

# CONTROLE DO SISTEMA DE ACIONAMENTO E GERENCIAMENTO ENERGÉTICO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO MOVIDO A ENERGIA SOLAR

NILSON N. FRANCESCHETTI, JÚLIO C. ADAMOWSKI, M. GODOY SIMÕES

Universidade de São Paulo

Laboratório de Automação e Sistemas - Mecatrônica, Depto. de Eng. Mecânica

Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900 São Paulo/SP

E-mails: nfrances@usp.br, jcadamow@usp.br, mgs@usp.br

**Resumo** - Este artigo descreve um avançado controle de um sistema de acionamento para um veículo movido a energia solar, que participou de uma competição de veículos solares na Austrália. O sistema de controle extrai a máxima potência elétrica de oito painéis solares, que cobrem toda a superfície do veículo, através de controladores baseados em microprocessadores, que buscam a potência máxima para cada painel solar. O sistema de propulsão é composto por duas rodas dianteiras direcionáveis e uma roda traseira, que traciona o veículo através do controle de acionamento de um motor “brushless” cc. O sistema realiza uma seqüência de inicialização e finalização, possibilita o controle de torque ou de velocidade, possui um computador de bordo para monitoramento do sistema e comunicação e possibilita uma estratégia de corrida, de forma a otimizar a energia gerada e consumida. O sistema de acionamento foi implementado em um protótipo de fibra de carbono, que transporta duas pessoas, atingindo um desempenho satisfatório, e pode ser facilmente utilizado em outros tipos de veículos elétricos.

**Abstract** – The paper describes an advanced drive system control for a solar powered vehicle. The drive system control extracts the maximum electrical power from a distributed solar array that covers the surface of the vehicle, with distributed RISC based peak power tracker controllers for each individual solar panel. The vehicle propulsion has two steering wheels and one propulsion wheel based on a brushless dc machine drive control. The system is capable to sequence from start-up to shutdown, is torque or speed controlled, has a on-board computer for system monitoring and communication for energy management in the race strategy which optimizes the energy management. The drive system has been fully implemented in a two seat carbon fiber prototype with satisfactory performance and can be easily translated to other types of electrical vehicles.

## I. INTRODUÇÃO

Soluções utilizando fontes de energia alternativa estão ganhando grande atenção nos últimos anos, devido às necessidades de fontes de energias limpas, seguras e renováveis. A geração de energia fotovoltaica, térmica, eólica e a partir de biomassa, estão ganhando muita aceitação por

parte da sociedade, por causa dos problemas de segurança e poluição ambiental dos sistemas convencionais de geração de energia. Os veículos elétricos estão sendo alvo de intensas pesquisas devido à necessidade do controle da poluição e decréscimo da importação de petróleo. Adicionalmente, há a necessidade de geração de mais energia devido ao crescimento populacional e industrial, demandando soluções com boa relação custo-benefício [1].

A Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) tem gradualmente incluído em seus cursos de graduação e pós-graduação, atividades educacionais relacionadas a energia alternativa. Neste sentido, a World Solar Challenge (WSC), uma competição de veículos solares através do deserto australiano, foi identificada como uma forma singular de motivar estudantes no envolvimento de estudos e projetos em tecnologia de energia solar e construção de veículos elétricos [2] [3].

Os regulamentos desta competição permitem que somente a energia gerada através da luz do sol possa propulsionar o veículo, permitindo-se que o excedente de energia gerada seja armazenada em baterias. Para participar na WSC, o veículo deve ser projetado de forma a otimizar seu desempenho aerodinâmico e a utilização da energia gerada, e possuir boa estabilidade e robustez para cruzar os 3.000 km da prova. O veículo desenvolvido pela EPUSP, denominado Poli-Solar, é mostrado na Figura 1 e suas principais características são apresentadas na Tabela 1.

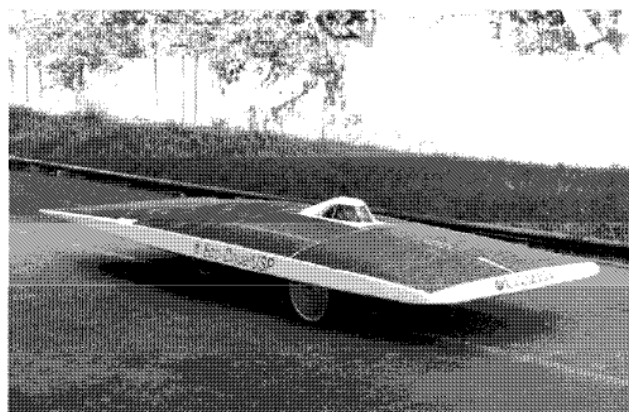


Figura 1: Fotografia do Poli-Solar

**Tabela I**  
Características do veículo solar

Dimensões	6 m x 2 m x 1m
Área da Superfície Solar	12 m <sup>2</sup>
Ocupantes	2
Suspensão Dianteira	Duplo A
Suspensão Traseira	Pro-Link
Direção	Acionada por Cabos de Aço
Potência Solar	1.800 W
Capacidade da Bateria	200 Ah
Velocidade Máxima	90 Km/h
Controle dos Painéis	Microcontrolador PIC16C74
Controle do Acionamento	Controle Analógico
Computador de Bordo	Microcontrolador 68HC11
Gerenciamento Energético	Baseado na Captura Energética

## II. SISTEMA DE ACIONAMENTO E CONTROLE

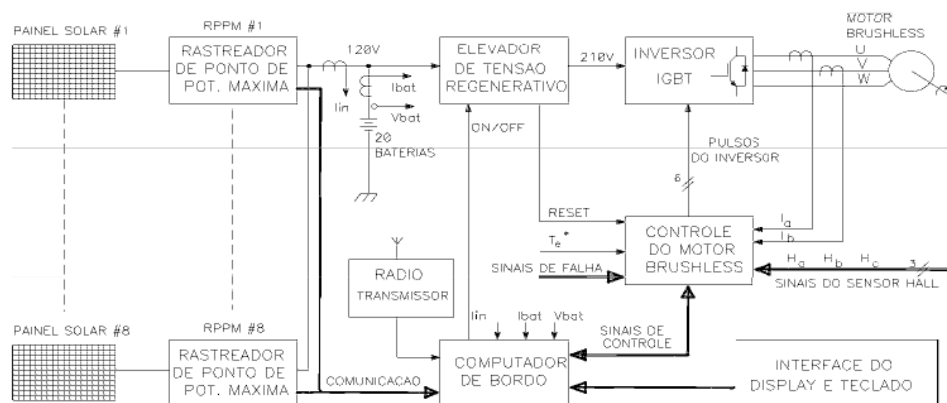
O sistema completo de acionamento e controle é mostrado na Figura 2. Existem oito painéis solares distribuídos sobre a superfície do veículo. Quatro painéis são construídos com células solares de 16,5 % e quatro com células de 15% de eficiência de conversão fotovoltaica, todas da empresa alemã ASE. As células solares estão conectadas em série, formando um “zig-zag” sobre a superfície. O chassi e a carenagem do veículo foram construídos utilizando resina epóxi, fibra de carbono e de vidro, cada célula foi fixada sobre a superfície através de fita adesiva de dupla-face.

Cada painel solar é conectado a um Rastreador de Ponto de Potência Máxima (RPPM), circuito que maximiza a transferência de energia através do casamento de impedância entre o painel e o sistema de acionamento [4] [5] [6]. A energia total pode ser armazenada em baterias, ou flui diretamente para o motor, dependendo da demanda. O nível de tensão cc de alimentação do inversor da máquina é composto por dois conjuntos de dez baterias, ligados em paralelo, atingindo uma tensão de 120 V. Esta tensão é posteriormente elevada para 210 V através de um elevador de tensão regenerativo, mostrado na Figura 3. O estudo entre o

peso total das baterias comparado com o peso e espaço de um elevador de tensão, mostrou que este último é a configuração ideal para o veículo [7].

O elevador de tensão regenerativo possui duas chaves IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) controladas, com diodos de roda livre. O sistema é regenerativo, permitindo que o fluxo de energia ocorra nos dois sentidos, ou seja, elevando a tensão de 120V para 210V, fornecendo a corrente requerida pelo motor, ou devolvendo a corrente para o conjunto de baterias quando a máquina “brushless” cc impõe tensão superior ao elo cc, devido a uma frenagem ou pista com declive. O transistor  $T_1$  do IGBT controla a razão entrada/saída através de PWM, e o transistor  $T_2$  é controlado através do sinal complementar de  $T_1$ , isto é, quando  $T_1$  conduz  $T_2$  corta, e vice-versa. A regeneração pode ocorrer em dois níveis de operação. O primeiro ocorre quando a tensão do elo cc supera os 210V até o máximo de 360V, e o segundo quando a tensão é superior a 360V. No primeiro nível, há regeneração através do período de condução de  $T_2$ . No segundo nível, a regeneração ocorre devido à atuação de um comparador por histerese, implementado através de um circuito analógico. Esse comparador, durante sua atuação, desliga o transistor  $T_1$  e liga o transistor  $T_2$ . A Figura 4 apresenta os resultados experimentais, para uma reversão de torque da máquina operando em velocidade constante, mostrando os níveis de tensão do elo cc, onde observa-se os níveis de operação da regeneração. A tensão cc de alimentação do inversor da máquina possui uma resposta oscilatória quando a corrente flui de volta para a bateria, indicada no gráfico pelo nível negativo. De forma a reduzir os transientes impostos na tensão de alimentação do inversor, um freio dinâmico atua quando a tensão atinge 400 V, e diodos zener eliminam picos de tensão superiores a 750V.

O elevador de tensão regenerativo pode ser desligado através do computador de bordo, o qual durante o sistema de inicialização reseta o acionamento da máquina “brushless”. O inversor foi construído com módulos IGBTs e circuitos de comando de gate isolados da Semikron, comandados por pulsos do sistema de controle do acionamento da máquina “brushless” [8].



**Figura 2.** Diagrama de blocos do sistema de acionamento e controle do Poli-Solar

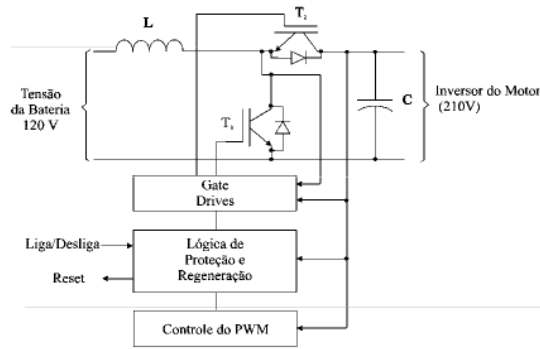


Figura 3. Diagrama do elevador de tensão regenerativo

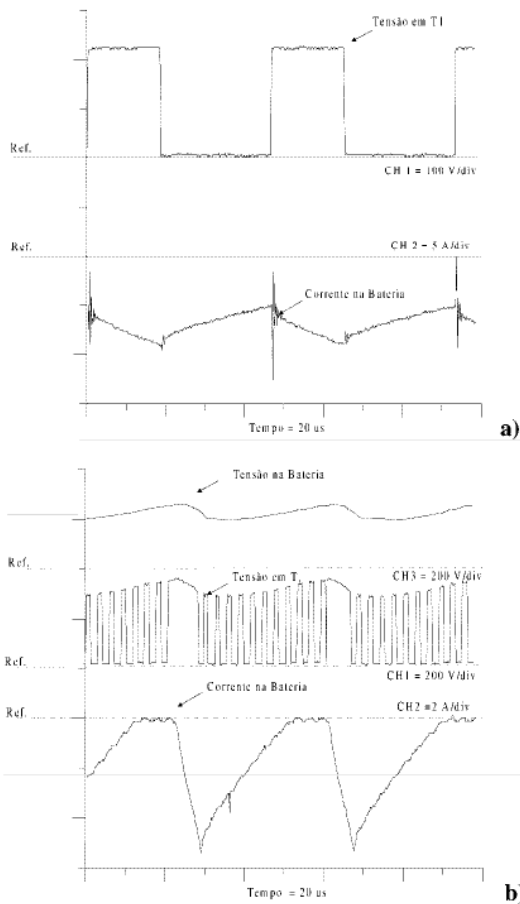


Figura 4. Resultados da regeneração para inversão de torque do motor. a) regeneração no primeiro nível, b) regeneração no segundo nível

A Figura 5 descreve o sistema de controle do acionamento da máquina, o nível de torque de referência  $T_e^*$  é imposto manualmente através de um potenciômetro, ou gerado pelo computador de bordo durante a operação em controle de velocidade. O torque de referência  $T_e^*$  é comparado ao torque estimado, sendo este reconstruído através das correntes instantâneas da máquina  $i_a$  e  $i_b$  por uma chave analógica baseada em um circuito que endereça as inversões e adições necessárias para construir a corrente de torque  $I_T$ . A saída do controlador PI é modulada em largura de pulso (PWM) através de uma frequência portadora triangular de 20 kHz. Os sensores de efeito Hall ( $H_a$ ,  $H_b$  e  $H_c$ ) endereçam, através de uma tabela de informação, contida em

uma memória EPROM, a sequência de fase da máquina de forma a gerar os pulsos do inversor, com "dead-time" entre o tempo de subida e descida de 5  $\mu$ s.

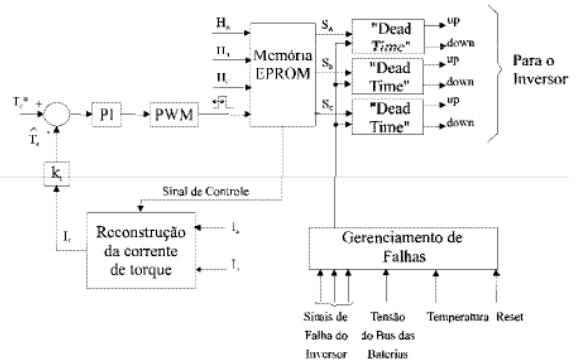
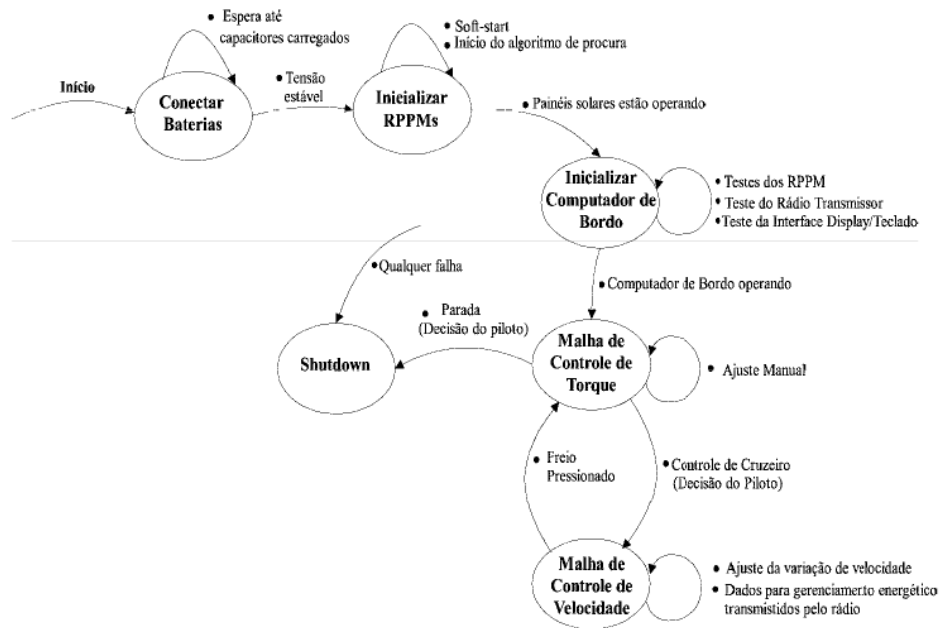


Figura 5. Controle do acionamento da máquina "brushless"

O circuito de gerenciamento de falhas recebe do inversor informações do nível de tensão do barramento, temperatura e sinal de reset, para desligar os pulsos do inversor em caso de falha. A Figura 2 apresenta ainda o computador de bordo. Ele recebe informações dos valores da corrente total dos painéis solares ( $i_{in}$ ), corrente da bateria ( $i_{bat}$ ), e tensão da bateria ( $v_{bat}$ ) através dos canais do conversor analógico/digital do barramento de comunicação do RPPM de cada painel solar. Estas informações são transmitidas através de um rádio para um veículo auxiliar, onde um computador faz o gerenciamento energético, como explicado posteriormente. Há um mostrador de cristal líquido e um teclado para interfacear o computador de bordo e o piloto, que desta forma pode observar a energia gerada e consumida, a velocidade do veículo, e comandar o sistema de controle do acionamento, impondo controle de velocidade ou de torque.

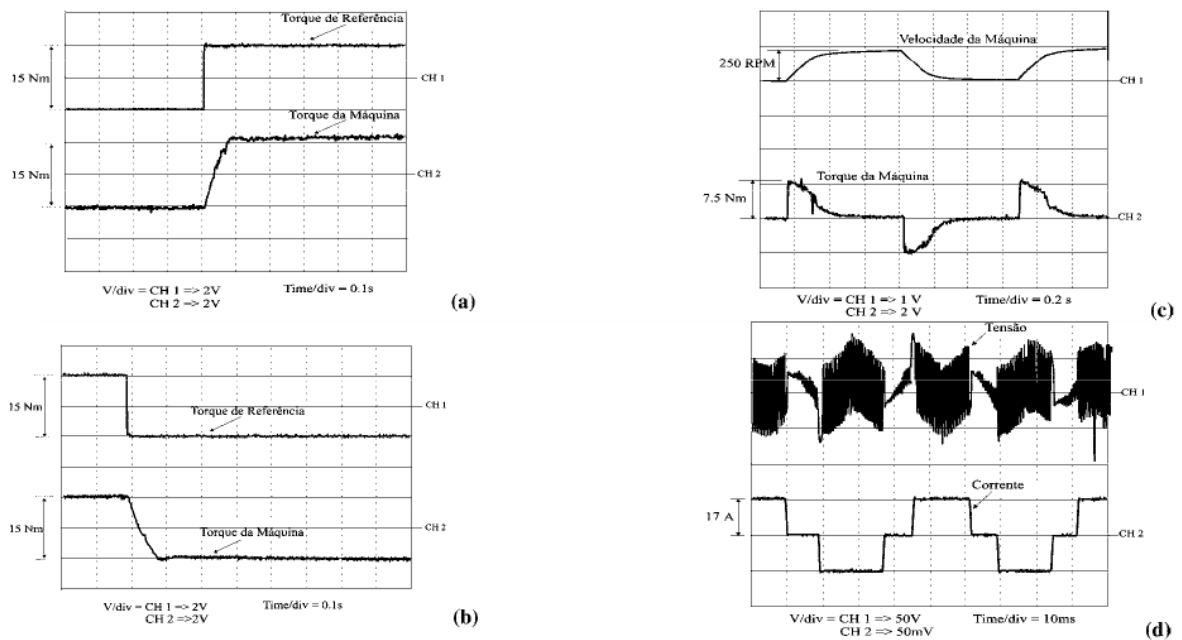
A Figura 6 mostra o diagrama do sistema de controle do acionamento, onde durante o período de inicialização, as baterias são manualmente conectadas. Posteriormente os capacitores se carregam, elevando a tensão do inversor, sensorizados com comparadores analógicos, então os RPPMs são conectados através de relés internos. O procedimento de "soft-start" é realizado através do aumento gradativo da razão cíclica do RPPM e do início de operação do algoritmo de busca da máxima potência. Quando os painéis solares estão operacionais e fornecendo energia para as baterias, o computador de bordo entra em operação e alguns testes são realizados. Neste momento, o piloto pode operar o veículo manualmente no modo de controle de torque, para acelerar o veículo, e ajustar a velocidade no modo de controle de velocidade quando a velocidade desejada foi alcançada. Quando o freio é acionado, o sistema passa automaticamente para o modo de controle de torque, permitindo que o comando seja feito manualmente. O processo de finalização pode ser realizado pelo piloto ou automaticamente quando da ocorrência de algum sinal de falha do sistema.



**Figura 6.** Diagrama do sequenciamento do sistema de controle do acionamento

O desempenho do sistema é mostrado através da Figura 7. As respostas de torque positivo e torque negativo estão apresentadas na Figura 7(a) e 7(b), respectivamente, para um comando de  $\pm 15$  Nm, onde, durante o transiente de torque a máquina foi mantida com velocidade constante de 650 RPM. A resposta da malha de velocidade, com o modo de controle

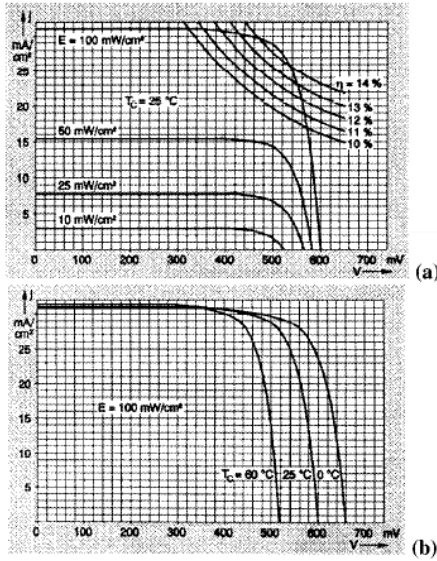
ativado, é apresentada na Figura 7(c), mostrando o torque e velocidade instantânea para um degrau de referência de 250 RPM. A tensão e a corrente da máquina em regime permanente podem ser observadas na Figura 7(d). Posteriormente, o sistema de acionamento foi intensivamente testado no veículo solar.



**Figura 7.** Desempenho do sistema de acionamento, (a) Comando de torque positivo (+15 Nm), velocidade constante (650 RPM); (b) Comando de torque negativo (-15 Nm), velocidade constante (650 RPM); (c) Comando de velocidade constante (+ 250 RPM) e resposta do torque da máquina; (d) Tensão e corrente na máquina em regime permanente

### III. SISTEMA DE CONTROLE DOS PAINÉIS SOLARES

Por ser a fonte de toda a potência elétrica, o projeto e a construção dos painéis solares do veículo necessitou de extremos cuidados, devido à fragilidade e alto custo das células. Uma descrição detalhada da construção dos painéis solares está fora do escopo deste trabalho que tem como foco a descrição dos aspectos de controle. Cada painel fornece uma potência que é dependente do nível de insolação ao qual está submetido, devido à curvatura do veículo e de sua temperatura. A Figura 8 apresenta as características elétricas de uma célula de 15% usada na parte frontal do veículo, as células da parte de trás são similares, porém com eficiência de 16,5% [9].



**Figura 8.** Características elétricas das células solares  
(a)  $V \times I$  dependente da intensidade solar;  
(b)  $V \times I$  dependente da temperatura.

A corrente produzida pela célula solar é proporcional à intensidade solar normal à superfície da célula, onde as características de tensão/temperatura são simetricamente iguais às curvas do diodo. Está representado abaixo o modelo analítico de um painel solar [10] :

$$J = k1 \cdot \lambda - k2 \cdot e^{\alpha V - \beta T - \gamma} \quad (1)$$

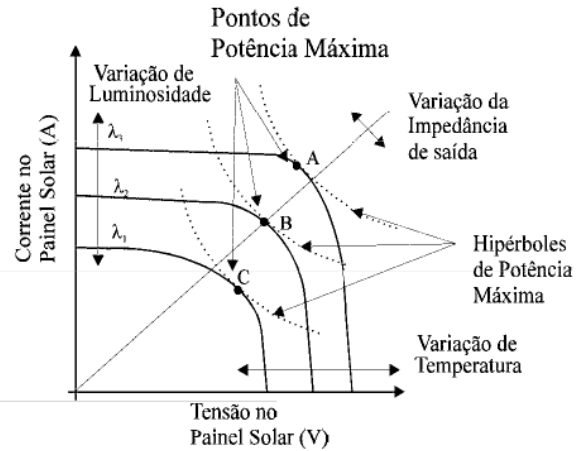
$$v = \frac{1}{\alpha} \left[ \ln \left( \lambda \frac{k_1}{k_2} - \frac{i_p}{k_2 s} \right) + \beta T + \gamma \right] \quad (2)$$

$$v_p = \sum_{j=1}^{N_{cel}} v_j - N_{cel} \cdot R_s \cdot i_p \quad (3)$$

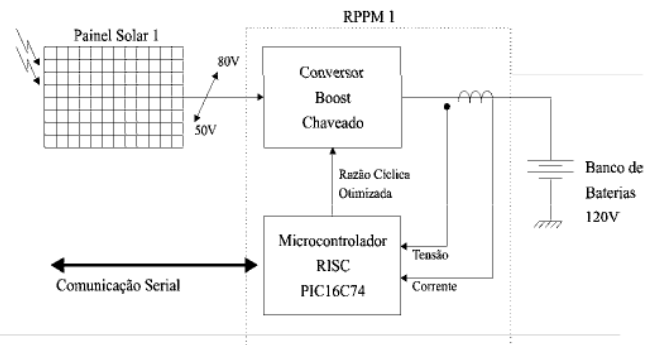
onde,  $J$  é a densidade corrente ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ ),  $v$  é a tensão de uma única célula (V),  $v_p$  é a tensão do painel solar (V),  $i_p$  é a corrente do painel solar (A),  $\lambda$  é a intensidade solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $s$  é a área da célula ( $\text{mm}^2$ ) e  $T$  é a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Os parâmetros  $k1$  (adimensional),  $k2$  ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ ),  $\alpha$  (coeficiente de tensão  $\text{V}^{-1}$ ),  $\beta$  (coeficiente de temperatura  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) e  $\gamma$

(adimensional) são ajustados através das curvas fornecidas pelos fabricantes, através de um algoritmo de regressão multi-linear [11], onde os parâmetros são calculados para minimizar o erro quadrático,  $N_{cel}$  é o número de células ligadas em série, que formam o painel solar, e  $R_s$  é a resistência de contato entre as células.

A máxima potência fornecida pela célula ocorre na intersecção da curva tensão-corrente com a hipérbole que tangencia a correspondente curva de potência [12]. A Figura 9 mostra esta intersecção. Observa-se que o ponto de potência máxima altera-se com a variação da intensidade solar e da temperatura. Portanto, é necessário utilizar um conversor que seja capaz de localizar e operar na região de tensão que maximiza a potência de saída do painel solar. Assim, um circuito rastreador do ponto de potência máxima pode ser implementado utilizando um conversor regulador chaveado do tipo elevador, como indicado na Figura 10. Cada painel solar possui um regulador que é acionado por um microcontrolador RISC PIC16C74 que gera um sinal modulado em largura de pulso (PWM) com frequência de 15kHz. O microcontrolador calcula a potência instantânea e procura passo a passo o valor da razão cíclica que maximiza a transferência de potência do painel solar para sistema de acionamento e baterias.



**Figura 9.** Método de procura para maximizar a potência no painel solar através de razão cíclica programável.



**Figura 10.** Circuito de potência do RPPM  
O fluxograma do algoritmo é mostrado na Figura 11. O algoritmo é basicamente uma rotina em tempo real que lê a

tensão e a corrente no barramento da bateria, calcula a média das últimas dez leituras de potência, calcula a variação de potência  $\Delta P_o$ , compara com a última variação de potência e decide se o pulso da razão cíclica deve ser incrementado ou decrementado. Quando a variação de potência for zero, a razão cíclica permanece em seu valor ótimo, pois a máxima potência foi alcançada. O microcontrolador realiza uma comunicação serial com o computador de bordo fornecendo o valor de tensão e corrente na potência máxima fornecida pelo painel.

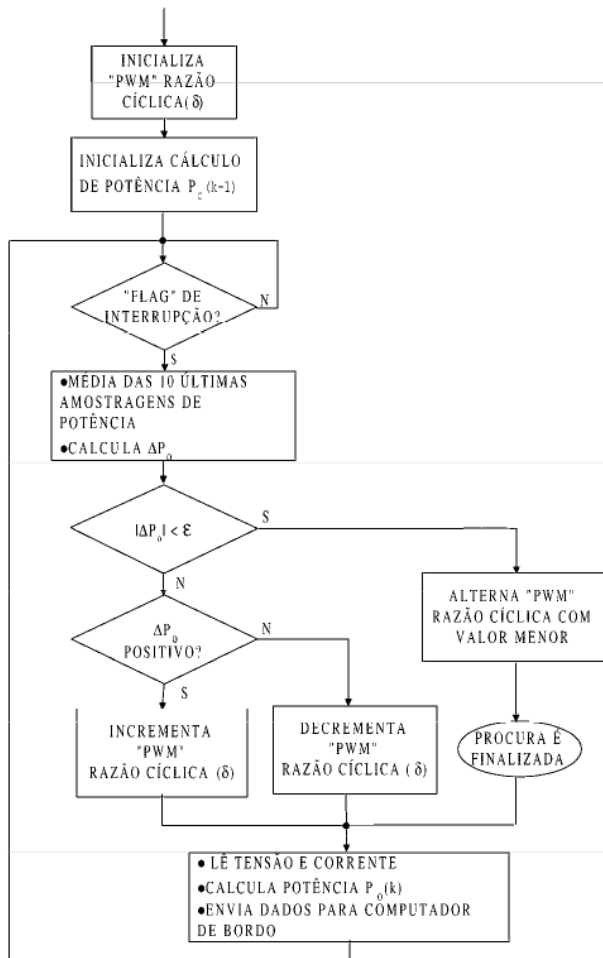


Figura 11. Diagrama de blocos do fluxograma

A Figura 12 mostra a forma de onda do chaveamento do transistor do regulador elevador, a corrente do painel solar e a corrente da bateria, para dois níveis de intensidade solar. Em ambos os casos o torque da máquina foi mantido constante. Portanto, qualquer acréscimo do nível de intensidade resulta num acréscimo de corrente fluindo para a bateria. Como pode ser observado no chaveamento do transistor, o PWM se estabelece com um novo valor de razão cíclica, devido ao nível da intensidade solar ter aumentado. A bateria filtra as altas frequências das oscilações de corrente. A eficiência do RPPM foi medida, atingindo sempre um valor superior a 96%.

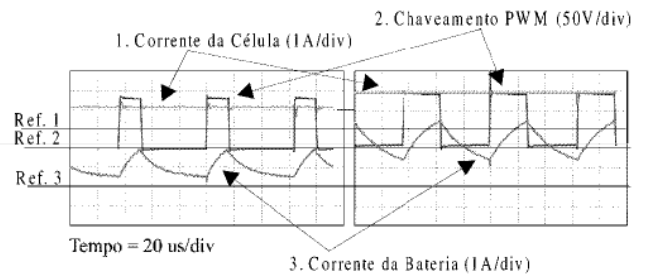


Figura 12. Chaveamento do transistor (PWM), corrente do painel solar e corrente na bateria. (a) Resultados para intensidade solar de 55 mW/cm<sup>2</sup>; (b) Resultados para intensidade solar de 90 mW/cm<sup>2</sup>

#### IV. MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO ENERGÉTICO

O principal objetivo no projeto de um veículo movido a energia solar é a obtenção da máxima eficiência com o mínimo de peso [13]. A eficiência é a combinação da integração dos componentes do sistema com o trajeto, levando em consideração a superfície e seus gradientes, a previsão das condições meteorológicas e a estratégia de corrida. Para uma certa quantidade de energia coletada, existe uma velocidade máxima constante ótima. Existem ainda forças que se opõem ao movimento do veículo, como resistência de rolamento e força de arrasto aerodinâmico e gravidade, quando em pistas com acive. Para uma determinada quantidade de energia armazenada nas baterias e para uma certa quantidade de energia estimada a ser coletada em um certo período de tempo, o veículo deve ser pilotado de forma a manter a velocidade o mais próxima possível da velocidade média ótima. A monitoração das variáveis envolvidas no cálculo da velocidade ótima é realizada através de um computador de bordo cujo diagrama de blocos é apresentado na Figura 13.

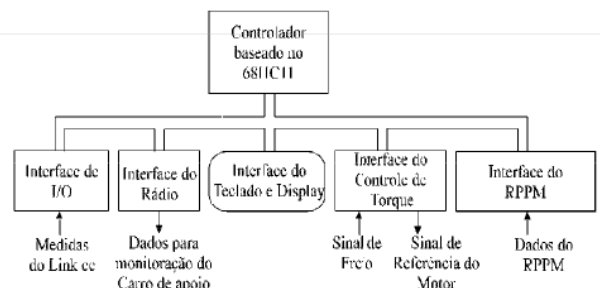


Figura 13. Diagrama de blocos do computador de bordo

As medidas de potência em cada painel solar, velocidade do veículo, torque na máquina "brushless" e corrente de bateria são monitoradas por um software de gerenciamento energético, que determina qual a velocidade ideal, a ser imposta à malha de controle de velocidade, dependendo da estratégia de corrida. Em uma competição como a World Solar Challenge, onde a corrida inicia-se às 8:00 hs, e paralisada às 17:00 hs, a estratégia de corrida, ou seja velocidade máxima imposta ao veículo, depende fortemente

das previsões meteorológicas. A estratégia é baseada em cálculos realizados por um computador portátil no carro auxiliar, que estima quanta carga existe na bateria, através da integração da corrente da bateria amostrada e da estimação da potência coletada pelos painéis solares. Um algoritmo foi desenvolvido baseado na proposta de modelo de esfera celestial [14] e implementado no computador portátil, que ao receber informações do computador de bordo, estima a quantidade de potência que cada painel irá fornecer. O modelo foi ajustado através de experimentação de tentativa e erro, com a ajuda de uma célula solar de referência, que mede a intensidade solar instantânea, como pode ser observado através da Figura 14, onde foram realizadas duas medições com condições meteorológicas diferentes durante a trajetória da corrida na Austrália.

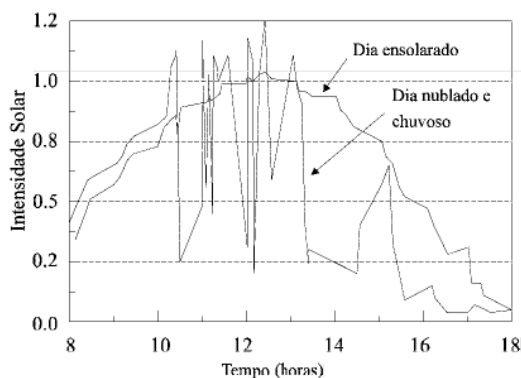


Figura 14. Gráficos referentes à luminosidade em duas rotas

O cálculo da velocidade média ótima é válido para períodos de condições de tempo estáveis, e devem ser avaliados através da experiência dos membros da equipe. Para um dado período de tempo o seguinte procedimento deve ser adotado para calcular a quantidade de energia estimada: obter as coordenadas da posição geográfica, medir a incidência solar com uma célula de referência, calcular a potência em cada painel solar, fazer uma projeção do total de energia a ser coletada na rota, estimar a energia armazenada na bateria, através de um enfoque de otimização calcular a velocidade média para a rota, mantendo tal referência durante o percurso.

## V. CONCLUSÕES

Este artigo descreveu um avançado sistema de controle e acionamento para um veículo movido a energia solar. O sistema foi totalmente implementado na universidade de São Paulo. Todo o projeto e desenvolvimento foi realizado por estudantes de graduação e pós-graduação para participar de uma corrida de veículos solares. A natureza deste projeto foi dar motivação para outras investigações em sistemas de energia solar e tecnologia de veículos elétricos. O sistema de acionamento opera com excelente desempenho. Circuitos rastreiam o ponto de máxima potência dos painéis solares, extraindo a máxima potência possível dos oito painéis que cobrem toda a superfície do veículo. Eles foram implementados utilizando um microcontrolador RISC. A energia é utilizada para acionar uma máquina “brushless” cc

em quatro quadrantes, sendo o excedente de energia armazenado em baterias. O controle de funcionamento inclui uma seqüência de inicialização e finalização, realimentação com malha de velocidade ou torque, sistema de monitoração, comunicação para gerenciamento energético e cálculo da velocidade média ótima dependente da estratégia de corrida. Estudos continuam sendo realizados para melhorar o desempenho do acionamento.

## AGRADECIMENTOS

Este projeto só foi possível graças ao auxílio de várias pessoas e instituições. Os nossos mais sinceros agradecimentos para o espírito acadêmico dos estudantes pertencentes ao grupo, que por dois anos se dedicaram ao projeto: Rogério K. Makita, Carlos A. B. Gonçalves, Daniel M. M. S. Santos, Marcelo M. Sampaio, Felipe Canhoto e Andrei F. Monteiro. À enorme ajuda dos Eng. Alan Tavares de Souza e Eduardo Bomeisel, os quais trabalharam preciosas horas em atividades de enorme importância. Ao apoio dado pela FAPESP # 96/1485-0, ao Processo CNPq # 300.227/96-5 e ao suporte interno da Universidade de São Paulo, tornando possível o desenvolvimento, importação e construção de todo material necessário. Agradecimentos especiais à Citizen, que possibilitou o transporte do veículo e equipe à Austrália.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S.W.H.Haan, “Power Electronics for Renewable Energy Systems: State of the Art, Trends and Challenges”, *PEMC Invited Paper*, vol. 3, pp. 31-38, Budapest, 1996.
- [2] D.M.Roche, “Speed of Light - The 1996 World Solar Challenge”, *Photovoltaics Special Research Centre*, Sydney, Austrália, 1997.
- [3] M.G.Simões, N.N.Franceschetti, J.C.Adamowski, “A Photovoltaic Based Electric Vehicle Drive System”, *30<sup>th</sup> Int. Symp. on Automotive Technology and Automation - ISATA*, pp. 307-314, Florência, Itália, 1997.
- [4] B.K.Bose, P.M.Szczesny, R.L.Steigerwald, “Microcomputer control of a residential photovoltaic power conditioning system”, *IEEE Trans. Ind. Elec.*, vol. 21, pp. 852-859, 1984.
- [5] C.R.Sullivan, M.J.Powers, “A High Efficiency Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays in a Solar-Powered Race Vehicle”, *IEEE Power Elect. Spec. Conference*, pp. 574-580, 1993.
- [6] Z.Salameh, D.Taylor, “Step-up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays”. *Solar Energy*, vol. 44 (1), pp. 57-61, 1990.
- [7] M.W.Migliaro, “Considerations for Selecting and Sizing Batteries”. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 23 (1), 1987.

- [8] W.H.Sakmann, "A Brushless dc motor controlled by a microprocessor with examples for a three-phase motor", *IEEE Trans. on Ind. Elec.*, vol. 34, no. 3, pp. 339-345, 1987.
- [9] ASE, GmbH (196). Solar cells datasheet, *Angewandte Solarenergie*.
- [10] N.N.Franceschetti, L.O.M.dosReis, M.G.Simões "Modelagem e Simulação da Transferência de Potência de um Sistema Fotovoltaico", *Cong. Bras. de Eletrônica de Potência - COBEP*, pp 275-280 - Dez. 1997.
- [11] J.O.Rawlings, "Applied Regression Analysis". *Wadsworth & Brooks/Cole*, Belmont, CA, 1988.
- [12] Raushenback, "Solar cell array design Handbook," vol. I, II, *Jet Propulsion Laboratory*, 1996.
- [13] D.J.Patterson, "Electrical System Design for a Solar Powered Vehicle", *IEEE Power Elect. Spec. Conference*, pp. 618-622, 1990.
- [14] R.Walraven, "Calculating the Position of the Sun", *Solar Energy*, vol. 20, pp. 393-397, 1978.

transdutores de ultra-som, aplicações de ensaios não destrutivos por ultra-som, ultra-som de potência, processamento digital de sinais, etc. Atua também na área de máquinas e equipamentos computadorizados.

**Marcelo Godoy Simões**, nasceu na cidade de São Paulo – São Paulo, em 03 de Fevereiro de 1963. Formou-se em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo –SP, em 1985. Obteve o título de Mestre em engenharia elétrica pela mesma Universidade em 1990, o título de Ph.D. na "The University of Tennessee," nos Estados Unidos, em 1995, e recebeu o grau de Livre-Docente na Escola Politécnica da USP em 1998. Desde 1989 é professor da Escola Politécnica da USP, ministrando disciplinas em nível de graduação nas áreas de eletrônica, controle de motores, microprocessadores, além de laboratórios de automação/controle e de eletrônica; em pós-graduação tem ministrado cursos de acionamento de alto desempenho com controle vetorial, modelagem de sistemas inteligentes e de controle industrial. É membro da SOBRAEP, SBA e *Senior-Member* do IEEE.

#### DADOS BIOGRÁFICOS

**Nilson Noris Franceschetti**, nasceu em Centenário do Sul – Paraná, em 03 de Agosto de 1962. Formou-se em Tecnologia Elétrica pela Universidade Mackenzie de São Paulo-SP, em 1989. Obteve o título de Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, em 1998. Atuou em projetos de pesquisa e desenvolvimento pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico do Engenharia (FDTE), em São Paulo - SP. Atualmente é Pesquisador e Doutorando do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP e Professor Adjunto da Universidade Paulista. Sua área de interesse compreende aplicações de energia alternativa, microprocessadores, sistemas digitais, e sistema de acionamento e controle inteligente para motores elétricos. É membro da SOBRAEP, e do IEEE.

**Julio Cezar Adamowski**., nasceu em Ivaiporã – Paraná, em 18 de Dezembro de 1954. Formou-se Engenheiro de Mecânica Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, no ano de 1980. Obteve o título de Mestre em Engenharia pela Faculdade de Engenharia da Universidade de Tóquio, Japão, em 1985, e o título de Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica da USP, em 1993. Foi engenheiro de desenvolvimento da FUNBEC (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências), em São Paulo, da ENGEMAQ S.A., em Caxias do Sul - RS, e da DIXTAL Tecnologia Ltda., em São Paulo. É docente da Escola Politécnica da USP (EPUSP) desde 1988, quando foi introduzida a opção de Automação e Sistemas no curso de Engenharia Mecânica, ocupando atualmente o cargo de Professor Titular, em regime de dedicação integral. Coordena as atividades do laboratório de ultra-som da EPUSP onde mantém pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de novos