

Protótipo de Sistema Especialista para diagnóstico de falha de motores J85 em banco de provas

David R. G. Ribeiro¹, Camila Caximiro², Luiz A. N. Neto³, Maurício Aleixo⁴ e Antônio J. N. Santos⁵

¹Parque de Material Aeronáutico de São Paulo (PAMA-SP); ^{2,3,4,5} Universidade Anhembi Morumbi (AUM)

Resumo — O Protótipo de Sistema Especialista (SE) proposto consiste em uma ferramenta computacional capaz de diagnosticar falhas em motores aeronáuticos J85, de forma a contribuir na segurança, qualidade e objetividade da manutenção. O Sistema traz mais confiabilidade nas práticas de *troubleshooting*, que pode ser entendido como um conjunto de ações prováveis de resolver um problema já previsto pelo fabricante. No manual do fabricante, as indicações nos capítulos dedicados ao *troubleshooting*, por vezes não são suficientes para diagnosticar o problema, sendo assim, o Sistema Especialista une as indicações do Manual e as experiências bem-sucedidas de diagnósticos assertivos que foram registrados nos relatórios de teste das práticas de 2009 a 2020. Selecionamos 203 relatórios de procedimentos bem-sucedidos com diagnósticos assertivos que, armazenados no sistema, contribuirão principalmente na otimização do tempo e consumo de combustível, pois todos os relatórios foram registrados por profissionais capacitados com ampla experiência acumulada. Este sistema atuará exclusivamente no banco de provas da Força Aérea Brasileira (FAB), e especialmente nos motores *General Electric J85-21C*, e foi utilizado o “C Language Integrated Production System” sistema desenvolvido pela Nasa, que conclui em um sistema computacional de inteligência com três fases: Fase de Questionário, Fase de Inferência e Fase de *Troubleshooting*.

I. INTRODUÇÃO

A manutenção de um motor aeronáutico compreende um extenso e complexo conjunto de atividades orientadas por normas e procedimentos, e é executada por profissionais devidamente capacitados, assegurando dessa forma a qualidade e a segurança dos serviços realizados. Para corroborar o objetivo de obter a máxima eficiência e segurança operacional, os motores aeronáuticos são ainda testados ao final de cada revisão ou reparo, verificando dessa maneira seu real desempenho sobre cada quesito do roteiro de teste, sendo cada um igualmente importante na liberação do motor para voo. Dentro desse contexto, a Força Aérea Brasileira (FAB) realiza a manutenção de seus propulsores J85 (que equipam as aeronaves F5 Tiger), culminando com o teste de aceitação em banco de provas, no qual a performance e os requisitos funcionais do motor são checados. Por vezes, ações de manutenção são requeridas durante o ensaio, conduzindo o teste para os ditos procedimentos de *troubleshooting*, nos quais tentativas de manutenção *in loco* são lançadas com o intuito de resolver um problema manifesto no motor.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de Sistema Especialista (SE) [1] dedicado ao *troubleshooting* dos motores *General Electric J85-21C* (Figuras 1a e 1b) operados na FAB, com o objetivo de orientar o diagnóstico de falha no motor, atuando como ferramenta de decisões assertivas neste contexto da manutenção. A justificativa deste sistema baseia-se nos impactos negativos que a prática atual de “tentativa e erro” apresenta (maior consumo de combustível e maior tempo de ensaio) e nos resultados positivos de desenvolvimentos similares, como apresentados em [2] e [3] no contexto da aviação.

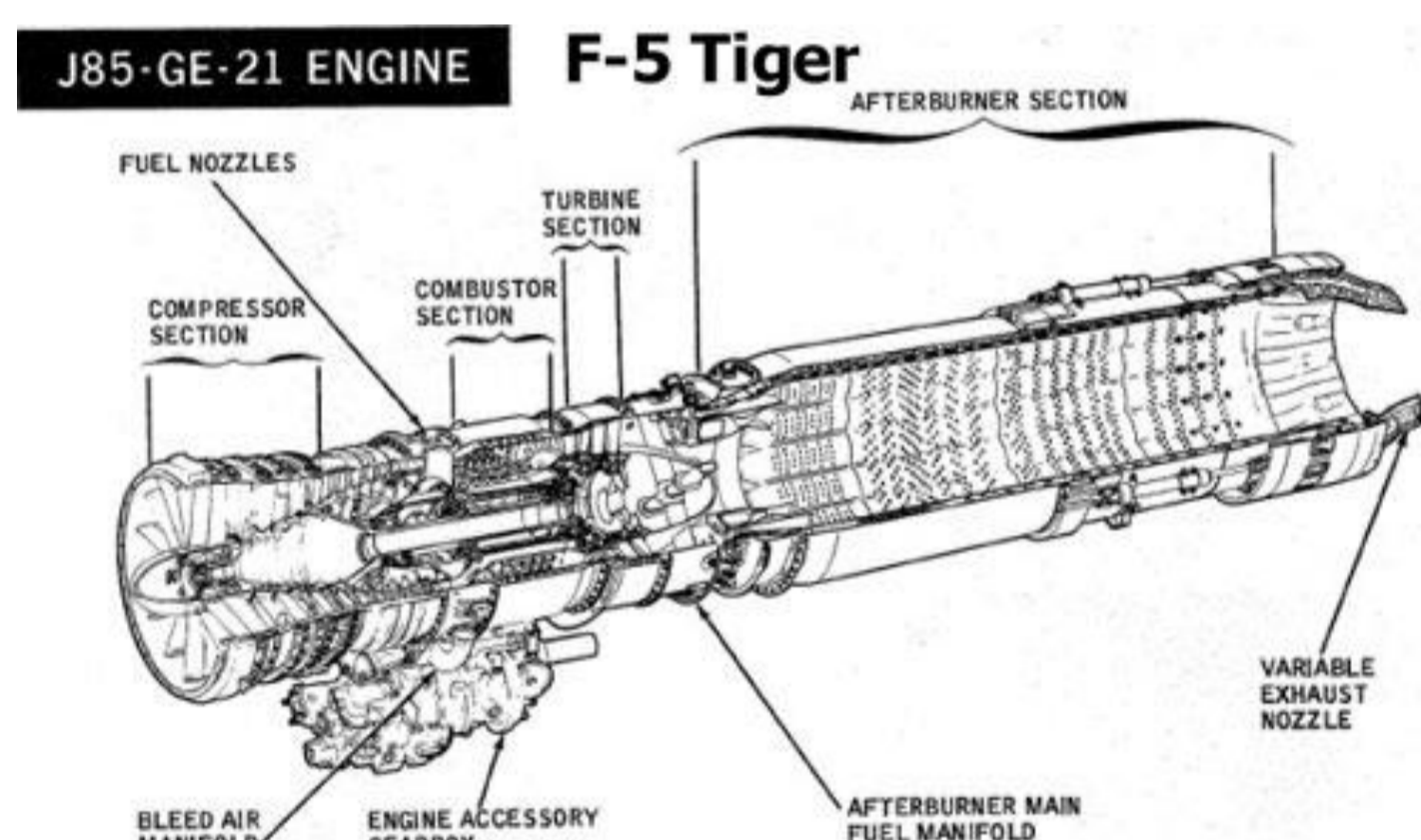


Figura 1a – Motor J85-21C por seções e maiores acessórios.

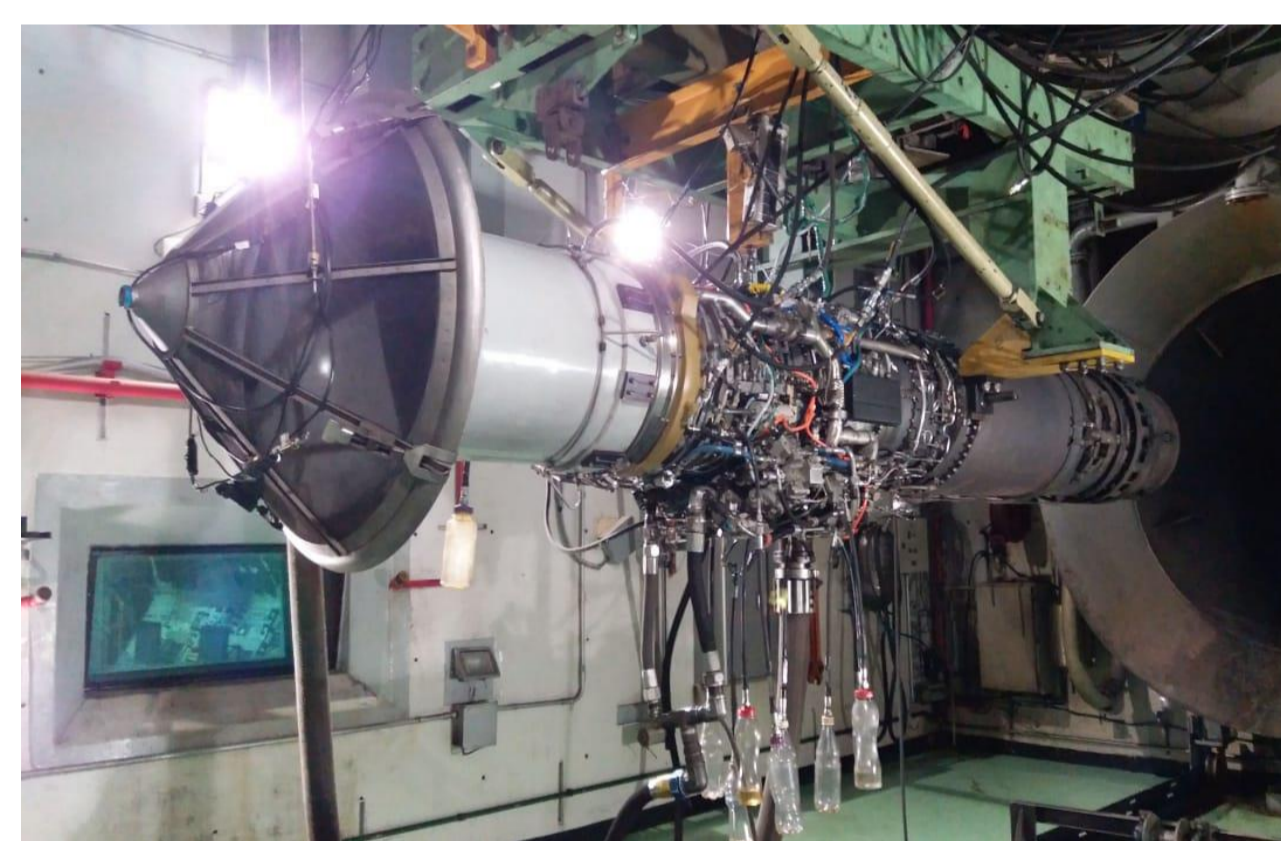


Figura 1b – Motor J85-21C configurado para teste no banco de provas da FAB.

II. METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento do presente protótipo de SE baseia-se no emprego de um *shell*, ou seja, uma ferramenta de desenvolvimento em que o desenvolvedor programa apenas a Base de Conhecimento do sistema, deixando os mecanismos de raciocínio (Motor de Inferência) por conta da arquitetura do *shell* (Figura 2). Para este desenvolvimento, foi escolhido o CLIPS versão 6.3, de 32 bits para ambiente Windows (Figura 3). O CLIPS, acrônimo para “C Language Integrated Production System”, é um *shell* desenvolvido pelo Johnson Space Center (NASA) entre os anos de 1985 e 1996, tornando-se no último ano de domínio público, como explicado em [4]. A programação do CLIPS baseia-se na inserção de regras (elementos da Base de Conhecimento) e fatos (inseridos pelo usuário ou ativados pelas regras) que, ao serem manipuladas pelo Motor de Inferência, resultam na emulação do processo cognitivo de especialistas reais (heurística).

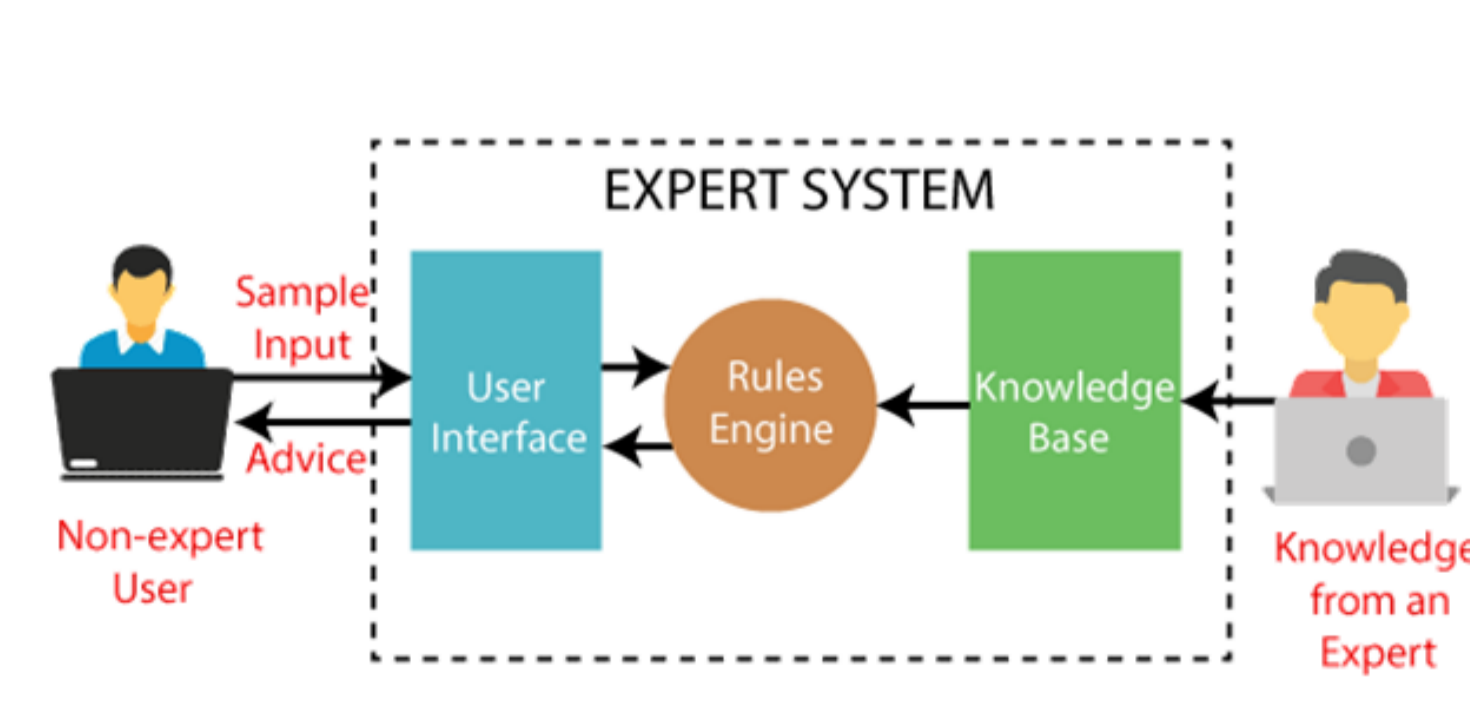


Figura 2 – Arquitetura do SE.

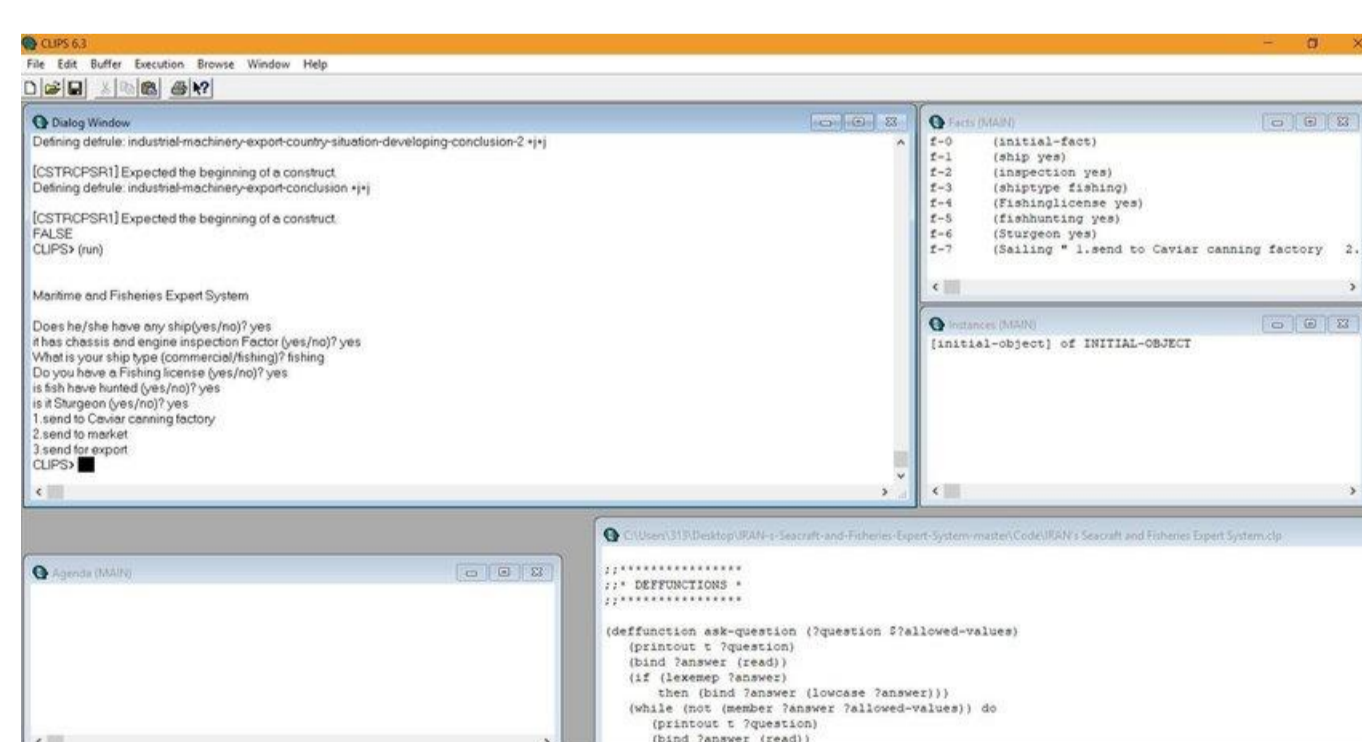


Figura 3 – Ambiente de desenvolvimento do CLIPS 6.3.

A Base de Conhecimento (BC) foi desenvolvida com base nas experiências anteriores de *troubleshooting* praticadas entre os anos de 2009 e 2020 (Figura 4), registradas nos relatórios de teste de motor, totalizando 203 procedimentos bem-sucedidos realizados sobre motores aprovados no banco de provas. Os procedimentos válidos, ou seja, aqueles que apresentaram diagnósticos assertivos e relação de causalidade com os sintomas apresentados, foram listados e catalogados formando cinco grandes conjuntos de regras: Ignição e Partida (I&P), Óleo e Combustível (O&C), Rotação e Sistema de T5 (R&ST5), Temperatura e Performance (T&P) e Som e Vibração (S&VB). No total foram adquiridas 188 regras formando uma BC extensa sobre o J85. Cada conjunto de regras visa cobrir um diferente sistema do motor, que juntos impactarão no diagnóstico tanto de falhas funcionais (ligadas ao desempenho direto de acessórios) quanto aquelas ligadas à eficiência do motor (comportamento aerodinâmico).

As regras, base da representação do conhecimento especializado do SE, foram desenvolvidas previamente no JEdit 5.6.0 (editor de texto escolhido, Figura 5) e consistem em estruturas do tipo SE e ENTÃO (Regras de Produção [5]), que geram as relações de causa e efeito entre as premissas e as consequências das regras. O conjunto das regras formam a cadeia de inferência, base da abordagem heurística. Para a implementação computacional do sistema, sua programação não estruturada foi codificada em fases de operação, compreendendo: Fase de Inicialização (declaração de variáveis e carregamento de bibliotecas de funções), Fase de Questionário (coleta de sintomas e ações executadas), Fase de Inferência (ativação de regras e resolução de conflitos) e Fase de *Troubleshooting* (apontamento dos diagnósticos inferidos).

Figura 4 – Base de Conhecimento representada.

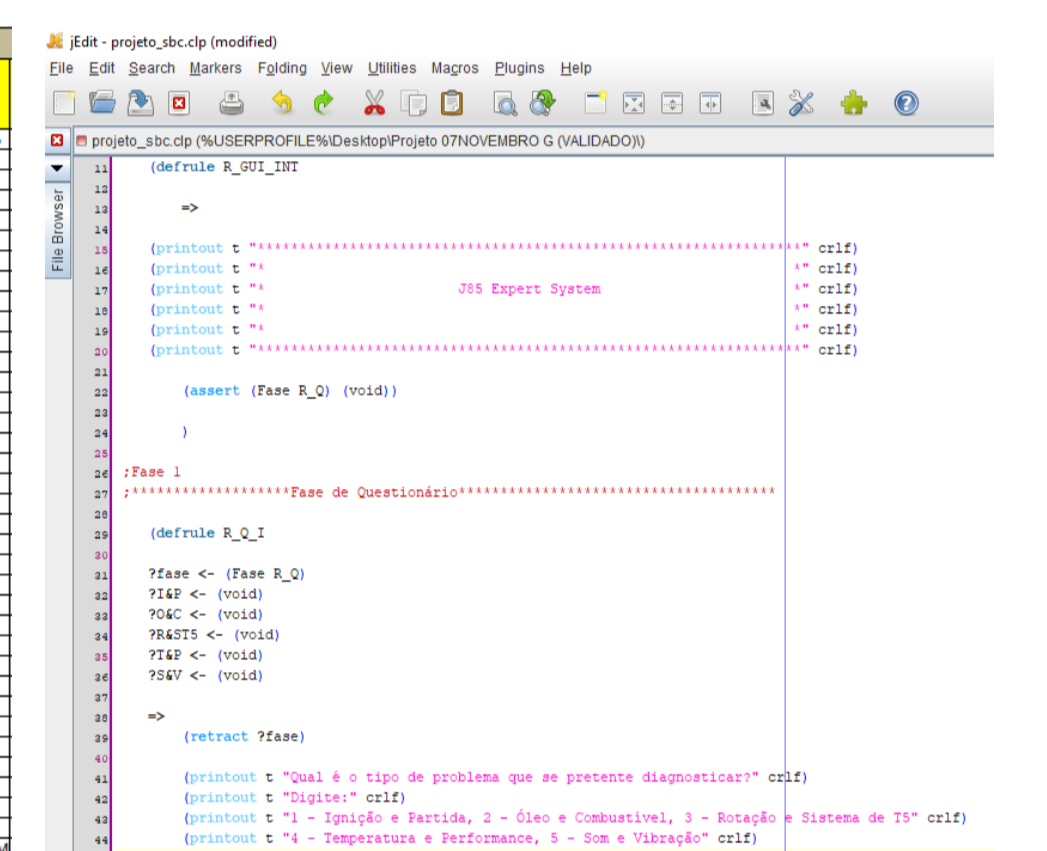


Figura 5 – JEdit.

III. VALIDAÇÃO E RESULTADOS

A validação do protótipo desenvolvido (Figura 6) ocorreu praticando-se o *troubleshooting* das ocorrências reais observadas no presente ano (2021), com a revisão das saídas do programa realizadas por especialista reais em motores J85 (com em média 9 anos de experiência) e pelos Engenheiros do Conhecimento responsáveis pela aquisição, representação e programação do conhecimento. Nos testes realizados, a capacidade de inferência do protótipo se mostrou consistente e apto a encontrar respostas semanticamente válidas em relação aos dados de entrada. No tocante à precisão, foi possível observar que quanto maior for o conjunto de fatos de entrada, menor será o conjunto de fatos de saída que sugerem o diagnóstico, esses últimos ainda ordenados por relevância ao problema investigado.

O processo de validação pode ser realizado empregando-se duas janelas do ambiente CLIPS (Agenda e Fatos), Figura 7, através das quais é possível observar, em tempo de execução, o carregamento das regras e a resolução de seus conflitos possibilitando assim avaliar o aspecto semântico das respostas geradas.

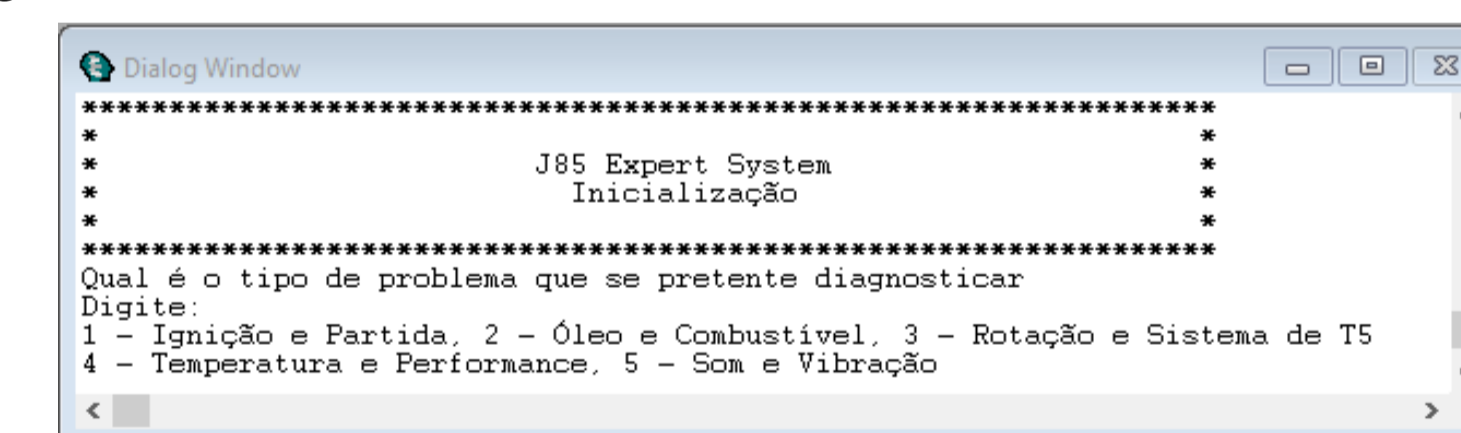


Figura 6 – Interface gráfica do SE.

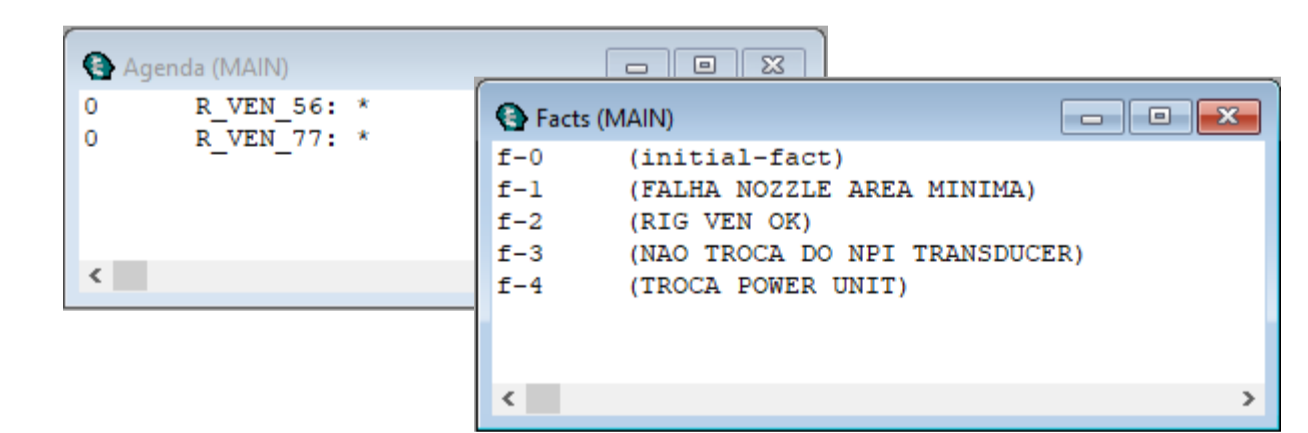


Figura 7 – Janela de Agenda e Fatos do CLIPS.

IV. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A proposta reflete a complexidade e importância da manutenção aeronáutica. Utilizando o “C Language Integrated Production System”, culminou em um Sistema Especialista (SE) com a finalidade de auxiliar no processo do *troubleshooting*, possibilitando diagnósticos e sugestões a fim de dar celeridade a todo o processo, reduzindo assim custos operacionais. Conclui-se que o presente sistema não só contribui no cumprimento da atividade-fim da FAB, entregando mais motores e a um alto grau de confiabilidade; valendo ainda ressaltar a importante missão de preservar o conhecimento às gerações posteriores.

Para trabalhos futuros, recomendam-se o aprimoramento e a integração do *shell* do SE para o processo de diagnóstico *on-line* com o sistema DAQ (Data Acquisition System) desenvolvido em LabVIEW [6] e a implementação do mesmo recurso no sistema DAQ do Banco de Provas de Campanha da FAB, localizado na ALA 3 da Base Aérea de Canoas – RS.

REFERÊNCIAS

- GIARRATANO, J.; RILEY, G. **Expert Systems – principles and programming**. Boston: PWS5. NEWELL, A.; SIMON, H. A. **Human Problem Solving**. New York: Prentice-Hall, 1972.
- TORELLA, G. **Expert Systems for Gas Turbine Engines Working Problems**. 34th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit. 15 de julho de 1998.
- MILOSOVSKI, G. *et al*. Improvement of Aircraft Accident Investigation Through Expert Systems. **Journal of Aircraft**, V. 46, seção 1, 22 maio 2012.
- About CLIPS. Disponível em: <http://www.clipsrules.net/AboutCLIPS.html>. Acesso em: 15 junho 2021.
- RIBEIRO, D. R. *et al*. Data Acquisition System for Turbojet Engine using LabVIEW programming and PCI Extensions for Instrumentation. *In: 33rd AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference*. 2017. p. 3323.
- RAMOS, H. K. M. *et al*. Portable test system for jet engines through FPGA technology. *In: 2018 IEEE AUTOTESTCON*. IEEE, 2018. p. 1-8.