinas em atividades econômicas como a avicultura de corte.

g)O aquecimento do ambiente pelo uso de aquecedores solares deve proporcionar uma redução no consumo de combustível. O desafio está em propor configurações que explore novos conceitos de dispositivos de troca térmica solar juntamente com o desenvolvimento de projetos de aviários que proporcionem o uso de técnicas construtivas e de materiais que podem potencializar a conservação de energia térmica.

h)Investigar, ainda, a rentabilidade do investidor, quando considera-se todas estas propostas de conservação de energia e uso de fontes renováveis na avicultura de corte.

i)Os trabalhos serão complementados pela continuidade do estudo proposto, pretende-se validar os dados apresentados considerando um balanço energético do aviário e validação dos dados estimados. A simulação do consumo térmico e elétrico, juntamente com o perfil de demanda das cargas ao longo do ano do aviário estudado e do envelope proposto, será auxiliado pelo uso dos *softwares* HOMER e *EnergyPlus*. A estratégia de dimensionamento dos dispositivos à fontes renováveis vai considerar a disponibilidade de suprimento destas para as coordenadas geográficas do local, o programa de operação e os picos de demanda e consumo do aviário *Dark House* otimizado pela utilização dos *softwares* comentados. A análise dos resultados e conclusões finais deste artigo serão proporcionados pela utilização de ferramentas e técnicas disponibilizadas pela engenharia econômica, onde a viabilidade técnica e econômica e, ainda, o impacto nos custos de produção do investidor, serão explorados quando se considera geração de energia à fontes renováveis.

REFERÊNCIAS

- Campbell, J., Simpson, G., Donald, J., Macklin, K., 2008, Attic Inlet Technology, NewsLetter, National Poultry Technology Center, Auburn University.
- Manual de Manejo de Frangos de Corte, 2008. Cobb-Vantress Inc, Arkansas.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Estudos e Publicações. MAPA
- Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 2009. Estimativas de Custo, Frango de Corte. SEAB
- Simpson, G., Donald, J., Campell, J., Macklin, K., Burrow, N., 2009. Energy Efficient Lighting, NewsLetter, National Poultry Technology Center, Auburn University.
- Simpson, G., Donald, J., Campell, J., Macklin, K., Burrow, N., 2007. Controlling Sidewall Energy Losses, NewsLetter, National Poultry Technology Center, Auburn University.
- United States Department of Agriculture, 2009. The Agricultural Research Service. ARS

Abstract. *The Brazilian poultry industry occupies a prominent position in the international market, Brazil stands out in this scenario as the largest exporter and third largest producer. The fact of the chicken protein behave as a commodity, requires investments in technology and management that can provide the maintenance and improvement of the profitability of the activity, when one considers the increasing competitiveness among players international. Os avian conditioned Dark House can be considered as a response to these demands by providing the investor a high density of poultry and optimized production costs. The profitability and maintaining environmental comfort parameters of birds provided by these poultry houses, on the other hand, require significant amounts of energy. Energy conservation and sustainability of the activity can be increased by the use of hybrid integrated systems to local and renewable energy, yet justified by the existence of these rural sites, a network of rural electric and a diesel generator, providing the reliability and optimization in design criteria of the system investigated, when considering the possibility of lack of supply by renewable sources. The technical and economic feasibility of conversion devices, requires an efficiency improvement in end-use equipment and the existing built environment, justified by the consumption of poultry and poor insulation. The strategy of improvements considered, among others: the replacement of incandescent light bulbs with compact*

fluorescent dimmable with gains of up to 70% reduction in electricity consumption for lighting system, pre passive solar heating of air insufflation by the effect of thermal inertia of all roof / ceiling associated with improvements in the coefficient of thermal resistance of the roof, sides and eights. The reduction in heat energy consumption expected, can be up to 50%, with higher values in summer. This set of measures has enabled the simulation of a wind turbine, scaled by a factor of average demand load of poultry throughout the year, and investigated the use of solar heaters, which indirectly aided by a wood burning furnace, can contribute to with reducing the consumption of thermal energy of poultry shed. The financial analysis of these measures should help decision makers about the feasibility and impact on production costs of poultry conditioned Dark House when equipped with hybrid integrated systems to local renewable sources

Key words: *Renewable Energies Poultry Cutting, Sustainability, Poultry Dark House*