

UFRRJ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA

TESE

**Ferramenta Computacional Inteligente Aplicada à
Otimização do Uso de Recursos Hídricos e Aumento
da Receita Líquida na Agricultura - INTELIAGRI**

Jose Airton Chaves Cavalcante Junior

2013



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL INTELIGENTE APLICADA À
OTIMIZAÇÃO DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS E AUMENTO DA
RECEITA LÍQUIDA NA AGRICULTURA - INTELIAGRI**

JOSEAIRTON CHAVES CAVALCANTE JUNIOR

Sob a Orientação do professor
Angel Ramon Sanchez Delgado

e Co-orientação dos professores
Maria Cláudia Rodriguez

e

Jose Antonio Carlos Canedo de Medeiros

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de Concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

Seropédica, RJ
Março, 2013

630.21
C376f
T

Cavalcante Junior, José Airton Chaves, 1965-

Ferramenta computacional inteligente aplicada à otimização do uso de recursos hídricos e aumento da receita líquida na agricultura - INTELIAGRI / José Airton Chaves Cavalcante Junior. – 2013.

104 f.: il.

Orientador: Angel Ramon Sanchez Delgado.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária.

Bibliografia: f. 70-76.

1. Matemática na agricultura – Teses. 2. Agricultura – Aspectos ambientais - Teses. 3. Tecnologia da informação – Teses. 4. Inteligência artificial - Teses. 5. Recursos naturais - Conservação – Teses. 6. Economia agrícola – Teses. 7. Água na agricultura – Teses. 8. Produtividade agrícola – Teses. I. Delgado, Angel Ramon Sanchez, 1956-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
EM AGROPECUÁRIA**

JOSE AIRTON CHAVES CAVALCANTE JUNIOR

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, área de concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

TESE APROVADA EM 13/03/2013

Angel Ramon Sanchez Delgado. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Cezar Augusto Miranda Guedes. Dr. UFRRJ

Carlos Andrés Vera-Tudela. Dr. UFRRJ

Cristhiane O. da Graça Amâncio. Dra. EMBRAPA Agrobiologia

Jean Luiz Simões de Araújo. Dr. EMBRAPA Agrobiologia

Dedico este trabalho à:

Minha Companheira,
Mulher Amada que sempre esteve ao meu lado.
Sem ela a vida seria muito cinza e aborrecida;
nas minhas diversas dificuldades e cansaço
ela sempre animava ajudando a continuar.
Meu presente dado por Deus.
Para você “Doce Polly – Lucilia – PureBlood”.

Minha mãe que apesar da sua pouca instrução,
superou os seus limites para me construir,
sempre me apoiando, mesmo sem entender muito
o que estava ocorrendo e que cuida de mim até hoje
com enorme zelo e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus,
que sempre esteve ao meu lado e que me carregou e carrega
em seus braços em todos os vários momentos de tormenta.

A minha amada UFRRJ,
que mesmo antes de estarmos ligados oficialmente já exercia a sua influência colocando
em meu coração o desejo de fazer parte de sua história.

Carlos Canedo, “o Carlão”, por sua mais que amizade e orientação, também
disponibilizou muito do seu tempo para que tudo pudesse dar certo.

A Coordenadora do PPGCTIA **Lucia Helena dos Anjos**
pelo seu empenho na construção do curso com muita
Competência, Dedicção, Firmeza e Carinho dentre tantas outras qualidades,
além da sua amizade, orientações e revisões diversas.

e a sua sempre sua fiel escudeira **Renata,** que tanto se esmera em nos auxiliar.

Ao meu orientador o **prof. Angel** por toda ajuda recebida nestes três anos

A todos os professores do **PPGCTIA**
que sempre se disponibilizaram a colaborar no que fosse preciso.

Aos amigos **Ana Dantas, Aldo Lopes e Lia Maria, Aurea Echevarria e Valdomiro**
pelas frases sábias, ajudas e incentivos constantes.

Aos amigos da **administração superior da UFRRJ**

A Aquilino, Joel, Eugênio, Wagner, Jose Luiz e Rizzo,
de tempos imemoriais na **COPPE**
Pelo apoio antes e durante este trabalho

Aos colegas do **DTL** que me apoiaram nesta senda,

Aos **amigos diversos** que não foram explicitados, mas que estão no coração,

A **UNRC** que me acolheu por 3 meses e

A minha orientadora professora **Claudia Rodriguez**
que fez de tudo para uma boa estadia científica

Aos **Hermanos Argentinos** que yo conocí y mi fueran e son muy importantes.

A **CAPES** que financiou e possibilitou esta experiência de 3 meses de estágio doutoral.

Gracias A La Vida

Gracias a la vida que me ha dado tanto
Me dio dos luceros que cuando los abro
Perfecto distingo lo negro del blanco
Y en el alto cielo su fondo estrellado
Y en las multitudes el hombre que yo amo

Gracias a la vida que me ha dado tanto
Me ha dado el oído que en todo su ancho
Graba noche y día grillos y canarios
Martirios, turbinas, ladridos, chubascos
Y la voz tan tierna de mi bien amado

Gracias a la vida que me ha dado tanto
Me ha dado el sonido y el abecedario
Con él, las palabras que pienso y declaro
Madre, amigo, hermano
Y luz alumbrando la ruta del alma del que
estoy amando

Gracias a la vida que me ha dado tanto
Me ha dado la marcha de mis pies cansados
Con ellos anduve ciudades y charcos
Playas y desiertos, montañas y llanos
Y la casa tuya, tu calle y tu patio

Gracias a la vida que me ha dado tanto
Me dio el corazón que agita su marco
Cuando miro el fruto del cerebro humano
Cuando miro el bueno tan lejos del malo
Cuando miro el fondo de tus ojos claros

Gracias a la vida que me ha dado tanto
Me ha dado la risa y me ha dado el llanto
Así yo distingo dicha de quebranto
Los dos materiales que forman mi canto
Y el canto de ustedes que es el mismo canto
Y el canto de todos que es mi propio canto

Gracias a la vida, gracias a la vida

Graças À Vida

Graças à vida que me deu tanto
Me deu dois olhos que quando os abro
Distingo perfeitamente o preto do branco
E no alto céu seu fundo estrelado
E nas multidões o homem que eu amo

Graças à vida que me deu tanto
Me deu o ouvido que em todo seu comprimento
Grava noite e dia grilos e canários
Martírios, turbinas, latidos, aguaceiros
E a voz tão terna de meu bem amado

Graças à vida que me deu tanto
Me deu o som e o abecedário
Com ele, as palavras que penso e declaro
Mãe, amigo, irmão
E luz iluminando a rota da alma do que
estou amando

Graças à vida que me deu tanto
Me deu a marcha de meus pés cansados
Com eles andei cidades e charcos
Praias e desertos, montanhas e planícies
E a casa sua, sua rua e seu pátio

Graças à vida que me deu tanto
Me deu o coração que agita seu marco
Quando olho o fruto do cérebro humano
Quando olho o bom tão longe do mal
Quando olho o fundo de seus olhos claros

Graças à vida que me deu tanto
Me deu o riso e me deu o pranto
Assim eu distingo fortuna de quebranto
Os dois materiais que formam meu canto
E o canto de vocês que é o mesmo canto
E o canto de todos que é meu próprio canto

Graças à vida, graças à vida

Violeta Parra

Fonte: <http://letras.mus.br/mercedes-sosa/37544/traducao.html>

Qualquer caminho é apenas um caminho e não constitui insulto algum
– para si ou para os outros –
abandoná-lo quando assim ordena o seu coração.
(...) olhe cada caminho com cuidado e atenção.
Tente-o quantas vezes quantas julgar necessárias...
Então faça a si mesmo e apenas a si mesmo uma pergunta:
possui este caminho um coração?
Em caso afirmativo o caminho é bom.
Caso contrário, esse caminho não possui importância alguma.

Carlos Castañeda,
("The teachings of Don Juan" in Tao da Física – Fritjof Capra)

RESUMO

CAVALCANTE, Jose Airton Chaves Junior. **INTELIAGRI – Ferramenta computacional inteligente aplicada à otimização do uso de recursos hídricos e aumento da receita líquida na agricultura**. 2013. 104f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária) Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Atualmente a população mundial ultrapassou a casa dos 7 bilhões de habitantes, isto implica no aumento do consumo de alimentos, que em sua maior parte vem da agricultura e que demanda enormes quantidades de água. Esta tese de doutorado desenvolvida conjuntamente na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil e na Universidad Nacional de Rio Cuarto, Córdoba, Argentina, em novo campo de pesquisa em Agromatemática, que trabalha com a aplicação de diferentes técnicas matemáticas e computacionais (otimização, equações diferenciais e estatística) na distribuição e uso adequado dos recursos naturais água e solo, dentro de um planejamento agrícola e a construção de modelos e simulação numérica de sistemas agroecológicos destinados a proteção do ambiente; tendo como característica o fato de ser intrinsecamente multidisciplinar na obtenção de suas metas. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta computacional inteligente; denominada INTELIAGRI, aplicada à otimização do uso de recursos hídricos e/ou outros insumos, como por exemplo, o nitrogênio, e aumento da receita líquida na agricultura. A construção dessa ferramenta computacional é baseada na filosofia ‘*userfriendly*’ (amiga do usuário) que amplia as possibilidades de acessibilidade a usuários com pouca experiência na utilização do computador, visando otimizar a gestão do agronegócio, através principalmente da economia de água, da minimização de custos e do aumento da produção. O INTELIAGRI utiliza dados de entrada obtidos experimentalmente em campos de pesquisa e executa um processamento matemático complexo, fazendo uso de duas técnicas de inteligência artificial; mais precisamente as redes neurais. Essas redes tem como função o aprendizado das curvas de produção da cultura e os algoritmos genéticos para obtenção do ponto de ótimo destas funções associadas as funções de custo da produção e informando com resultado a maior receita líquida que se pode obter para a cultura em função do uso da água e/ou insumos. Assim, o usuário pode escolher dentre as alternativas de produção disponíveis, a mais eficiente na utilização dos recursos produtivos e que satisfaçam aos objetivos preestabelecidos referentes ao uso da água e/ou insumos. Os resultados são informados de forma simples e clara, auxiliando o agricultor na tomada de decisões, aumentando a eficiência da produção e seus lucros. Considerando que a administração de atividades agropecuárias requer conhecimentos técnicos e financeiros, a finalidade do INTELIAGRI, como produto de inovação tecnológica, é participar nas tomadas de decisões agrícolas em nível da fazenda, onde a análise econômica e o uso racional dos recursos disponíveis (água, fertilizantes) são importantes. Foi alcançado o aumento da eficiência no uso da água, da produtividade das culturas e diminuição dos custos de produção e conseqüentemente o aumento da receita líquida.

Palavras-chave: Agromatemática. Tecnologias de informação e comunicação. Recursos hídricos. Otimização agrícola.

ABSTRACT

CAVALCANTE, Jose Airton Chaves Junior. **INTELIAGRI – intelligent computational tool applied to optimize the usage of water resources toward increasing the net income in agriculture**. 2013. 104p. Thesis (Doctor em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Currently the world population surpassed the 7 billion inhabitants; this implies the increase of food consumption, which mostly comes from agriculture and that demands huge amounts of water. This thesis developed jointly at the Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, and the Universidad Nacional de Rio Cuarto, Cordoba, Argentina, in the new research field Agromathematic, who works with the application of different mathematical and computational techniques (optimization, differential equations and statistics) in the distribution and proper use of water and soil resources, in the agricultural planning, and construction of models and numerical simulation of agroecological systems for the protection of the environment, having the characteristic of being intrinsically multidisciplinary in achieving their goals. This work aims at developing an intelligent computational tool, named INTELIAGRI applied to optimize the use of water resources and / or other inputs, such as nitrogen, and increased net income in agriculture. The construction of this computational tool is based on the philosophy 'user-friendly' which expands the possibilities for accessibility for users with little experience in computer, to optimize the management of agribusiness, mainly through water savings, minimizing costs and increasing production. The INTELIAGRI uses input data obtained experimentally in research fields and performs complex mathematical processing, making use of two artificial intelligence techniques, more precisely neural networks. These networks have as function learning curves for crop production and genetic algorithms to obtaining the optimal point of these functions, associated with the functions of production cost and reporting results with the highest net revenue that can be obtained for culture with the use of water and / or inputs. This way, the user may choose among the production alternatives available the most efficient in terms of use of productive resources and that meet predetermined the objectives related to water use and / or inputs. The results are reported in a simple and clear form, helping the farmer in decision making, increasing production efficiency and profits. Whereas the administration of agricultural activities requires technical and financial expertise, the purpose of INTELIAGRI, as a product of technological innovation, is to participate in decision-making at the farm level, where the economic analysis and the rational use of available resources (water, fertilizer) are important. It was achieved an increased efficiency in water use, crop productivity and reduced production costs and, consequently, the increase in net revenue.

Key-words: Agromathematic. Communication and information technologies. Water resources economy. Agricultural optimization.

RESUMEN AMPLIADO

CAVALCANTE, Jose Airton Chaves Junior, **Herramienta computacional inteligente aplicada para optimizar el uso de los recursos hídricos y el aumento de los ingresos netos en el sector agrícola - INTELIAGRI**. 2013. 104p. Tesis (Doctorado en Ciencia, Tecnología e Innovación en Agropecuaria). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

1. Introducción

La agricultura es fundamental no sólo para generar ingresos para los agricultores y el fortalecimiento de impacto positivo nacional agroindustrial en la balanza comercial del país, sino también para el mantenimiento de nuestra propia vida en el planeta.

No se discute la importancia de la agricultura para el hombre, pero su actividad genera efectos secundarios indeseables que causan muchos problemas de carácter social y medioambiental. Por consiguiente, nuestra primera inquietud provenía de la conciencia de los límites del planeta y sus recursos naturales, especialmente el agua. Nuestro estudio se inició con la observación del comportamiento de la población mundial, ya que ha aumentado de manera exponencial en las últimas décadas, y el tráiler de este crecimiento de la población, la necesidad de producir más alimentos, lo que también aumenta la demanda de recursos naturales, especialmente el agua, y dada su esencial para sostener la vida en el planeta, nos mandaron a dos preguntas: (1) ¿Cuáles son los límites a la expansión de la producción agrícola? y (2) Vamos a tener suficiente agua para el riego de nuevas tierras de cultivo cada vez más demandado?

Los agricultores, en su mayoría, a pesar de la gran conocimiento empírico que poseen, que a menudo se ha mejorado a través de generaciones dedicadas al cultivo de la tierra, la falta de conocimientos técnicos que les permitan medir matemáticamente más avanzada consumo necesario y sin perder agua para el desarrollo de una cultura específica o múltiples culturas diversas. Con base en este hallazgo, otra pregunta ha motivado este estudio: ¿Cómo obtener este valor numérico de la cantidad óptima de agua para ser utilizado en la producción de una cultura? ¿Cómo desarrollar un modelo computacional que permite encontrar el valor óptimo de la función de producción en la agricultura de regadío? ¿Cómo conseguir que este modelo accesibles a los agricultores que no tienen conocimientos técnicos más avanzados?

En la práctica lo que queremos saber la cantidad de agua a utilizar, los recursos naturales cada vez más escasos y cada vez más alto costo en la agricultura de regadío, la prevención de los residuos y aumentar la producción. Por lo tanto, hemos desarrollado un modelo computacional que encuentra el valor óptimo de la función de producción y se puede utilizar de una manera accesible al agricultor, sin necesidad de conocimientos de este maestro cálculos de funciones de optimización que pueden ser bastante complejos, lo que permite también que pueda utilizar enfrenta el sistema a condición de que la respuesta a que conozca la práctica.

Esta preocupación motivó a desarrollar INTELIAGRI una herramienta computacional inteligente que puede ser utilizado por personas de diferentes niveles de enseñanza en la optimización del uso del agua utilizada para el riego en la agricultura, también se puede trabajar en la optimización conjunta de otros insumos agrícolas, como nitrógeno. El software ha sido diseñado con la filosofía de "*User Friendly*" (Amiga del usuario), para minimizar los requisitos de conocimientos técnicos sobre el sistema.

El uso de esta herramienta le ayudará a aumentar los ingresos netos de los agricultores, ya que el sistema calcula la cantidad necesaria de agua y / o agua y los insumos, que

proporciona el máximo ingreso neto, por lo que si el agricultor a utilizar la cantidad recomendada será reducir los residuos utilizar el hecho de que en la dosis correcta, pagar menos por el agua, y reducir al mínimo los efectos negativos para el medio ambiente y los costos de mantenimiento de los sistemas de riego, la energía (eléctrica o de combustibles fósiles) y el trabajo mediante la reducción del ciclo de trabajo de los sistemas y mediante el aumento de los costos de producción de bombeo sin aumentar sus ingresos aumentarán.

El INTELIAGRI hace uso de técnicas de inteligencia artificial, que en la práctica hace que el modelado matemático de aprender de forma automática cómo describir el comportamiento de la función de producción de una o varias culturas, haciendo uso de ecuaciones científicos o empíricos y computacional capaz de encontrar el valor numérico correspondiente a estas funciones óptimas en relación con la optimización de las entradas (agua, o agua y nitrógeno), junto con la gran curva de costos de producción.

2. Material y Métodos

El INTELIAGRI consta de un programa principal y cinco subprogramas total de 2.775 líneas distribuidas en 49 páginas de código de computadora escrito en el lenguaje de programación de MATLAB.

En experimentos prácticos reportados en artículos científicos, tesis y artículos publicados, se obtuvieron datos empíricos para la entrada en el sistema INTELIAGRI, es decir, datos científicos validados en revistas científicas por parte de sus compañeros, lo que no era necesario hacer nuestros propios experimentos in situ, para probar la INTELIAGRI herramienta.

Hemos tenido acceso a los datos de los cultivos de trigo, el algodón y la sandía trabajado utilizando sólo los datos de la variable de agua y cultivos de lechuga y melón usando agua de datos variables y nitrógeno, y como hemos dicho, debido al hecho de que tenemos datos de estos experimentos demostraron científica y metodológicamente por los agrónomos, ahorramos un montón de tiempo para hacer estos experimentos para encontrar datos equivalentes.

Después de que los datos se incluyen en el módulo de entrada INTELIAGRI través de Matlab, ejecutar la herramienta, obteniendo las pantallas que se muestran en detalle en el próximo tópico resultados y discusión.

Para el desarrollo de los equipos de trabajo utilizados como un ordenador portátil con 3 GB de RAM y disco duro de 640 Gbytes, con doble núcleo de procesador Intel U2300 de 1,2 GHz de frecuencia de reloj que corre bajo el sistema operativo Windows 7 con Service Pack 1, la Matlab versión 7.12.0.635 - R2011 versión para estudiantes de 32 bits, con la optimización de las cajas de herramientas, optimización global (algoritmos genéticos), las redes neuronales, ajuste de curvas, entre otros, que desempeña un papel clave en este trabajo.

3. Resultados y Discusión

En este tema se presentan los resultados obtenidos por INTELIAGRI se enfrentarán a otros dos métodos, el método de barrera logarítmicas - MBL, optimizando el uso de dos entradas - agua y nitrógeno en los cultivos de lechuga y melón, debido al hecho de las palabras de datos de estos dos métodos para estos cultivos, pero pueden trabajar con cualquier cultura INTELIAGRI a muchas variables, no sólo de agua y nitrógeno.

3.1 - Optimización de la producción de lechuga en dos dimensiones

A partir de los datos empíricos obtenidos por Marques Silva et al. (2008) y utilizado por Ventura, Sánchez Delgado y Carvalho (2009) en su trabajo con el método de barrera logarítmica (MBL), que sirven como datos de entrada para el INTELIAGRI.

El INTELIAGRI, como se indicó anteriormente, es un modelo basado en redes neuronales artificiales (RNA) y algoritmos genéticos (GA), en el módulo RNA los datos utilizados servido para ver si la red en sí misma podría trazar la función de producción de lechuga sobre la base de las entradas de agua y nitrógeno, y obtenidos resultados similares a los del modelo empírico y también la MBL, demostrando así la eficiencia y la validación del método.

Los valores encontrados por INTELIAGRI y los valores obtenidos con el método de MBL y los datos empíricos se muestran en la tabla a continuación. En la última línea de la tabla 1 tenemos la comparación entre INTELIAGRI y los otros dos modelos, en términos porcentuales, de agua y nitrógeno, respectivamente. Tenga en cuenta que los valores están cerca en los tres modelos, manteniendo al mismo tiempo un resultado equivalente, como se esperaba.

Tabla 1 - Comparación de métodos - producción de lechuga

	INTELIAGRI	MBL	Empírico
Água (mm.ha ⁻¹)	199,55	204,99	205,26
Nitrógeno (Kg.ha ⁻¹)	234,96	249,99	257,14
Agua y Nitrógeno	-	2,72 % e 6,40 %	2,86 % e 9,44 %

4.2 - Optimización de la producción de melón en dos dimensiones

Al igual que en el caso de la lechuga se describe en la sección anterior, vamos a analizar los resultados obtenidos con la aplicación de INTELIAGRI esta vez en la producción de melón. También utilizamos datos obtenidos empíricamente por Marques Silva et al. (2008) y utilizado por Ventura, Sánchez Delgado y Carvalho (2009) con el método de barrera logarítmica (MBL).

Lo INTELIAGRI utiliza datos de la función de producción de melón sobre la base de las entradas de agua y nitrógeno, y obtiene los mismos resultados que los modelos empíricos y MBL, lo que demuestra la eficacia y la validación INTELIAGRI.

Tabla 2 - Comparación de métodos - producción de melón

	INTELIAGRI	MBL	Empírico
Água (mm.ha ⁻¹)	630.11929	612,3	609,2
Nitrógeno (Kg.ha ⁻¹)	234.97114	224,3	186,2
Agua y Nitrógeno	-	2,83% e 4,54%	3,31% e 20%

Tabla 2 hace una comparación entre los valores obtenidos usando el INTELIAGRI con el método y MBL con los datos empíricos para el melón. En la última línea de la tabla tenemos la comparación entre INTELIAGRI y los otros dos modelos, en términos porcentuales, de agua y nitrógeno, respectivamente. De la misma forma los valores están cerca de los tres modelos, manteniendo al mismo tiempo un resultado equivalente.

Con estos resultados, se demuestra que el modelo funciona correctamente INTELIAGRI ceder valores de respuesta en el misma orden de magnitud que los dos modelos utilizados tradicionalmente. Por otra parte, el uso de INTELIAGRI tiene ventajas adicionales en comparación con los modelos mencionados. Entre ellos INTELIAGRI llega al resultado en un corto espacio de tiempo, alrededor de 3 minutos con el equipo que es fácil de encontrar en

el mercado, lo que facilita el acceso al usuario. El INTELIAGRI puede trabajar con las funciones de producción que no tienen forma simplemente paraboloide y puede trabajar con las funciones que tienen discontinuidades sin tener que sobrecargar el tiempo, además de trabajar con un número de variables n-dimensionales sin aumentar su complejidad.

En este sentido, el INTELIAGRI cumple con los objetivos, con una herramienta computacional que se puede utilizar de forma inteligente para optimizar el uso de los recursos hídricos y el aumento de los ingresos netos en diversas culturas como probado, comparado y validado.

4. Conclusiones

El propósito de INTELIAGRI, como producto de la innovación tecnológica es parte de hacer que el análisis económico de la agricultura y el uso racional de los recursos disponibles (agua e insumos) son relevantes decisión.

Suponiendo que la administración de las actividades agrícolas requiere experiencia técnica y financiera, no se distribuye por igual entre los pequeños, medianos y grandes agricultores, el acceso a un sistema operativo fácil de usar, favorecer la inclusión en el ámbito digital asociada con la optimización de los recursos .

Así, en las situaciones en que la toma de decisiones está relacionada con la asignación de recursos limitados, INTELIAGRI favorece la toma de decisiones y la racionalidad de los agricultores, ya que proporciona métodos eficientes que ayudan a optimizar los recursos y la producción. Esperamos de esta manera para aumentar la eficiencia del uso del agua, la productividad del cultivo se selecciona para una siembra particular, y la disminución de los costes de producción, maximizando de ese modo los beneficios de las inversiones en la agricultura de riego.

Mediante la comparación de los resultados obtenidos por INTELIAGRI con los resultados obtenidos por Marques Silva et al. (2008) - empírica y VENTURA, DELGADO SANCHEZ & CARVALHO (2009), utilizando el método de barrera logarítmica - MBL, encontraron que tenían los resultados en el mismo orden de magnitud. Esto se esperaba, asegurándose de que no hay viabilidad y la fiabilidad para los cuales lugar la herramienta desarrollada en la producción.

Una ventaja adicional de INTELIAGRI es que puede ser fácilmente ampliado para incluir otros tipos de cultivos, incluso si éstos implican múltiples factores observaron parámetros de la función de producción puede ser utilizado con funciones complejo posibilidad de que las técnicas tradicionales tienen también, pero los cálculos puede ser muy difícil encontrar resultados complejos cuando se trabaja n-dimensional.

La aplicación de técnicas de inteligencia artificial, tales como redes neuronales y algoritmos genéticos puede conducir a los investigadores agrícolas para utilizarlos en otros enfoques, como una alternativa y más masivo ya que sigue siendo relativamente pequeños estudios con estas técnicas en la agricultura, esta También alentó a realizar más experimentos de observación no sólo agua y nitrógeno, pero los otros factores que influyen en la cultura, la facilidad en el análisis de las múltiples dimensiones.

Palabras-clave: Agromatemática, Tecnología de la información y la comunicación, Recursos hídricos, Optimización agrícola.

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ANA – Agencia Nacional de Aguas
Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCTCI – (Câm. Deputados) - Comissão de Ciência, Tecnologia, Comunicação e Informática
CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CCT/MCT – Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
C,T&I – Ciência, tecnologia e inovação
Dieese – Departamento Intersindical de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para tratar de assuntos relativos à agricultura e alimentação).
Finep – Financiadora de Estudos e Projetos
GA – Algoritmo genético
CGEE – Centro Gestão e Estudos Estratégicos
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICT – Instituição Científica e Tecnológica
IHM – Interface Homem-Máquina
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MCR – Manual de Crédito Rural
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MDS – Ministério do Desenvolvimento Social e Combate a Fome
MEC – Ministério da Educação
MMA – Ministério do Meio Ambiente
OCDE -Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU – Organização das Nações Unidas
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
ppm – partes por milhão
Pronaf – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
RB - Receita bruta
RNA – Rede neuronal artificial
SNC – Sistema Nervoso Central
SSPA – Sistema Solo, Planta e Atmosfera
UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Unesco – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNRC – Universidad Nacional de Rio Cuarto
USP/CENA - Universidade de São Paulo – Centro de Energia Nuclear na Agricultura

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas da inteligência artificial.....	7
Figura 2 - Desenho de diferentes tipos de neurônios	10
Figura 3 - Neurônio biológico	11
Figura 4 - Modelo de Neurônio Artificial	11
Figura 5 - Funções de Ativação Típicas	12
Figura 6 - Algumas arquiteturas de RNAs	15
Figura 7 - Rede de Função de Base Radial.....	16
Figura 8 - Máximos e mínimos de uma função modal.....	19
Figura 9 - Gráfico tridimensional de uma função a duas variáveis.....	19
Figura 10 - Roleta probabilística	22
Figura 11 - Esquema de funcionamento de um GA básico.....	23
Figura 12 - Diagrama simplificado em blocos do INTELIAGRI	25
Figura 13 - Ciclo da Água	27
Figura 14 - Quantidades de Água no Planeta	28
Figura 15 - Consumo Percentual de Água por Setor.....	29
Figura 16 - Crescimento da população mundial.....	32
Figura 17 - Relação entre conjuntos X e Y	36
Figura 18 - Gráfico de uma função contínua genérica.	37
Figura 19 - Funções de custo, receita bruta e ponto de equilíbrio.....	41
Figura 20 - Intervalo para o manejo racional	43
Figura 21 - Custos, receita bruta e receita líquida para a produção do feijoeiro.....	45
Figura 22 - Limites para um planeta sustentável.....	47
Figura 23 - Ações corretivas.....	48
Figura 24 - Treinamento de uma RNA.....	57
Figura 25 - Curva de aprendizagem da RNA	58
Figura 26 - Função de produção de alface americana	58
Figura 27 - Determinação do Ponto de Ótimo Alface Americana.	59
Figura 28 - Otimização água e nitrogênio para alface americana	60
Figura 29 - Treinamento de uma RNA – Função de Produção do Meloeiro	61
Figura 30 - Curva de aprendizagem da RNA- Função de Produção do Meloeiro	61
Figura 31 - Função de produção do meloeiro.....	62
Figura 32 - Determinação do Ponto de Ótimo do Meloeiro.....	63
Figura 33 - Otimização água e nitrogênio para o meloeiro.....	64
Figura 34 - Mapa de Risco - Café e Milho (fonte Scientific American Brasil p. 72)	82

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 – Inteligência Artificial.....	5
2.1.1 – Representação do conhecimento	6
2.1.2 – Raciocínio e aprendizado	6
2.1.3 – Áreas da inteligência artificial.....	7
2.1.4 – Redes neuronais artificiais - RNAs	8
2.1.5 – Algoritmos genéticos - GA.....	18
2.1.6 – O Matlab	24
2.2 – INTELIAGRI	25
2.3 – Questões Atuais	26
2.3.1 – A água.....	26
2.3.2 – Crescimento populacional	32
2.3.3 – A Agricultura.....	34
2.3.4 – Função matemática, função de produção de uma cultura, receita e custos	36
2.3.5 – Meio ambiente	45
2.3.6 – Ciência, tecnologia e inovação – C,T&I.....	50
3 – MATERIAL e MÉTODOS	56
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 – Otimização da Produção de Alface Americana a Duas Dimensões	57
4.2 – Otimização da Produção do Meloeiro a Duas Dimensões	61
5 – CONCLUSÕES	66
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
8 – GLOSSÁRIO.....	77
9 – ANEXOS	78

1 – INTRODUÇÃO

A agricultura é fundamental não somente para geração de renda para os produtores rurais e o fortalecimento do agronegócio nacional impactando positivamente na balança comercial do país; mas também para a manutenção da nossa própria vida no planeta.

Participar do programa de pós-graduação binacional em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, convênio firmado entre os países Brasil e Argentina através da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e da Universidad Nacional de Rio Cuarto (UNRC), na área de recursos naturais e meio ambiente, me conscientizou sobre a questão da água e sua utilização racional¹ na agricultura, incentivando-me a aprofundar meus estudos sobre o tema. Dessa forma, pude ampliar minha compreensão sobre os vários problemas decorrentes da utilização dos recursos hídricos e as diversas variáveis envolvidas neste processo.

É indiscutível a importância da agricultura para o homem, mas sua atividade gera efeitos colaterais indesejáveis que causam vários problemas de cunho ambiental e social. Dentre estes nos preocupamos em especial com os problemas associados ao crescimento da população, à crescente demanda de água para consumo e secundariamente para este trabalho, mas não menos importante à poluição dos recursos hídricos. Esses problemas, dada sua atualidade e amplificação nos últimos anos, apontam para a necessidade de uma resposta efetiva que mitigue seus impactos nocivos, e esclareça a população, e em especial, as autoridades.

Para alcançar estes objetivos, a sensibilização da população e dos governos quanto aos problemas ambientais, cada vez mais ampliados, são o primeiro passo para uma efetiva conscientização, que favoreça a proposição e implementação de políticas públicas, de âmbito local, regional, nacional e mundial, com impactos no uso da água e da energia, de forma racional e consciente, com efeitos positivos na economia em geral e na produção agrícola em particular. Acreditamos que o incentivo às pesquisas no campo da ciência, tecnologia e inovação no que tange a otimização dos recursos hídricos é portanto de suma importância.

Nesse sentido, nossa primeira inquietação adveio da conscientização sobre os limites do planeta e seus recursos naturais, em especial, da água. Nosso estudo começou com a observação do comportamento da população mundial; como ela vem aumentando exponencialmente ao longo destas últimas décadas, e a reboque deste crescimento populacional, a necessidade de se produzir mais alimentos, consequentemente aumentando também a demanda de recursos naturais; principalmente o hídrico, e dada sua essencialidade para a manutenção da vida no planeta, fomos remetidos a duas questões: (1) Quais os limites para a expansão da produção agrícola? e (2) Teremos água suficiente para irrigar os cada vez mais demandados novos campos agrícolas?

A assertiva anterior somada com estas duas questões nos conscientizam que estamos em um sistema onde tudo está ligado e que as várias variáveis que compõem este sistema, influenciam e sofrem influências das demais, e como exemplo, podemos citar o parágrafo anterior, onde o crescimento populacional implica em um aumento na produção de alimentos que impacta no aumento do consumo de água, e este no aumento da captação, alterando todo um ecossistema.

¹ O uso racional ou manejo racional é uma política que tem como objetivo a conscientização e o melhor uso da água que pode exigir mudanças culturais da população. Podemos considerar que é uma ferramenta de gestão que objetiva a redução de consumo e preservação considerando os aspectos sociais e ecológicos da região procurando maximizar a produtividade e a eficiência do uso deste importante recurso natural e minimização dos custos.

Os agricultores, em sua grande maioria, apesar do vasto conhecimento empírico que possuem, que muitas vezes são aprimorados ao longo de gerações dedicadas ao cultivo da terra, não dispõem de conhecimentos técnicos mais avançados que lhes permitam mensurar matematicamente o consumo necessário e sem desperdício de água para o desenvolvimento de uma cultura específica ou de várias culturas diversificadas. Partindo dessa constatação, mais uma questão nos motivou neste estudo: Como obter este valor numérico da quantidade ideal de água a ser utilizada na produção de uma cultura? Como desenvolver um modelo computacional que permita encontrar o valor ótimo da função de produção na agricultura irrigada? Como tornar esse modelo acessível para os agricultores que não dispõem de conhecimento técnico mais avançado?

Na prática queremos saber quanto usar de água, recurso natural cada vez mais escasso e de custo cada vez mais elevado² na agricultura irrigada, evitando desperdício e ampliando a produção. Assim, elaboramos um modelo computacional que encontra o valor ótimo da função de produção e pode ser utilizado, de forma acessível pelo agricultor, sem exigir que este domine conhecimentos de cálculos de otimização de funções que podem ser bastantes complexas, permitindo também que ele possa utilizar o sistema confrontando a resposta fornecida com o que conhece pela prática.

Essa preocupação nos motivou a desenvolver o INTELIAGRI³, uma ferramenta computacional inteligente que possa ser utilizada por pessoas de diferentes níveis de instrução na otimização do uso da água utilizada para irrigação na agricultura, podendo ser trabalhada também na otimização conjunta de outros insumos agrícolas, tais como o nitrogênio. O software foi projetado utilizando a filosofia “*User Friendly*” (Amiga do Usuário), para minimizar as exigências do conhecimento técnico sobre o sistema.

O uso dessa ferramenta auxiliará no aumento da receita líquida dos agricultores, visto que o sistema calcula a quantidade necessária de água e/ou água e insumos, que forneça a máxima receita líquida, assim se o agricultor usar a quantidade recomendada irá reduzir o desperdício pelo fato de usar o recurso na dose certa, pagando menos pela água, além de minimizar os impactos negativos para o meio ambiente⁴ e custos de manutenção dos sistemas de irrigação, energia (elétrica ou combustível fóssil) e mão de obra, pela redução do ciclo de trabalho dos sistemas de bombeamento e através do aumento da produção sem aumento dos custos sua receita será maior.

O INTELIAGRI faz uso de técnicas de inteligência artificial, que na prática faz uma modelagem matemática de forma automática aprendendo a descrever o comportamento da função de produção de uma ou diversas culturas, fazendo uso de dados científicos empíricos ou equações e conseguindo encontrar computacionalmente o valor numérico correspondente ao ótimo dessas funções em relação à otimização de insumos (água, ou água e nitrogênio), conjuntamente com o ótimo da curva de custos de produção.

Para seu desenvolvimento utilizamos dados oriundos de experimentos científicos no Brasil e através da realização de estágio doutoral de três meses na UNRC, que fica localizada na província de Córdoba, na Argentina, pudemos amadurecer ideias, aprender melhor e compreender as relações do Sistema Solo, Planta e Atmosfera – SSPA. Através do aprofundamento destes conhecimentos verificamos que era desnecessário fazer os nossos próprios experimentos em campo se utilizássemos os dados obtidos e consagrados na

² Segundo a ANA, a cobrança é um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos instituídos pela Lei nº 9433/97, que tem como objetivo estimular o uso racional da água e gerar recursos financeiros para investimentos na recuperação e preservação dos mananciais das bacias. A cobrança não é um imposto, mas um preço condominial, fixado a partir de um pacto entre os usuários de água e o Comitê de Bacia. No Brasil em 2012 foram cobrados R\$ 153.809.829,50 e arrecadados R\$ 144.956.873,70. Como base de cálculo, o custo da captação de água bruta na bacia do Paraíba do Sul é de 0,01 R\$/m³.

³ Nome fantasia de autoria do pesquisador para denominar a ferramenta objeto desse estudo.

⁴ Alterações físico-químicas do solo.

literatura; já avaliado pelos seus pares, para obter resultados similares; com isso eliminamos o ônus do tempo. Assim, o modelo computacional pode ser elaborado, testado e aprimorado com os dados disponíveis e orientações recebidas.

Segundo Bernardo (2006) 3,2 milhões de hectares são irrigados correspondendo a 5% da área cultivada e segundo Angella (2009), na Argentina esse patamar também se situa nos mesmos 5%, e como dissemos, o INTELIAGRI visa auxiliar o agricultor na utilização de forma adequada da água na irrigação, propiciando o uso nas doses certas para cada cultura, com impactos econômicos e ambientais positivos.

A umidade do solo é uma importante variável envolvida no processo do SSPA, vários dados foram obtidos em experimentos, e a partir de amostras de solo extraídas no campo de pesquisas agrícolas da UNRC, e posteriormente, levadas para análise em laboratório pertencente à própria universidade, estes dados serão aproveitados na fase de aprimoramento da ferramenta; assim como outros dados que foram obtidos e estão sendo compilados na UNRC em projetos em andamento.

Como este projeto foca o Sistema Solo, Planta e Atmosfera, que é intrinsecamente multidisciplinar, objetivamos ainda, a continuidade da pesquisa sobre a temática com o estabelecimento de parcerias acadêmicas que promovam a formação e colaboração de grupos com interesses comuns em outros países, especialmente a Argentina, onde já se estabeleceu esta parceria entre pesquisadores visando dar continuidade aos experimentos entre os mesmos.

Desejamos também ampliar a conscientização da população, e em especial do produtor agrícola, em relação a um melhor uso do nosso recurso natural mais precioso - a água. Assim, nossa pretensão é melhorar a vida dos produtores rurais propiciando um maior lucro nas suas atividades através da redução de seus custos fixos.

Outra intensão nossa está na melhoria do meio ambiente e seus impactos tanto sobre a população rural quanto sobre a sociedade urbana, pois se irrigamos com menos água iremos alterar menos as características químicas do solo através da diminuição da lixiviação de micro e macros nutrientes e alterações no equilíbrio de organismos pertencentes aquele sistema, bem como da diminuição da contaminação de lençóis freáticos pela ação dos poluentes, sejam eles defensivos agrícolas ou fertilizantes.

Futuramente, nossa pretensão é dar continuidade à pesquisa e propor novos modelos matemáticos, através do melhor conhecimento sobre o problema e cada vez mais aumentar a eficiência das irrigações e produzir um crescimento na produção com o uso racional da água.

A continuação das pesquisas nesta temática, que é intrinsecamente multidisciplinar, propicia a formação de grupos de estudo e trabalho multidisciplinares e binacionais com interesses comuns, fortalecendo assim a área; com, impactos na produção científica em eventos e revistas especializadas, de forma colaborativa com o envolvimento dos parceiros de outros países.

A nossa abordagem obrigatoriamente passa pelo trinômio Ciência, Tecnologia e Inovação em agropecuária e dada a complexidade do objeto de estudo não existe com plena utilização no mercado, uma ferramenta computacional que conjugue e resolva com sucesso o problema da quantificação de água a ser utilizada na irrigação.

Assim, no domínio do problema que nos propomos a estudar, recorreremos ao diálogo com várias áreas, dado o caráter inerentemente multidisciplinar da investigação. Da mesma forma a literatura pesquisada é muito vasta, existindo uma grande quantidade de informações apontando linhas de pesquisa em várias áreas.

Nos próximos capítulos discorreremos mais detalhadamente sobre estas questões, com base na literatura utilizada, bem como sobre a abordagem matemática/computacional realizada; versando inicialmente sobre os conceitos de inteligência natural e artificial, algumas das áreas que compõem a inteligência artificial e as técnicas artificiais que iremos

utilizar (redes neuronais e algoritmos genéticos), a suíte de desenvolvimento matemático e o sistema INTELIAGRI, bem como os problemas atuais que nos motivaram a pesquisar sobre este tema e o grau de pertinência deste trabalho ao trinômio – Ciência, Tecnologia e Inovação; seguindo com os resultados obtidos e as considerações comparativas com outros sistemas e finalizando com as nossas conclusões e considerações finais.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

Este trabalho, dado seu caráter multidisciplinar, recorre a uma literatura oriunda de várias áreas, a fim de melhor analisar as questões de estudo propostas, nesse sentido a revisão da literatura realizada visa contextualizar os problemas e questões atuais sobre a água e sua utilização no consumo humano e na produção agrícola, com ênfase no meio ambiente, no desenvolvimento sustentável e as contribuições da pesquisa em Ciência, Tecnologia e Inovação para a agropecuária.

Para compreender o INTELIAGRI, neste tópico apresentaremos os conceitos base das técnicas de inteligência artificial que são o cerne do sistema, discorrendo brevemente sobre inteligência artificial de forma geral, nos focando em dois tópicos essenciais utilizados no nosso trabalho, as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos, que são as ferramentas inteligentes que iremos utilizar, e finalizamos com a suíte matemática Matlab⁵.

2.1 – Inteligência Artificial

O homem sempre buscou uma explicação racional sobre o mundo e as razões da sua existência. No sec. V antes de Cristo, na Grécia, surge a filosofia, que nega as explicações mitológicas e busca uma verdade baseada na racionalidade humana, desde então, filósofos, cientistas e outros pensadores, tentam explorar e explicar a mente humana.

No seu desejo de imitar o criador, muitos tentaram e ainda tentam criar máquinas ou organismos inteligentes. O famoso romance de autoria de Mary Shelley, escritora britânica que em 1817 finalizou seu livro, que é mais conhecido por nós como Frankenstein (ou Modern Prometheus, no original) foi e é um sucesso até hoje; porque nos instiga a pensar na possibilidade da criação de vida inteligente sem o auxílio da natureza.

Desde pequenos utilizamos os vocábulos inteligência e inteligente, mas o que é a inteligência? e mais ainda, inteligência artificial?

“Ludwig Wittgenstein, filósofo austríaco, reconhecido como um dos pensadores mais influentes do século XX defendia que a linguagem é uma armadilha que pode nos seduzir a tentar definir o indefinível.” (LUDVIG & MONTGOMEY, 2007).

Ferreira (2004) nos ajuda na definição de inteligência como sendo: “a capacidade de aprender, apreender ou compreender; qualidade ou capacidade de compreender ou adaptar-se facilmente”. Segundo Araribóia (1988), “a Inteligência Artificial é o ramo do conhecimento que trata, entre outras coisas, do projeto e da construção de computadores e robôs inteligentes” e ainda, um computador é inteligente se possui as seguintes características: capacidade de raciocinar e de realizar inferências, de resolver problemas, de acumular e usar conhecimentos, de planejar as próprias ações e de prever o resultado delas; ou seja o aprendizado de máquinas.

“O que é Inteligência Artificial afinal? ou melhor o que é a inteligência? como medi-la? existe alguma forma de classificá-la? ou até mesmo de aumenta-la? São

⁵Matlab é um ambiente de desenvolvimento de programas matemático otimizado para o trabalho com matrizes além de contar também com várias funções e ferramentas (toolboxes) desenvolvidas para o trabalho nas mais diversas áreas que necessitem efetuar cálculos científicos.

perguntas de difíceis respostas, pois ainda não há um senso comum a respeito.” (CAVALCANTE, 1997).

Ludvig e Montgomey (2007) definem em seu livro que as principais habilidades que uma máquina inteligente deve ter são:

- Capacidade de realizar inferências e resolver problemas;
- Capacidade de planejamento;
- Capacidade de acumular e manipular conhecimento;
- Compreensão de linguagem natural;
- Capacidade de aprender com ou sem supervisão;
- Capacidade de interpretar estímulos sensoriais.

E que são três os elementos fundamentais de um sistema inteligente:

- Representação do conhecimento;
- Raciocínio e
- Aprendizagem.

2.1.1 – Representação do conhecimento

Cavalcante (1997) observa que: “Inteligência requer conhecimento; para resolver problemas desde os mais simples aos mais complexos, necessitamos de ter uma base de conhecimento que deverá estar no domínio dos problemas e de meios de manipulação e armazenamentos dos dados, para poder as restrições, heurísticas e experiência passada associada ao problema.

2.1.2 – Raciocínio e aprendizado

Segundo definição formal de Ferreira (2004), raciocínio é um:

“Processo discursivo pelo qual se passa de proposições conhecidas ou assumidas (as premissas) a outra proposição (a conclusão) à qual são atribuídos graus diversos de assentimento, ou ainda encadeamento, aparentemente lógico, de juízos ou pensamentos.”

Simplificando, o raciocínio seria sinônimo de inteligência, por ser a capacidade de se resolver os problemas, assim segundo Ludvig e Montgomey (2007), a resolução de problemas recai em um processo de busca dentro de um espaço de ações e estados possíveis, para afirmarem que o raciocínio é um processo de busca. O raciocínio e a inteligência seriam pré-requisitos da aprendizagem, pois a aprendizagem seria fruto dessa inteligência racional.

Citando Hildard (1975) por Ludvig e Montgomey (2007),

“O aprendizado refere-se a mudança do comportamento diante de uma situação dada, incorrida por experiências repetidas naquela situação, desde que essa mudança de comportamento não possa ser explicada com base em tendências de respostas inatas, maturação ou estados temporários.”

Os conceitos de raciocínio e aprendizagem são importantes para entendermos o conceito de inteligência artificial, isto é, a construção via computacional dos mecanismos

utilizados pelo cérebro humano para raciocinar e aprender e segundo Campos e Saito (2004) o processo de pensar e decidir do ser humano apresenta três características principais:

- a) Raciocínio - é o processo de inferências a partir de objetivos, fatos e conhecimentos visando obter possíveis ações. Ele está associado à previsão e ao planejamento;
- b) Decisão - é o processo que considerando as incertezas e as preferências, escolhe apenas uma ação dentre as diversas alternativas para o problema.
- c) Aprendizagem - é o processo que, a partir dos resultados alcançados por uma decisão, valoriza ou não no futuro decisões semelhantes.

Um sistema artificial inteligente modela e implementa pelo menos uma destas características.

2.1.3 – Áreas da inteligência artificial

A inteligência artificial baseia seus paradigmas normalmente na observação de vários fenômenos na natureza, assim existem muitas técnicas que se enquadram na área chamada de Inteligência Artificial, algumas das mais importantes podem ser vistas na figura 1.

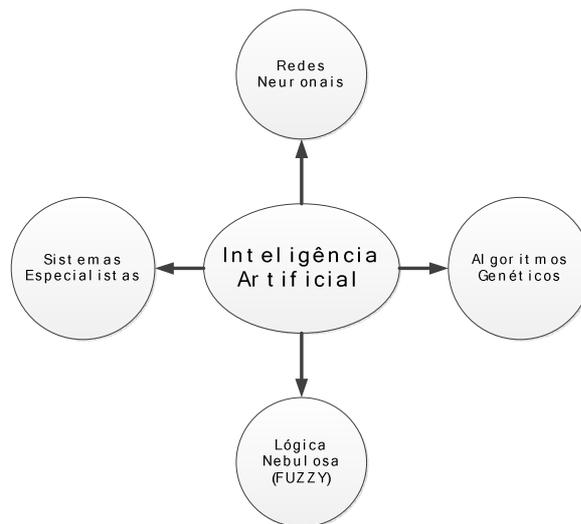


Figura 1 - Áreas da inteligência artificial.

Muitas destas técnicas podem trabalhar juntas, como por exemplo, sistemas neuro-fuzzy⁶, que envolvem as redes neurais e lógica nebulosa; particularmente neste trabalho utilizamos as redes neurais e os algoritmos genéticos.

As redes neurais artificiais foram desenvolvidas pela observação do comportamento inteligente do homem a partir da análise do cérebro e dos neurônios que o constituem e os algoritmos genéticos são sistemas de inteligência artificial desenvolvidos a partir de analogias com o processo de evolução natural das espécies observado por Darwin.

Utilizaremos as redes neurais para o aprendizado e mapeamento de pontos da curva de produção da cultura e os algoritmos genéticos para determinação do ponto ótimo das funções de produção, para uma ou mais variáveis (como água e água e nitrogênio) e receita

⁶ A lógica nebulosa é mais conhecida por *fuzzy logic*, do inglês; e quando se trabalha com mais de uma técnica como, por exemplo, redes neurais e lógica nebulosa, muitos autores nacionais utilizam o termo neuro-fuzzy ao invés de neuronal-nebuloso.

líquida conjuntamente; discorreremos com mais detalhes sobre as funções de produção e otimização de funções nos tópicos seguintes.

2.1.4 – Redes neuronais artificiais - RNAs

As redes neuronais artificiais são modelos de processamento computacional cujo princípio de funcionamento se baseia na forma com que os neurônios e suas associações com outros neurônios funcionam no cérebro humano. É uma forma de computação não algorítmica derivada de modelos matemáticos que tenta simular o funcionamento de neurônios biológicos.

“A expressão “rede neuronal” é motivada pela tentativa destes modelos imitarem a capacidade que o cérebro humano possui de reconhecer, associar e generalizar padrões. O cérebro humano possui características desejáveis em qualquer sistema artificial. Como exemplo pode-se citar a sua capacidade para lidar com informações inconsistentes e/ou probabilísticas, alta flexibilidade para se adaptar a situações aparentemente pouco definidas, tolerância a falhas, entre outras” (VELLASCO, 2007)

As redes neuronais são usadas em aplicações onde análise formal é difícil ou impossível, como reconhecimento de padrões e sistemas não lineares de identificação e controle, interpolação dentre outras, constituindo ferramenta indispensável para estudo e resolução de vários problemas complexos. Como não é baseada em regras, a computação neuronal é uma excelente alternativa à computação algorítmica convencional. Ela tem como característica intrínseca a capacidade de aprender por meio de exemplos e também de generalizar a informação aprendida.

Segundo Kóvacs (1996), as Redes Neuronais Artificiais (RNAs) tiveram sua origem no início da década de 1940, a partir do trabalho de Warren McCulloch, psicólogo e neurofisiologista, com o matemático Walter Pitts. Eles fizeram uma modelagem matemática do neurônio, para o qual tiveram que entender os aspectos biológicos de processos neurofisiológicos, cognitivos e comportamentais.

“O trabalho de McCulloch e Pitts se concentrou muito mais em descrever um modelo artificial de um neurônio e apresentar suas capacidades computacionais do que em apresentar técnicas de aprendizado.” (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2007).

A partir da publicação de seu primeiro trabalho conjunto, em 1943, “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”, McCulloch e Pitts (1943) apresentam uma discussão de redes lógicas artificiais, chamada de neurônios MCP, é nesta época que consideramos o “nascimento” do primeiro neurônio artificial.

Projetar uma RNA, que melhor resolva (ou que melhor se adéqua) ao problema é uma arte, devido ao fato dela ser fortemente dependente do conhecimento da arquitetura da RNA e da experiência usada para o treinamento da rede. Uma vez treinada, a rede é bastante robusta podendo ser colocada em produção.

Os desenvolvedores da toolbox⁷ Neuronal Network do Matlab, Beale, Hagan e Demuth (2011) destacam que são sete passos de trabalho com uma RNA:

⁷ O Matlab é uma suíte matemática que possui uma grande variedade de funções, chamadas de intrínsecas que não podem ser alteradas pelo usuário e de outras que estão disponíveis em bibliotecas externas que são compradas individualmente as quais são otimizadas para se trabalhar em uma determinada área como, por

- 1) Coleta de dados;
- 2) Criação da RNA;
- 3) Configuração da RNA;
- 4) Inicialização dos Pesos Sinápticos e Biases;
- 5) Treinamento da RNA;
- 6) Validação da RNA;
- 7) Uso da RNA.

Para entender o funcionamento de uma RNA começamos pela análise de como funciona a célula nervosa humana, para posteriormente introduzirmos os conceitos básicos das RNAs.

a) Neurônios biológicos

O homem sempre buscou conhecer com profundidade sua anatomia, mas apenas no século XIX, é o neurologista espanhol Santiago Ramón y Cajal consegue descrever em detalhes a célula nervosa, o neurônio (KÓVACS, 1996). A partir do conhecimento da célula nervosa começou a modelagem matemática dos neurônios biológicos, e ainda hoje muito se tem para aprender e descobrir sobre o cérebro.

O neurônio biológico pode ser entendido como sendo o dispositivo computacional elementar do sistema nervoso. Ele possui várias entradas e uma saída. As entradas ocorrem através do que chamamos de conexões sinápticas, que conectam os dendritos ao axônio de outros neurônios. Estes sinais são impulsos elétricos, que chamamos de potencial de ação, e são as informações que o neurônio irá processar produzindo um impulso nervoso no seu axônio e segundo Ross e Romrell (1993), a quantidade estimada de neurônios é de 10^{10} a 10^{11} no sistema nervoso humano, classificando-se em três categorias principais:

- Neurônios sensoriais – aqueles que transportam os impulsos dos receptores ao Sistema Nervoso Central (SNC).
- Neurônios Motores – responsáveis pelo transporte dos impulsos do SNC às células efetoras;
- Neurônios Centrais – formam uma grande rede intermediária situada entre os neurônios sensoriais e os motores; também conhecidos por interneurônios, cerca de 99,98% dos neurônios pertencem a esta classe.

Segundo Coppin (2012) dos mais de 10 bilhões de neurônios, cada um destes está conectado em média a milhares de outros formando uma rede de 60 trilhões destas conexões.

Os neurônios apresentam grandes diferenças em tamanho e forma, como mostrado na figura 2, e podem ser representados de forma simples, por três partes principais, representados na figura 3.

Campos e Saito ressaltam que os neurônios tem 4 características diferentes de outras células do corpo como:

- Receber sinais de outros neurônios vizinhos
- Integração desses sinais tirando uma conclusão
- Gerar e conduzir um sinal elétrico
- Transmitir este sinal para outro neurônio que possa recebê-lo.

exemplo, processamento de imagem, modelagem matemática, simulação, algoritmos genéticos, redes neuronais e lógica nebulosa entre outras.

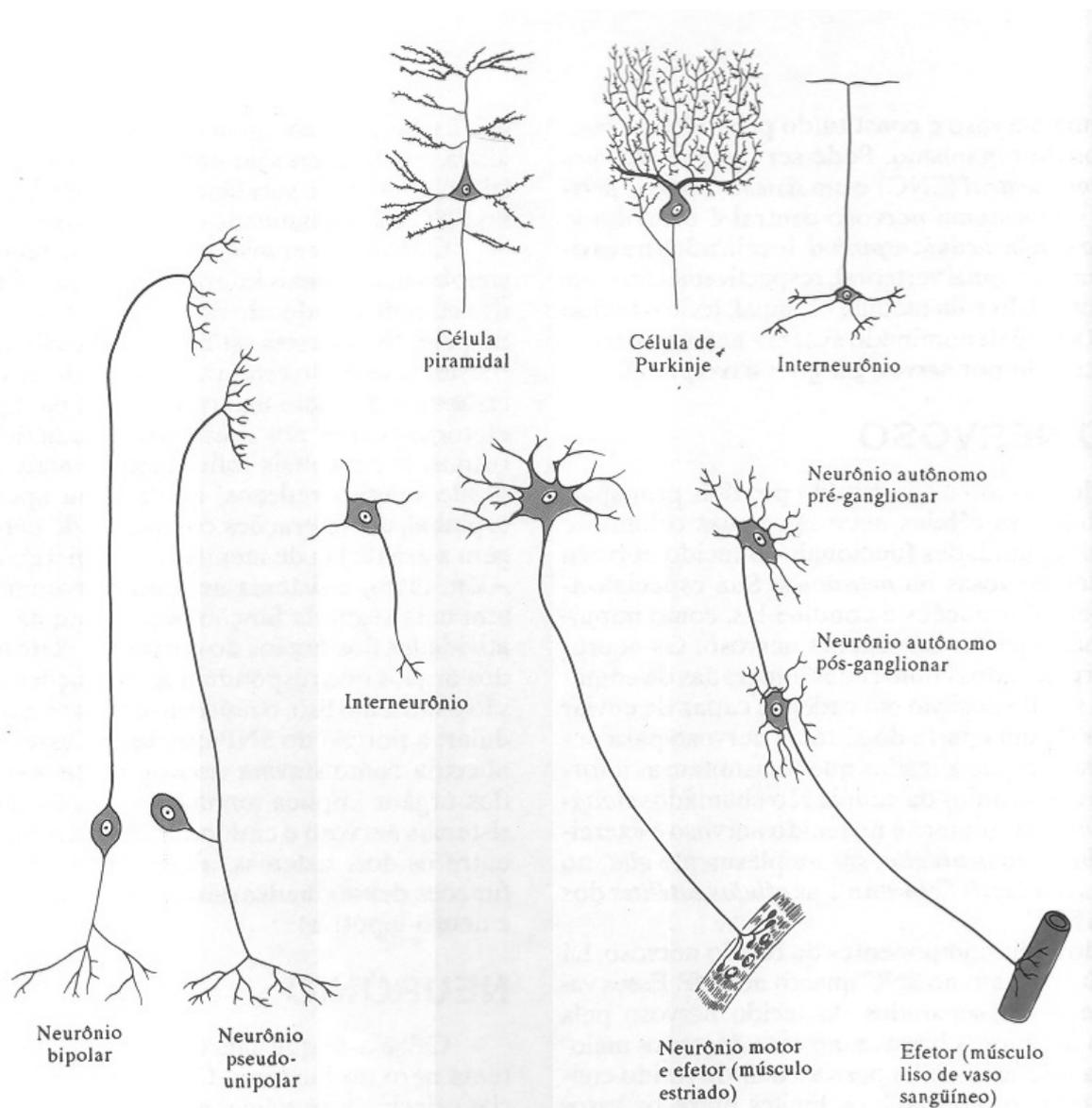


Figura 2 - Desenho de diferentes tipos de neurônios (fonte Ross e Romrell, 1993 adaptado de Junqueira e Carneiro: Basic Histology 3ª ed, Los Altos, CA, Lange, 1980)

- As 3 partes principais do neurônio, que são vistas na figura 3, são:
- Corpo Celular ou Soma – De onde partem os prolongamentos
 - Dendritos - Recebem impulsos nervosos vindo do axônio dos outros neurônios, são normalmente muito ramificados.
 - Axônio - Envia os impulsos nervosos para outros neurônios.

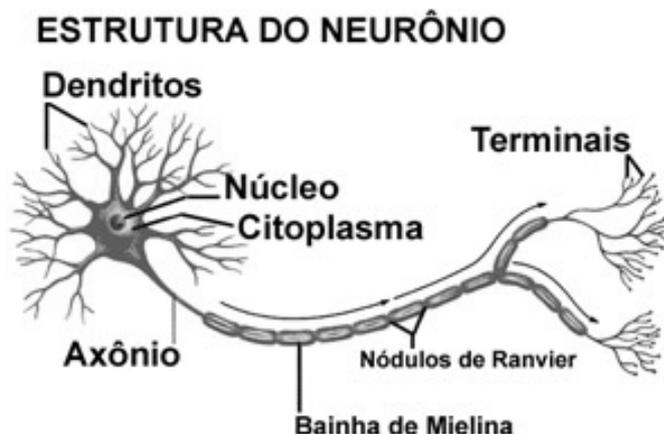


Figura 3 - Neurônio biológico (fonte BALLONE, 2008)

2.2.4.1 – Modelo de Neurônio Artificial

A figura 4 apresenta a estrutura de um neurônio artificial que procura modelar a forma de funcionamento de um neurônio biológico.

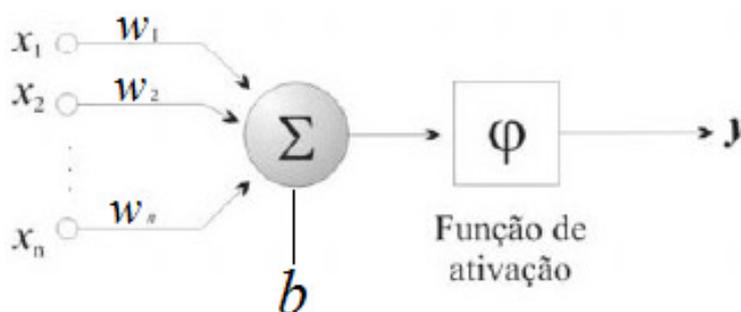


Figura 4 – Modelo de Neurônio Artificial (fonte FERNEDA, 2006 adap. Cavalcante, 2013)

A seguir, as equações que caracterizam o funcionamento do neurônio artificial:

$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (1)$$

$$y = \varphi(u) \quad (2)$$

Onde: w_i são os pesos sinápticos (ganho da entrada)⁸;
 x_i são as entradas;
 b representa um bias
 u representa o sinal de ativação
 $\varphi(u)$ é a função de ativação
 y é o valor de saída do neurônio

⁸Usualmente os pesos sinápticos são representados também pela letra w , do inglês weight, e a letra T que a segue significa a transposta da matriz.

b) Funções de ativação

Na figura 5, são mostradas as principais funções de ativação mais comumente usadas.

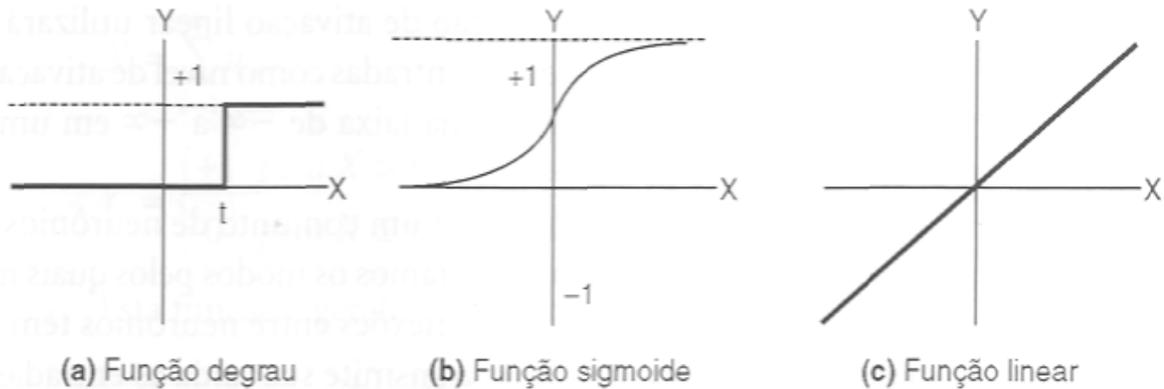


Figura 5 - Funções de Ativação Típicas (fonte Coppin 2012, p. 255)

Coppin (2012) destaca que, na figura 5 anterior, o eixo x representa o valor de entrada para o neurônio e o eixo y representa a saída ou o nível de ativação do neurônio e quando aplicar uma função ou outra depende do tipo do problema, por exemplo, a função sigmoide ou logística tem a propriedade de comprimir a entrada entre dois limites para qualquer faixa de variação do sinal de ativação em sua entrada.

c) Perceptrons

Rosenblat o propôs em 1954 e com a finalidade de ser um separador de classes, isto é, classificar as entradas em uma de duas categorias; e usa como função de ativação, a função degrau e apenas um perceptron pode ser utilizado para aprender a classificar um problema de duas saídas possíveis; ou seja, pode trabalhar apenas com funções que sejam linearmente separáveis.

A mecânica do perceptron atribui um peso aleatório inicial escolhido entre [-0,5 e 0,5] as entradas; após o qual é apresentado um item de dados de treinamento e avaliada a sua saída. Caso ela não esteja correta deveremos alterar o peso sináptico.

Para esta alteração, Rosenblatt propôs uma forma de se atualizar os pesos:

$$W_i \text{ atual} = W_i \text{ anterior} + (A \times X_i \times E) \quad (3)$$

Onde:

$W_{i \text{ atual}}$	= peso atualizado
$W_{i \text{ anterior}}$	= peso atual
A	= taxa de aprendizado, $0 < A < 1$
X_i	= entrada
E	= erro, Será zero se a saída for correta

d) Verificação analítico-matemática do funcionamento das RNAs

Normalmente ao se apresentar a teoria matemática por trás do funcionamento da RNA, a equação matemática que modela o neurônio e como ele aprende, somos impelidos a acreditar porque sabemos dos muitos sistemas que a utilizam com sucesso, mas fica faltando algo que é justamente a comprovação mecânico-analítica de como uma RNA trabalha.

Para fazer esta comprovação, nos valeremos de um exemplo utilizando apenas um neurônio e um problema real para que possamos aplicá-lo.

Suponha que queremos treinar este neurônio para que aprenda uma função booleana, que poderá ser a função AND e sabemos que ela responde pela seguinte tabela verdade:

Tabela 3 - Função Booleana 'AND'.

Entrada (A)	Entrada (B)	Saída (A 'AND' B)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Iremos usar como função de ativação a função degrau, que é similar a função vista na figura 5(a), e que é definida matematicamente como sendo:

$$D(x) = \begin{cases} 1, & x \geq t \\ 0, & x < t \end{cases} \quad (4)$$

Reescrevendo a equação (2)

$$y = D(x) \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i \right) \quad (5)$$

Suponha agora que os pesos w_i aleatórios sejam: $w_1 = -0,3$ e $w_2 = 0,3$

Para a primeira entrada, onde $A = 0$ e $B = 0$ vem:

$$Y = D((0 \times (-0,3)) + (0 \times 0,3)) = 0 \quad (6)$$

Que está de acordo com o que se espera para o primeiro caso, assim os pesos não precisam serem ajustados.

Para a segunda entrada, aonde $A = 0$ e $B = 1$ vem:

$$Y = D((0 \times (-0,3)) + (1 \times 0,3)) = 0,3 \quad (7)$$

$$Y = D(0,3) = 1$$

Que está em desacordo com a tabela verdade para o segundo caso, pois Y calculado foi igual a 1 e na tabela verdade temos que o Y é igual a zero; assim temos que ajustar os pesos.

Utilizando uma taxa de aprendizado de 0,2; para atualizar os pesos calculamos:

$$w_1 = -0,3 + (0,2 \times 0 \times 1) = -0,3 \quad (8)$$

$$w_2 = 0,3 + (0,2 \times 1 \times 1) = 0,5 \quad (9)$$

Para a terceira entrada, onde $A = 1$ e $B = 0$ vem:

$$Y = D((1 \times (-0,3)) + (0 \times 0,5)) = -0,3 \quad (10)$$

$$Y = D(-0,3) = 0 \quad (11)$$

Que está em acordo com a tabela verdade para o terceiro caso pois Y calculado foi igual a 0 e na tabela verdade temos que o Y é igual a zero; assim não temos que ajustar os pesos.

Finalmente para o último caso temos $A = 1$ e $B = 1$ vem:

$$Y = D((1 \times (-0,3)) + (1 \times 0,5)) = 0,2 \quad (12)$$

$$Y = D(0,2) = 1 \quad (13)$$

Que está em acordo com a tabela verdade para o quarto caso pois Y calculado foi igual a 1 e na tabela verdade temos que o Y é igual a 1; assim não temos que ajustar os pesos. A este procedimento chamamos de época.

Ao se fazer esta verificação analítica, podemos agora garantir que a modelagem matemática neuronal responde corretamente e ao ser implementada computacionalmente responderá da mesma forma.

e) Arquiteturas de redes

Como dissemos o perceptron trabalha apenas com problemas que são linearmente separáveis; porém no mundo real poucos são os problemas dessa categoria. Assim para problemas que não são linearmente separáveis temos que trabalhar com outro tipo de RNA; as RNAs multicamadas.

As redes neuronais artificiais são construídas a partir da interligação de um grande número de neurônio em que os neurônios podem ser organizados em uma ou mais camadas;

Em função da forma de conexão dos neurônios, as redes neuronais artificiais são classificadas em redes com alimentação para frente (feed-forward em inglês), como na figura 6 abaixo, exemplos a e b, e em redes neuronais recorrentes, como nos exemplos c e d dessa mesma figura.

Em redes neuronais com alimentação para frente, os neurônios são organizados em camadas e o sinal de entrada é propagado passando sucessivamente por todas as camadas até atingir a camada de saída produzindo um sinal de saída. As redes neuronais com alimentação para frente podem ser redes de uma camada (exemplo a) ou de múltiplas camadas (exemplo b) da figura 6.

Esta abordagem foi apenas para dar conhecimento da existência de vários tipos de RNAs, porém por não fazerem parte do escopo deste trabalho e não serão descritas com minúcias, nos deteremos mais nas redes de base radial que fazem parte do INTELIAGRI.

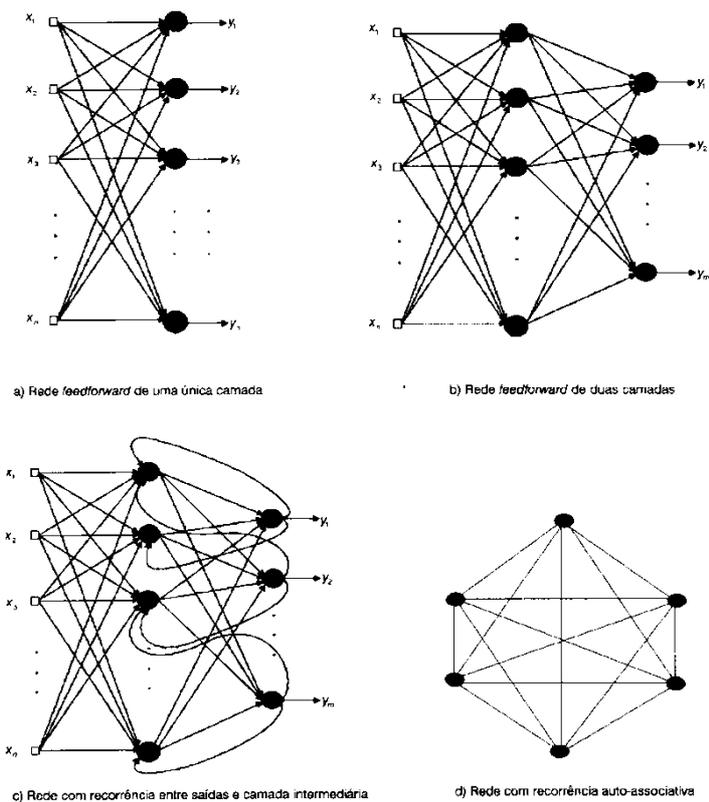


Figura 6 - Algumas arquiteturas de RNAs. (fonte BRAGA, CARVALHO, LUDEMIR, 2007)

As redes Feed-Forward são RNAs de múltiplas camadas com alimentação para a frente em que a entrada da rede é aplicada aos neurônios da primeira camada, sendo a saída da primeira camada aplicada como entrada da segunda camada e assim por diante até atingir a camada de saída. A saída da camada de saída é então a saída da rede neuronal artificial.

f) Redes neuronais de função de base radial – RNA-RBF

As Redes de Função de Base Radial (RBF) são um tipo de rede com alimentação para a frente e que possuem uma camada de neurônios com funções de ativação conhecidas como funções de base radial a partir das quais o sinal de saída é obtido por meio de uma combinação linear de suas saídas.

A figura 7 mostra a arquitetura de uma Rede de Base Radial, mostrando que elas são redes neuronais que possuem apenas três camadas e utilizam funções de base radial na camada oculta.

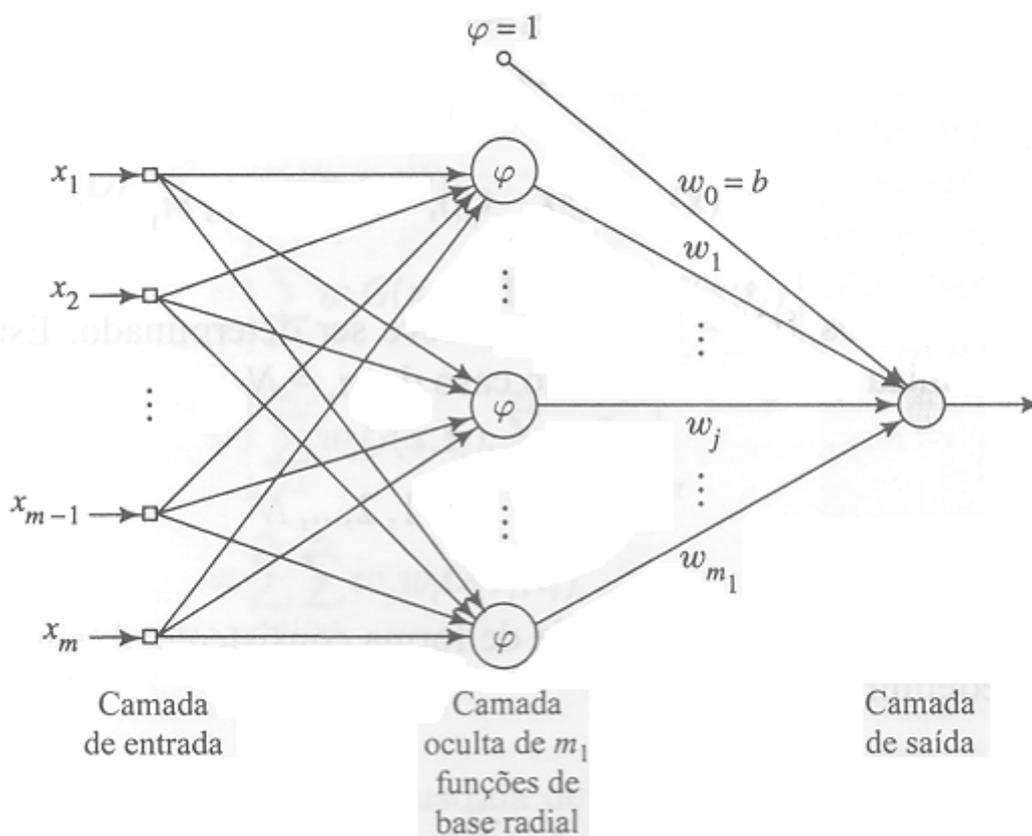


Figura 7 - Rede de Função de Base Radial (fonte HAYKIN, 2008, p. 307)

As camadas de uma RNA-RBF possuem funções distintas onde:

- A camada de entrada tem a função de receber os dados e repassá-los a todos os nós da camada oculta.
- A camada oculta é responsável por fazer uma transformação não-linear de espaço de entrada enviando-os para a camada de saída.
- E finalmente a camada de saída que é linear, é a resposta da rede ao processamento.

Segundo Haykin (2008), para uma RBF resolver um problema de ajuste de curva em um espaço de alta dimensionalidade, aprender é equivalente a encontrar uma superfície em um espaço multidimensional que forneça o melhor ajuste para os dados de treinamento, observando que esta medida é feita em um sentido estatístico. E ainda, generalização é equivalente ao uso desta superfície multidimensional para interpolar os dados de teste; e este ponto de vista é a motivação por trás do método das funções de base.

A aplicação de uma transformação linear em uma transformação não-linear é justificada matematicamente por Cover (1965 apud HAYKIN, 2008) onde ele diz que um problema de classificação de padrões ou de interpolação em um espaço de alta dimensionalidade tem maior probabilidade de ser linearmente separável do que em um espaço de baixa dimensionalidade; e segundo Haykin (2008) está aí a razão de se fazer frequentemente com que a dimensão do espaço oculto em uma rede RBF seja alto.

Mhaskar, Niyogi e Girosi (1996 apud HAYKIN, 2008) provaram que a dimensão do espaço oculto esta relacionada com a capacidade da rede de aproximar um mapeamento entrada-saída; ou seja, quanto mais alta for a dimensão do espaço oculto, mais precisa será a aproximação.

g) Funções de base radial

As funções de base radial são funções cuja resposta cresce ou decresce monotonicamente com a distância a um ponto central. Os parâmetros mais importantes a serem definidos em uma função de base radial são o centro o parâmetro que caracteriza a abertura da função de base radial.

Uma função de base radial típica é a Gaussiana. Para o caso de uma entrada escalar, a Gaussiana é dada pela expressão:

$$h(x) = \frac{\sqrt{r^2 + (x - c)^2}}{r} \quad (14)$$

Onde: c - centro e r é uma medida de abertura.

As RBFs do tipo Gaussiana são mais usadas e apresentam uma resposta significativa somente nas vizinhanças do centro.

Como característica principal desse tipo de rede destacamos que ela é uma combinação linear dos sinais da camada oculta, a atualização dos pesos sinápticos ocorre mais rapidamente e a separação das classes se dá por hiperelipsóides e não por hiperplanos.

Dado um conjunto de dados de treinamento formado por pares (x_i, d_i) onde x_i representa os pontos amostrais do espaço de entrada e d_i representa os correspondentes valores desejados para a saída da rede, as equações de interpolação de uma rede de base radial são:

$$F(x_i) = d_i, i = 1, \dots, N \quad (15)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^N w_i \phi(\|x - x_i\|) \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} \phi(\|x_1 - x_1\|) & \phi(\|x_1 - x_2\|) & \dots & \phi(\|x_1 - x_N\|) \\ \phi(\|x_2 - x_1\|) & \phi(\|x_2 - x_2\|) & \dots & \phi(\|x_2 - x_N\|) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(\|x_N - x_1\|) & \phi(\|x_N - x_2\|) & \dots & \phi(\|x_N - x_N\|) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}, \quad (17)$$

$$\text{Que pode ser reescrita em forma matricial como: } \Phi w = d \quad (18)$$

onde:

$$\Phi = \{\phi_{ji}, j, i = 1, 2, \dots, N\}$$

$$d = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_N]^T :$$

$$w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N]^T$$

- e:
- Φ - Matriz de interpolação
 - x - representa o vetor sinal de entrada na rede
 - $\phi_{ji}(.,.)$ - representa a resposta na saída de cada função de base radial
 - w - representa o vetor de pesos
 - d - é o vetor resposta desejado

Existe uma classe de funções que, dados N pontos distintos, a matriz de interpolação é positiva definida por:

$$\Phi w = d \Rightarrow w = \Phi^{-1} d \quad (19)$$

Se os N pontos dados forem distintos, a matriz de interpolação é positiva definida, a solução para o vetor de pesos é dada por:

$$\phi(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{para } \sigma > 0, \text{ e } x \geq 0 \quad (20)$$

2.1.5 – Algoritmos genéticos - GA

Outra técnica de inteligência artificial utilizada neste trabalho são os Algoritmos Genéticos - GAs, que são uma técnica de otimização baseada em busca, para achar o ponto ótimo de uma função (ponto de máximo ou de mínimo); obtendo como resultado a(s) solução(ões) do problema ou solução(ões) bem aproximada(s) (com um erro baixo ou aceitável); por ser inspirada na metáfora do processo biológico de evolução natural (genética e seleção natural) é pertencente ao conjunto de técnicas conhecidas como algoritmos evolucionários.

“Os algoritmos evolucionários são extremamente dependentes de fatores estocásticos (probabilísticos), tanto na fase de inicialização da população quanto na fase de evolução (durante a seleção dos pais principalmente). Isto faz com que os seus resultados raramente sejam perfeitamente reproduzíveis. Ademais os algoritmos evolucionários, apesar de seu nome indicar o contrário, são heurísticas que não asseguram a obtenção do melhor resultado possível em todas as suas execuções”. (LINDEN, 2008).

Segundo Linden, (2008) se tivermos algoritmos exatos deveremos fazer uso deles; porém para problemas em que estes são muito lentos (problemas NP-completos, por exemplo: Caixeiro Viajante), ou incapazes de obter solução para problemas de maximização de funções multi- modais, devemos fazer uso dos algoritmos evolucionários.

A técnica natural foi baseada na teoria proposta por Charles Darwin em seu livro: A Origem das Espécies (“*The Origin of Species*” de 1859); esta teoria diz que a evolução das populações através de diversas gerações ocorre através dos princípios de seleção natural; isto é, o mais forte (apto) sobrevive.

Métodos de busca e otimização convencionais normalmente percorrem uma árvore de busca de soluções, normalmente de forma sequencial avaliando cada possível solução.

O GA trabalha avaliando um conjunto de possíveis soluções simultaneamente (em paralelo), que chamamos de população; cada indivíduo que compõe a população é uma solução candidata e cada indivíduo tem um valor associado a ele que chamamos de *fitness* ou aptidão (um valor ou nota); que serve para medir a capacidade daquele indivíduo de resolver um determinado problema; assim ao aplicarmos os operadores genéticos na população, aqueles mais aptos sobreviverão.

Concordamos com Linden (2008) quando ele destaca que os GAs, como técnica de otimização global se opõe aos outros métodos de otimização como o métodos de gradiente (*hill climbing*), que ao avaliar a derivada da função para se encontrar o ponto de ótimo (máximo ou de mínimo) da mesma, podem ficar retidos em um ponto de ótimo local; justificamos que o motivo é que ao encontramos uma derivada igual a zero ($f'(x) = 0$) paramos a busca pois o ponto já foi encontrado, enquanto que o GA através do uso de seus operadores genéticos pode fazer a busca continuarem em um outro extremo da função fora de um ponto de ótimo local e seguindo a busca até encontrar o ponto de ótimo global.

Isto se deve ao fato dos GAs utilizarem informações locais e globais, ideal quando se trabalha com funções multimodais, como no exemplo das figuras 8 e 9; além deles não trabalharem com derivadas para obtenção dos pontos de ótimo, é uma vantagem adicional por

poderem ser utilizados em funções com descontinuidades não impedindo de eles trabalharem também com funções contínuas.

O que foi dito anteriormente pode ser visto na figura 8 abaixo; nela temos vários pontos de máximos e mínimos que são locais e apenas um que é global; um algoritmo de otimização que utiliza derivadas ou método de gradiente, no caso de funções com três dimensões, como no exemplo visto na figura 9, pode ficar “preso” em um ponto de ótimo local; nela podemos ver que temos uma espécie de “anel” de máximos locais e outro de mínimos globais.

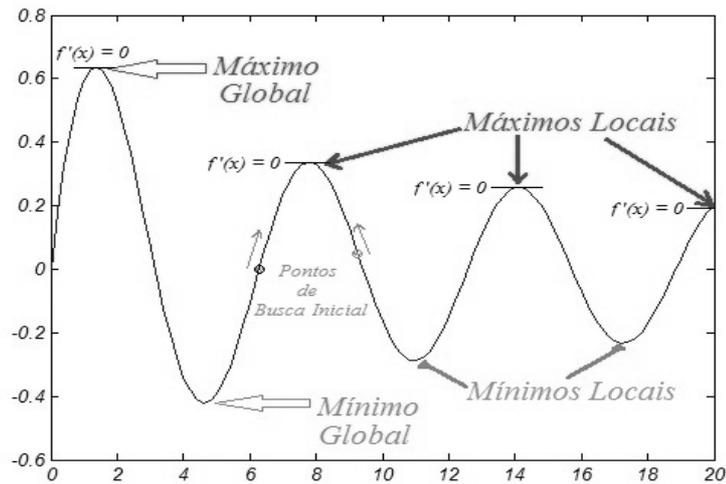


Figura 8 - Máximos e mínimos de uma função modal

Observando o gráfico tridimensional da figura 9, verificamos que as outras técnicas podem levar a resolução de equações complexas para se encontrar a solução e o grau de complexidade aumenta mais ainda quando se trata de caso n-dimensional.

Na maioria dos nossos testes trabalhamos com uma variável, a água, mas fizemos testes também com outras culturas a duas variáveis, água e nitrogênio; e verificamos que a técnica é robusta o suficiente para se trabalhar n-dimensionalmente; isto é, avaliando o impacto de outros nutrientes como, por exemplo: cobre, zinco, enxofre, etc....

Isto torna a mesma muito atraente, pois usa uma técnica computacional que diminui a complexidade da análise se perder a qualidade.

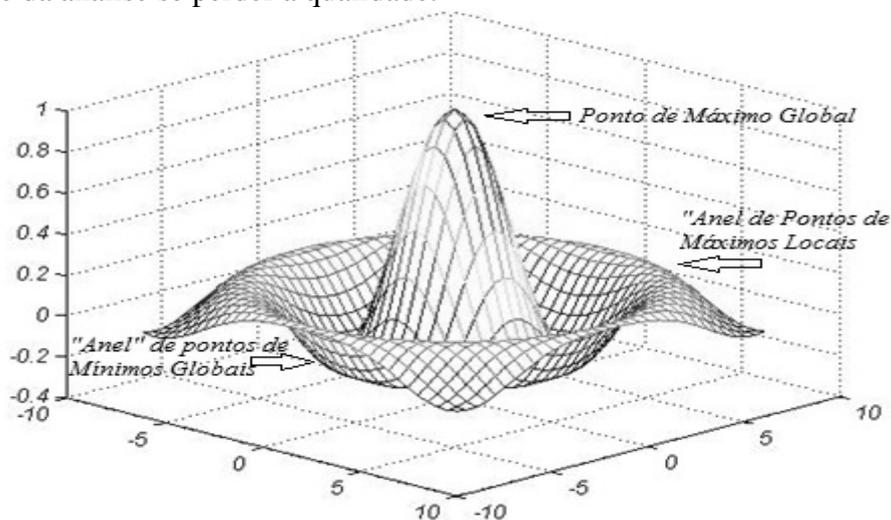


Figura 9 - Gráfico tridimensional de uma função a duas variáveis.

Os GA's trabalham fazendo uso dos operadores genéticos, que são emulações computacionais dos fenômenos genéticos naturais que serão aplicados nos indivíduos que compõem a população; particularmente a reprodução (cruzamento de pais que foram selecionados) e mutação.

Da mesma forma que nas RNAs, os algoritmos genéticos são implementados computacionalmente e no processo de simulação computacional, podemos destacar os seguintes passos:

- O espaço de soluções é todo mapeado formando uma população. Cada indivíduo desta população possui sua característica que chamamos de fenótipo;
- A geração da população inicial; que serão os nossos dados de entrada (subconjunto representativo do espaço de solução); que pode ser feito, por exemplo, por sorteio através de uma roleta probabilística;
- Devemos saber como os indivíduos foram codificados; isto é, como o cromossomo está representado; a isto chamamos de genótipo;
- A partir desta seleção aleatória de indivíduos dessa população, os mesmos são submetidos aos operadores genéticos, ou seja, processos de cruzamento, recombinação e mutação gerando novos indivíduos. A isto chamamos de geração;
- A cada geração, os indivíduos são avaliados e selecionados os mais aptos desta nova população;
- Este processo se repete e continua até que seja obtida uma solução que satisfaça o problema.

Segundo Goldberg (1989), os algoritmos genéticos diferem dos algoritmos tradicionais de otimização em basicamente quatro aspectos:

- Baseiam-se em uma codificação do conjunto das soluções possíveis, e não nos parâmetros da otimização em si;
- Os resultados são apresentados como uma população de soluções e não como uma solução única;
- Não necessitam de nenhum conhecimento derivado do problema, apenas de uma forma de avaliação do resultado;
- Usam transições probabilísticas e não regras determinísticas.

Algoritmos Genéticos são técnicas probabilísticas e não determinísticas fazendo com que possamos ter resultados diferentes com a mesma população inicial, isto não invalida o modelo pois a solução é muito próxima uma da outra (baixo erro). E reforçamos que a técnica dos GAs não leva em conta descontinuidades das funções, isto é muito bom, pois nos problemas reais costumamos trabalhar com objetos ou dados discretos que são quantidades inteiras e não fazem sentido serem divididos, como por exemplo “um computador” e não com a “quarta parte” do mesmo.

De forma aproximada podemos fazer uma analogia com a pesquisa que instituições com Ibope, Galup, etc. onde a mesma é feita com uma parte da população representando o todo; no caso do GA ele trabalha da mesma forma; isto é, com um subconjunto de pontos representativo do domínio no espaço de soluções.

Embora o GA seja probabilístico, ele não é uma busca aleatória devido ao fato das informações que estão codificados nos cromossomos serem direcionadas pelos mecanismos de seleção da população através da função de avaliação, novos pontos com boa aptidão são esperados.

“A função de avaliação, também chamada de função custo, calcula então um valor numérico que reflete quão bons os parâmetros representados no cromossomo resolvem o problema. Isto é, ela usa todos os valores armazenados no cromossomo (os parâmetros) e retorna um valor numérico, cujo significado é uma métrica da qualidade da solução obtida usando-se aqueles parâmetros. Como GAs são técnicas de maximização, a função de avaliação deve ser tal que se o cromossomo c1 representa uma solução melhor que o cromossomo c2, então a avaliação de c1 deve ser maior que a avaliação de c2” (LINDEN, 2008).

Linden (2008) reforça que a função de avaliação é um guia na escolha dos pais e que existem fatores estocásticos associados ao processo, porém buscando usar as características do instante atual para se caminhar na direção correta, estamos fazendo uma busca direcionada no espaço de soluções, então ela deverá refletir, o mais fielmente possível, os objetivos a serem alcançados. Da mesma forma que nós, cada indivíduo computacional traz todas as informações necessárias codificadas em seu genes; que podem ser os “Zeros e Uns” computacionais presentes nos bytes (vetor binário ou *string*), se forem GAs binários ou no nosso caso, utilizamos GAs reais; isto é, trabalhamos com números reais para representar o indivíduo.

A codificação da informação que estará contida no cromossomo é extremamente importante, pois através dela é que iremos colocar as restrições do problema, para que não encontremos soluções que não fazem parte do domínio do problema.

Suponha como exemplo que tenhamos o exemplo a seguir:

Tabela 4 - Codificação binária e "Aptidão".

Indivíduo	Nota do Indivíduo	Percentual da Roleta Viciada
00011001	25	4,73
10000000	128	24,24
10010000	144	27,27
11100111	231	43,75
Total	528	100

Para a seleção inicial usamos o processo de sorteio roleta, onde cada indivíduo de acordo com a função objetivo tem uma determinada probabilidade de ser sorteado; conforme mostrado na figura 10 a seguir:

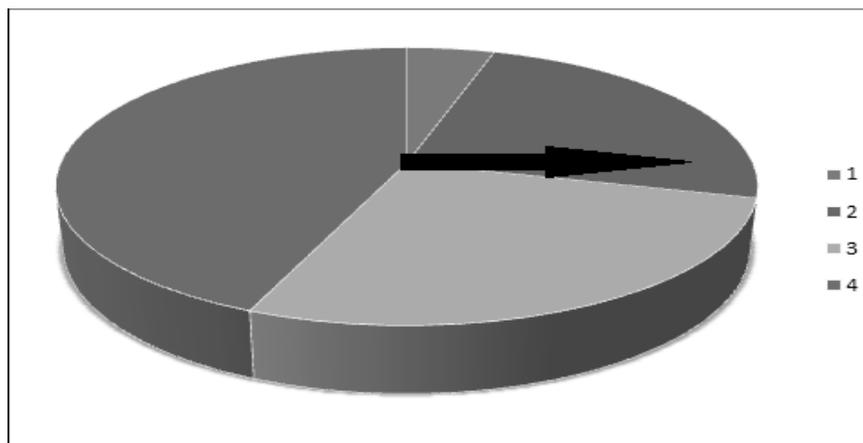


Figura 10 - Roleta probabilística

Com isto conseguimos selecionar os mais adaptados sem perder características importantes dos menos adaptados; isto é muito importante para não cair no problema de “convergência genética”, onde os indivíduos menos aptos nunca são escolhidos por seleção de pais e sim apenas pela mutação, ocasionando a perda da diversidade que não é interessante devido ao mecanismo inerente ao próprio GA de busca de soluções; ocasionando uma dificuldade para o GA convergir para a solução.

Após o processo de seleção, teremos a geração dos novos indivíduos, que é feita através de 3 etapas:

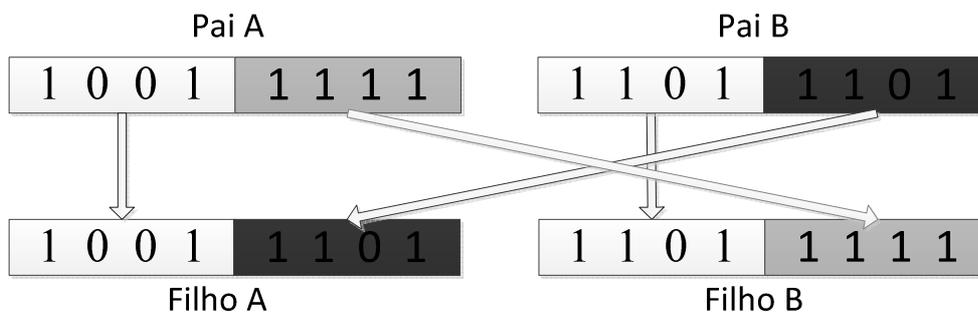
- 1) **Acasalamento** – onde começa a partir da escolha de dois indivíduos, que chamamos de pais.
- 2) **Recombinação** – o termo comumente utilizado é *crossover* ou cruzamento, e simula a herança recebida pelos descendentes, das características dos pais.
- 3) **Mutação** – a partir da troca de característica, permite uma variabilidade na população, isto impede que uma determinada busca fique presa em um ponto de ótimo local.

A mecânica descrita anteriormente pode ser melhor compreendida através do exemplo que se segue:

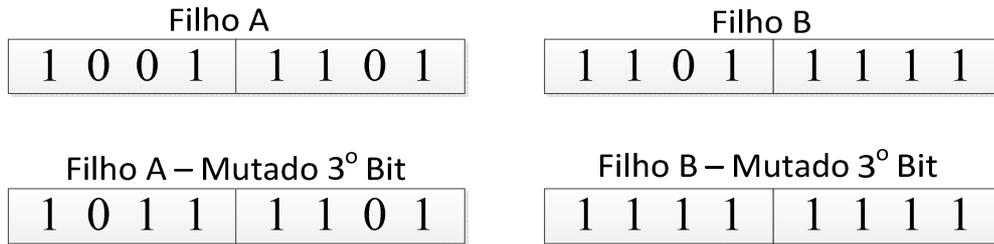
- 1) Codificação dos pais:



- 2) Utilizando o Operador Cruzamento, Geramos 2 filhos:



3) Utilizando o Operador Mutação – Que impede de ficar em um ótimo local



Na figura 11 é mostrado o esquema de um GA básico proposto por Linden (2008), o qual resume o esquema algorítmico de um Ga básico através de sete passos:

- 1) Inicialize a população;
- 2) Avalie cada cromossomo na população;
- 3) Selecione os pais para se gerar novos cromossomos;
- 4) Aplique os operadores recombinação e mutação a estes pais de forma a gerar os indivíduos da nova geração;
- 5) Apague os velhos membros da população;
- 6) Avalie todos os novos cromossomos e insira-os na população;
- 7) Se o tempo acabou ou o melhor cromossomo satisfaz os requerimentos e desempenho, retorne-o, caso contrário volte ao passo 3.

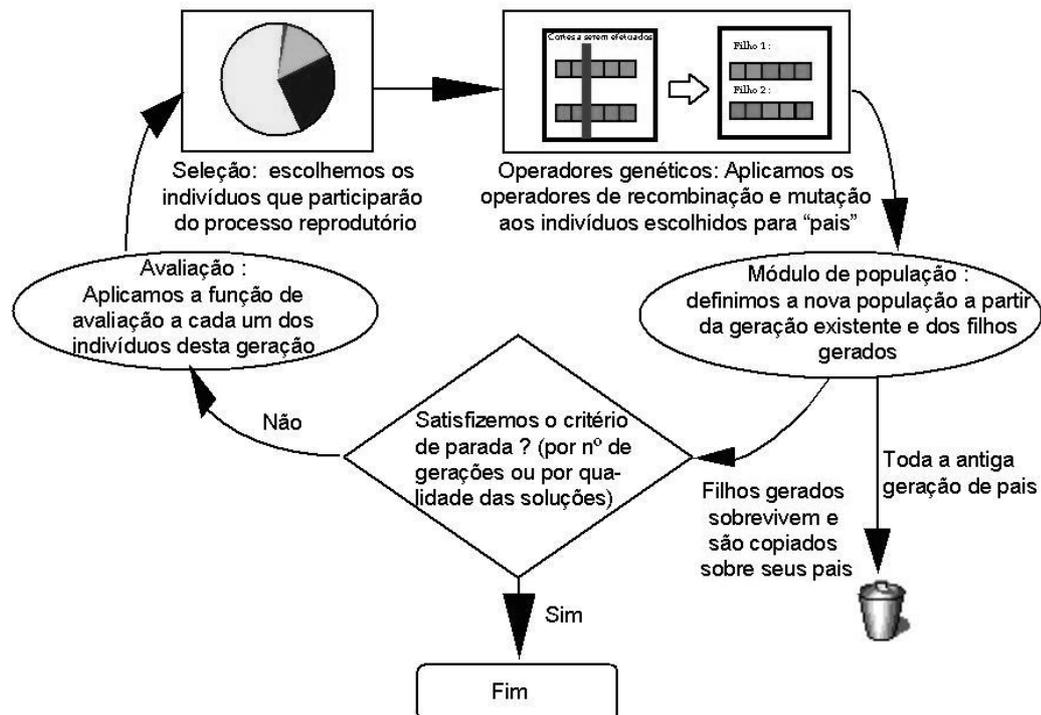


Figura 11 - Esquema de funcionamento de um GA básico (fonte Linden,2008, p. 53)

Braga, Carvalho e Ludermir (2007) destacam em seu livro que devemos considerar a influência dos parâmetros genéticos para estabelecê-los de maneira adequada ao problema. E citam Jong que descreve a influência de cada um deles:

- **Tamanho da população:** Afeta o desempenho global e eficiência do GA, pois com uma população pequena o desempenho pode cair pois consegue cobrir apenas uma parte do espaço de busca e uma população grande demanda recursos computacionais e

tempos maiores, porém garante uma cobertura representativa do domínio do problema e previne convergências prematuras;

- **Taxa de Cruzamento:** Quanto maior, mais rápida a inserção de novas estruturas na população, porém indivíduos com bom índice de aptidão podem ser retirados mais rápido que o sistema consiga repor outros bons indivíduos; por outro lado se esta taxa for baixa a busca pode estagnar;
- **Taxa de mutação:** Se for alta a busca se torna aleatória e se for baixa previne que uma dada posição fique estagnada em um valor e possibilita que se chegue a qualquer ponto do espaço de busca;
- **Intervalo de geração:** Se o valor for baixo, o GA pode se tornar lento por poder ser necessário um número de gerações muito grande para se achar a solução, enquanto que um valor alto a maior parte da população é substituída, o que pode levar a perda de indivíduos de alta aptidão.

2.1.6 – O Matlab

O Matlab é um ambiente de desenvolvimento de programas matemáticos otimizado para o trabalho com matrizes, que conta também com um conjunto grande de funções e várias ferramentas (toolboxes) desenvolvidas para o trabalho nas mais diversas áreas que necessitem efetuar cálculos científicos.

Devido à grande quantidade de funções matemáticas, bibliotecas e toolboxes desenvolvidas para ele, podemos considerar o Matlab como sendo uma *suíte matemática*. O Matlab implementa a linguagem de programação MATLAB possibilitando ao usuário a criação de programas e interfaces homem-máquina - IHM simples e eficientes.

O Matlab apresenta uma série de vantagens, sendo que dentre as principais destacadas por Chapman (2003), temos:

- Facilidade de Uso: Possuindo uma interface que permite o uso integrado, funções e programas podem ser escritos e testados rapidamente; além de contar com muitos exemplos de funções, programas demonstrativos e ajuda *on* e *off-line* aumentando a velocidade no aprendizado do programa.
- Possibilidade de se trabalhar em computadores com os sistemas operacionais Windows 9x/NT/2000/XP/Vista/7 e Linux em diversas distribuições que são os mais utilizados na maioria dos computadores atuais, permite a portabilidade entre os programas e dados escritos nas duas plataformas.
- Grande quantidade de funções e bibliotecas predefinida permitindo o desenvolvimento de outras funções e facilidade de recorrer a ajuda de terceiro através da internet para soluções específicas aos problemas abordados.
- Possibilidade de criação de diagramas e desenhos permitindo visualizar dados técnicos;
- Permite a criação de uma interface homem-máquina permitindo que o programador crie programas sofisticados para análise de dados, mas de forma simples e transparente para os usuários que podem ser inexperientes.
- Permite a criação de programas executáveis, diminuindo o tempo de execução do mesmo em relação aos programas interpretados, facilitando a distribuição e comercialização para usuários.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a ToolBox de Redes Neurais Artificiais (RNA) e a ToolBox de Algoritmos Genéticos (GA).

Existem outras suítes matemáticas gratuitas, como o Octave, Scilab, dentre outros, mas o Matlab foi eleito por nós devido a nossa expertise com o software e também devido a Mathworks, que é detentora do produto e da marca, ter um programa de comercialização diferenciado para estudantes, onde o mesmo pode ser adquirido a um custo extremamente reduzido, mas com a restrição de ser apenas para estudo de alunos, não permitindo que o mesmo seja utilizado comercialmente, como é o nosso caso. O custo de licença do software é de US\$ 99,00 e cada toolbox custa US\$ 29,00. Se o INTELIAGRI virar um produto comercial, outro tipo de licença terá de ser obtido.

2.2 – INTELIAGRI

A denominação INTELIAGRI, de autoria do pesquisador, designa a ferramenta computacional inteligente aplicada à otimização do uso de recursos hídricos e aumento da receita líquida na agricultura, objetivo deste trabalho. A ferramenta INTELIAGRI pode ser melhor compreendida através da figura 12, a seguir.

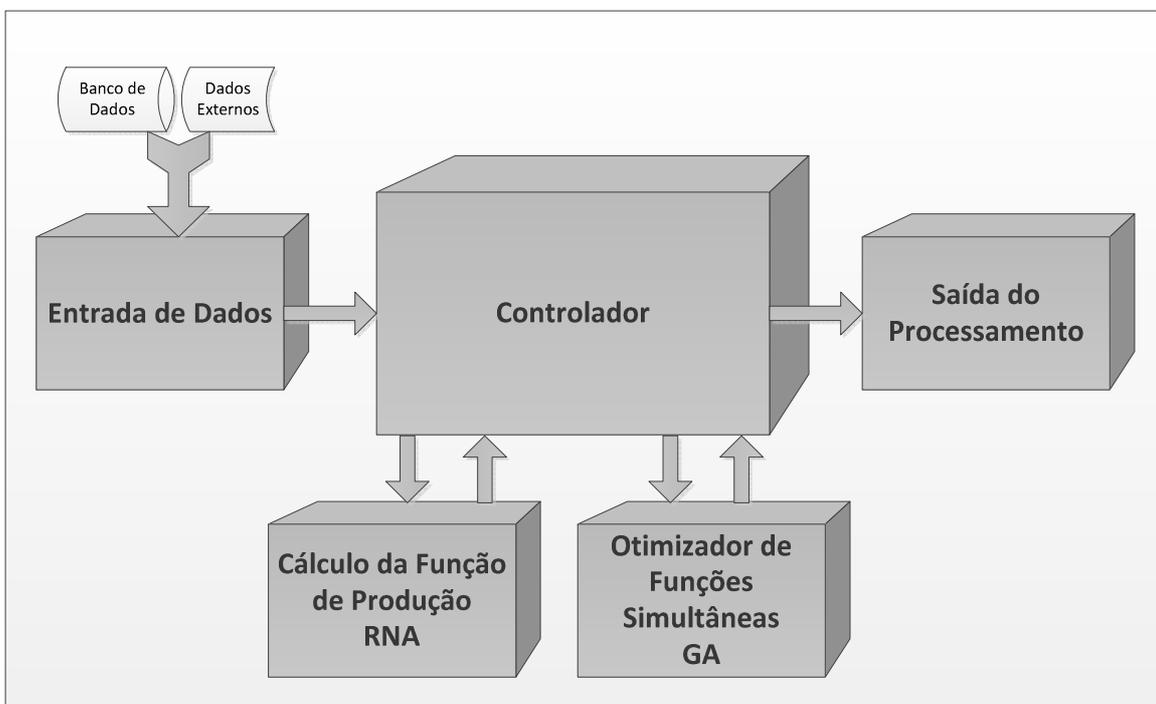


Figura 12 - Diagrama simplificado em blocos do INTELIAGRI

O módulo ‘Entrada de Dados’ é o responsável pela coleta e disponibilização dos dados para o sistema; que podem vir de um banco de dados (BD) ou através da inserção direta de dados obtidos experimentalmente.

O segundo módulo, ‘Controlador’, é responsável pelo controle do fluxo de dados entre todos os demais módulos; enviando os dados de forma adequada aos módulos de processamento, e nesta ordem: primeiro para o Módulo RNA e recebendo deste a função de produção da cultura, e a seguir enviando esta função para o módulo de GA que também executa o seu processamento retornando para o controle que faz a formatação para o módulo de saída.

Os módulos de inteligência artificial ‘RNA e GA’ são respectivamente os módulos que utilizam as redes neurais artificiais, para a determinação da função de produção da cultura,

e o de algoritmos genéticos, que tem como objetivo encontrar e otimizar os pontos de máximos das curvas a serem otimizadas simultaneamente, para determinação dos insumos, em nosso caso água ou água e nitrogênio e determinação da correspondente receita líquida.

Finalmente, o módulo de saída, 'Saída do processamento', que é a interface com o usuário, onde o mesmo irá obter os dados resultantes do processamento através de gráficos, caso estejamos trabalhando com um ou dois insumos, tais como água e nitrogênio, gerando um gráfico de duas dimensões para um insumo e gerando gráficos de três dimensões quando incluímos o nitrogênio na análise, podendo ser de quatro ou mais dimensões dependendo da quantidade de insumos, que neste caso apenas os valores numéricos serão exibidos.

2.3 – Questões Atuais

Como dito anteriormente, o objetivo principal desta investigação é desenvolver uma ferramenta computacional inteligente que permita ao produtor rural a utilização apenas da quantidade de água necessária às culturas que ele desenvolve. Entretanto, fica a questão do que motiva e justifica essa preocupação de pesquisa? Respondemos, então, que a mesma é de suma importância, porém muitas vezes é tratada com descaso e irresponsabilidade por pessoas e governos, por produtores e consumidores.

O que induz a esse descaso e falta de preocupação e cuidados, é a falsa ideia de que, por ser a água um recurso renovável ela tenha uma quantidade ilimitada e permanentemente disponível para o uso humano. Muitos de nós ainda não temos a ciência e a consciência da importância de se usar bem este recurso natural, ainda mais devido ao fato de ser de nosso conhecimento, desde tenra idade, o ciclo da água onde há sempre uma renovação dando a falsa ideia que não temos que nos preocupar com ela.

Este conceito, fundado no senso comum, estava estabelecido, em décadas anteriores, por não existir ainda, nos super-níveis atuais, problemas de escassez de água, alimentos, crescimento populacional, aquecimento global e poluição. Hoje, esse panorama se modificou grandemente, induzindo ao despertar da consciência ecológica da população e dos governantes para a questão da água, cada vez mais contaminada, poluída e degradada pela ação predatória do homem.

2.3.1 – A água

Sabemos que a água é um dos bens mais preciosos do planeta, uma das mais importantes substâncias que dispomos, tendo até um dia dedicado a ela, o dia 22 de março⁹. Sem a água não seria possível a vida no planeta da forma que conhecemos hoje, visto que a água desempenha diversas funções essenciais que ocorrem no interior dos organismos vivos, animais ou vegetais. Todos os seres vivos, dos mais simples aos mais complexos, necessitam de água para sobreviver. O corpo humano tem em média 65% de água. A água representa entre 70 a 90% do peso de grande parte dos animais, desempenhando funções importantes em seus organismos, integrando suas substâncias líquidas, como sangue, suor, urina, entre outras, regulando diversas funções orgânicas; e também muitas plantas possuem elevadas percentagens de água, como os legumes, frutas e tubérculos. (REIS, 2003).

Até pouco tempo atrás, há pouco menos de cinco décadas, a grande maioria das pessoas acreditava que a água no planeta seria inesgotável, visto ser ela um recurso renovável. A população mundial no início da década de 1960, estava em torno de 3 bilhões de pessoas e com a polarização política, entre capitalistas e comunistas, o foco mundial era outro.

⁹O Dia Mundial da Água foi criado pela ONU (Organização das Nações Unidas) no dia 22 de março de 1992, com o objetivo principal de instituir um momento de reflexão, análise, conscientização e elaboração de medidas práticas para resolver o problema da escassez de água e discussões sobre os diversos temas relacionadas a água.

A preocupação com a escassez de água se limitava às regiões desertificadas do planeta e com pouco acesso aos recursos hídricos. Naquela época, o padrão de consumo que a maioria das pessoas almejava era o modelo do americano de classe média, valorizando sobremaneira o conforto e a facilidade proporcionados pelos equipamentos eletrodomésticos e os produtos industrializados, que demandam altos gastos de energia, elevada produção de resíduos e consequente poluição do meio ambiente.

Cabe destacar que o uso massivo e indiscriminado dos plásticos, cujo ônus foi a poluição dos solos, rios e mares, em uma escalada tão agressiva aos recursos naturais, até então sem precedentes na história do planeta. Na época, os estudos sobre produtos nocivos à saúde humana, como por exemplo, o tabaco e o álcool, ainda eram incipientes, assim como os efeitos negativos dos resíduos químicos e industriais, altamente poluentes.

O movimento *hippie* já questionava o consumo exacerbado, defendia a agricultura orgânica, e uma relação mais harmônica com a natureza, sem uso de produtos industrializados, poluentes e agrotóxicos. Nos anos 1970 começavam nos países mais desenvolvidos os estudos e as denúncias sobre os efeitos desastrosos da ação do homem no meio ambiente, alertando a população quanto a poluição das águas e do ar e a produção e consumo de alimentos com teor de contaminação devido a processos químicos, uso de defensivos agrícolas, etc.

O ciclo da água, conforme ilustrado na figura 13, apresenta a água como um recurso renovável, e pode induzir a pensar que por ser renovável ele é inesgotável; isto é, nesta análise não está se considerando a poluição de solos, rios e mares.

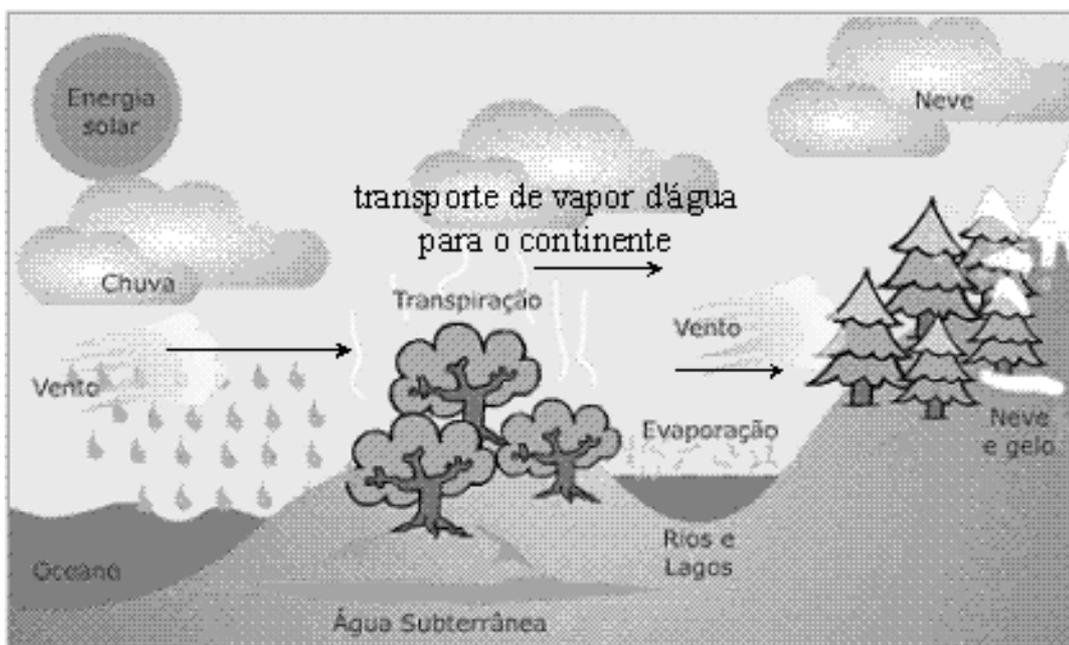


Figura 13 - Ciclo da Água (Fonte LaQA/USP adaptado da Sabesp)

Por falta de informações complementares, a análise simples do ciclo da água produz uma noção equivocada que contribui para o desperdício de água, retardando a conscientização sobre uma provável futura escassez de água própria para o consumo na Terra.

“A quantidade de água doce no mundo está estimada em 34,6 milhões de km^3 (ref. 1km^3 corresponde a 1 trilhão de litros), porém somente cerca de 30,2% (10,5 milhões de km^3 – água doce subterrânea, rios, lagos, pântanos, umidade do solo e vapor na atmosfera) podem ser utilizados para a vida vegetal e animal nas terras emersas. O restante, cerca de 69,8% (24,1

milhões de km³) encontra-se nas calotas polares, geleiras e solos gelados. Dos 10,5 milhões de km³ de água doce, aproximadamente 98,7% (10,34 milhões de km³) correspondem à parcela de água subterrânea, e apenas 0,9% (92,2 mil km³) corresponde ao volume de água doce superficial (rios e lagos) diretamente disponível para o consumo humano. Esse volume é suficiente para atender de 6 a 7 vezes o mínimo anual que cada habitante do Planeta precisa, considerando a população atual de 6,4 bilhões de habitantes.” (GOMES,2009).

Os pesquisadores da USP, Reichardt e Timm publicaram dados relativos a quantidades de água no planeta informando que, apesar da água ser encontrada em maiores quantidades do que qualquer outra substância pura, cerca de 97,5% da água é salgada e que apenas 2,5% restantes é água doce. Para piorar o cenário, 69% da água doce se encontram sob a forma de gelo, em geleiras e neves eternas, 30% são subterrâneas e 0,9% se encontram em outros reservatórios não prontamente disponíveis. Assim, apenas 0,3% da água doce se encontram em rios e lagos podendo ser consumida pelo homem (REICHARDT & TIMM, 2008). Esse cenário pode ser melhor visualizado na figura 14.

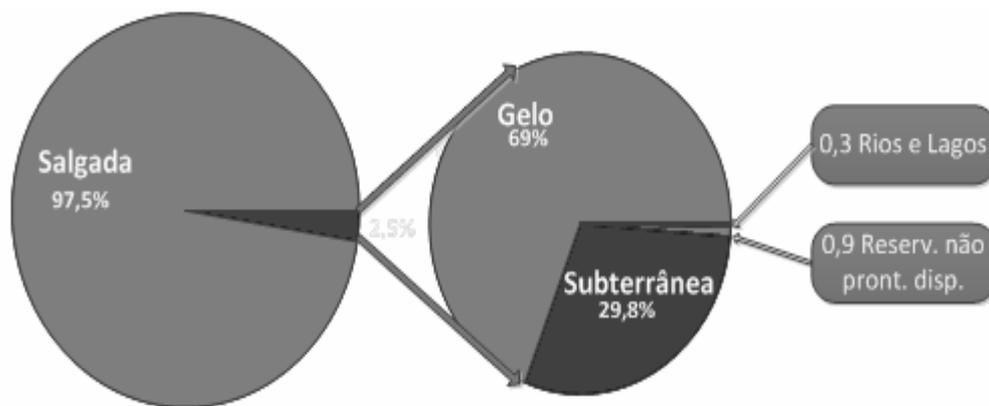


Figura 14 - Quantidades de Água no Planeta (fonte REICHARDT & TIMM, 2008 adaptado por Cavalcante, 2012)

Considerando, que a água potável disponível é em quantidade ínfima, proporcionalmente comparada a água salgada e a água doce não disponível para consumo, e tendo em vista que ainda há o agravante da água potável estar sujeita ao desperdício e a agentes poluentes e contaminantes, fazemos duas perguntas básicas iniciais que demonstram a dimensão do problema: Quanto custa despoluir? E quanto tempo leva?

Vemos que a quantidade de água própria e disponível para o consumo é mínima, principalmente quando comparamos com o crescimento da população mundial. Se analisarmos globalmente temos água de sobra para cada habitante do planeta, porém a distribuição de água no mesmo não é equânime. Nas regiões intertropicais e nas zonas temperadas ela é de 50% e 48% respectivamente, e apenas 2% nas zonas áridas e semi-áridas.

“O relatório anual das Nações Unidas faz terríveis projeções para o futuro da humanidade. A ONU prevê que em 2050 mais de 45% da população mundial não poderá contar com a porção mínima individual de água para necessidades básicas. Segundo dados estatísticos existem hoje 1,1 bilhão de pessoas praticamente sem acesso à água doce. Estas mesmas estatísticas projetam o caos em pouco mais de 40 anos, quando a população atingir a

cifra de 10 bilhões de indivíduos. A partir destes dados projeta-se que a próxima guerra mundial será pela água e não pelo petróleo.” (JACOBI, s/d.).

REICHARDT e TIMM (2008) ainda nos informam que 65% da água disponível para consumo é utilizada em atividades agrícolas, 22% pela indústria e 7% pela população das cidades, sendo que 6% é desperdiçada conforme mostrado na figura 15.

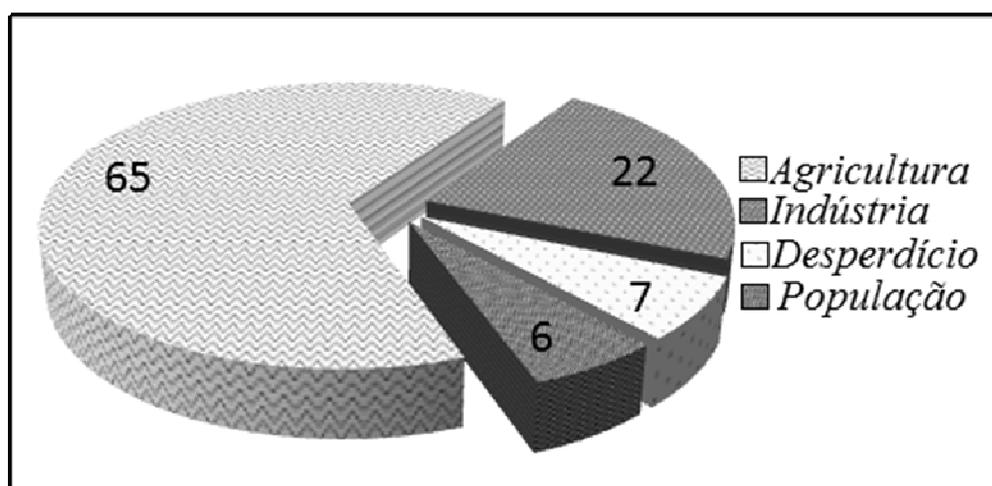


Figura 15 - Consumo Percentual de Água por Setor (fonte REICHARDT & TIMM, 2008 adaptado por Cavalcante 2012).

Analisando o gráfico da quantidade de água usada pelo homem, na figura 15, vemos que a maior utilização (65%) se destina à produção de alimentos, que de forma primária cabe à agricultura e pecuária, que por sua vez requerem grande percentual e quantidade de água. A indústria consome (22%) três vezes mais que a população (7%), sendo que o desperdício atinge quase a mesma quantidade de água que a população.

“Com o crescimento urbano, a expansão industrial e a demanda por energia hidroelétrica de um lado, e a poluição das águas superficiais e subterrâneas e as mudanças climáticas provocando severas secas de outro, fica cada vez mais difícil obter água limpa.” (GOMES, 2009).

Não admira que o custo da água potável, principalmente nos grandes centros urbanos, começava a se tornar cada vez mais elevado, e que este custo também atinge a produção agrícola. Assim, sabendo que os recursos hídricos estão cada vez mais escassos, devido à própria ação danosa do homem com seus multipoluentes e podemos acrescentar também o desperdício, vemos que projetos que viabilizem o uso racional da água na produção agrícola são extremamente necessários.

O Brasil possui uma das maiores reservas hídricas do planeta. Segundo o relatório da Agência Nacional de Aguas – ANA, sobre a Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil, em sua análise diz que:

“O Brasil apresenta uma situação confortável, em termos globais, quanto aos recursos hídricos. A disponibilidade hídrica per capita, determinada a partir de valores totalizados para o País, indica uma situação satisfatória, quando comparada aos valores dos demais países informados pela Organização das Nações Unidas (ONU). Entretanto, apesar desse aparente

conforto, existe uma distribuição espacial desigual dos recursos hídricos no território brasileiro. Cerca de 80% de sua disponibilidade hídrica estão concentrados na RH Amazônica, onde se encontra o menor contingente populacional, além de valores reduzidos de demandas consuntivas.” (BRASIL, 2012, p.27).

Isto mostra a importância do conhecimento do balanço hídrico das nossas bacias hidrográficas, da densidade populacional e das atividades daquela região para podermos estimar seu consumo. Hoje, já existe uma preocupação com a preservação e o gerenciamento dos recursos hídricos, no Brasil, bem como a instituição de políticas públicas que visam a preservação deste recurso natural essencial à sobrevivência humana, ainda que sua implementação e eficácia ainda deixem a desejar. A ANA divide o Brasil em 12 regiões hidrográficas que são formadas por uma grande quantidade de bacias hidrográficas; obvio que a delimitação natural destas bacias muitas vezes não coincidem com as delimitações de fronteira entre estados e/ou municípios; daí também a importância de leis federais de proteção a estas bacias hidrográficas em relação principalmente a poluição e uso da água entre os mesmos.

O fato do Brasil possuir grande quantidade de bacias hidrográficas favorece a vocação agrícola do país, já vaticinada por Pero Vaz de Caminha ao relatar ao Rei de Portugal, que nesta terra mui gentil ‘em se plantando tudo dá’. Entretanto, hoje, as potencialidades da agropecuária no Brasil não derivam apenas da existência de grandes extensões de solo agricultável (no caso brasileiro o maior do mundo), mas também ao esforço em pesquisa e desenvolvimento. Nesse sentido, merece destaque a atuação da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), de inúmeras universidades públicas e as demandas do moderno agronegócio (Guedes e Teixeira, 2009).

Cabe destacar as enormes diferenças regionais brasileiras, no que tange ao clima e aos biosistemas, com desigual distribuição de recursos hídricos e conseqüentemente de solos agricultáveis, o que exige mais esforços de pesquisa. Em outro relatório da ANA, o Atlas Brasil que apresenta o panorama nacional sobre o abastecimento urbano de água (BRASIL, 2010), analisando o Semiárido, diz que:

“O semiárido apresenta reservas insuficientes de água em seus mananciais, temperaturas elevadas durante todo o ano, baixas amplitudes térmicas, da ordem de 2^a a 3^o C, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração. Os totais pluviométricos são irregulares e inferiores a 900 mm; normalmente, são superados pelos elevados índices de evapotranspiração, resultando em taxas negativas no balanço hídrico”. (BRASIL, 2010, p. 21)

A existência de solos com balanços hídricos desfavoráveis compromete a produção de alimentos, de origem vegetal e animal, e requer maiores investimentos em tecnologia aplicada à agropecuária, visando o desenvolvimento social e econômico dessas regiões.

O crescimento da demanda de produção de alimentos está indissociavelmente vinculada ao consumo de água, assim com a quantidade e a qualidade da água disponível para consumo do homem, das plantas e dos animais. Nesse sentido, é importante compreendermos o conceito de ‘água virtual’¹⁰, que mensura a quantidade de água necessária para produzir

¹⁰O conceito de Água Virtual (ou Água viva) foi criado por João Antônio Alan, professor paranaense, detentor de um prêmio pelo desenvolvimento desse conceito, baseado na quantificação do volume de água necessário para produção de um banho ou de um serviço doméstico. O conceito não contabiliza apenas a água contida no produto inicial, mas também toda a água que foi usada em todas as etapas, do processo de produção e limpeza.

alimentos, utensílios e bens utilizados pelo homem, isto é, a água virtual presente em produtos orgânicos e industrializados, é a água dispendida para produzir aquele item.

Gomes (2009) analisa o aumento da demanda por água, a partir do aumento populacional, tendo em vista a quantidade de água necessária para produzir os alimentos consumidos pela população:

“... para produzir a quantidade de alimentos necessária a uma pessoa, por dia, são utilizados de 2 mil a 5 mil litros de água. Com uma população mundial estimada de 9 bilhões de habitantes para o ano de 2050, a agricultura terá um enorme desafio pela frente na busca de técnicas e procedimentos de manejo e uso racional e sustentável dos recursos hídricos.” (GOMES,2009).

Assim, de acordo com a quantidade de água necessária para a produção dos alimentos podemos melhor inferir o conceito de “água virtual”. No Anexo 1, temos a tabela elaborada pela FAO que indica a quantidade de água (em litros) necessária para a produção de determinados alimentos. Apenas como exemplo, vemos que para produzir um tomate são necessários cerca de 13 litros de água, 25 litros para uma batata, 50 litros para uma laranja e 70 litros para uma maçã.

Analisando ainda esta tabela, vemos que outros produtos agrícolas demandam uma quantidade de água ainda maior que os legumes e as frutas exemplificados, como, por exemplo, a produção de 1 k de trigo consome 1500 litros de água, e que a pecuária consome ainda mais água, pois cada kg de carne bovina demanda para sua produção 15.000 litros de água.

Esse quantitativo de água virtual de cada alimento demonstra a enorme demanda e consumo de água para a produção de alimentos de origem vegetal e animal, e também os industrializados. Através desta análise fica fácil ver que quando exportamos algum produto de origem vegetal ou animal, estamos exportando também água.

Hoje, o gerenciamento dos recursos hídricos é uma necessidade econômica e ambiental.

“O gerenciamento da água é que deve ser considerado o grande problema e não seu "desaparecimento". Desta forma quando o Governo tenta culpar o usuário pelo consumo excessivo de água está, na realidade, confessando a sua incapacidade em suprir este excesso de água no presente e, possivelmente, no futuro. O cidadão pode e deve evitar perdas desnecessárias do produto, mas não deve, sob hipótese nenhuma, ser responsabilizado pela falta de água. A única forma de inviabilizar a água para o consumo é a contaminação da mesma por poluentes. Portanto cabe, mais uma vez as autoridades criar leis severas que punam exemplarmente aqueles que poluem e contaminam as águas.” (JACOBI, s/d).

Atualmente inúmeros projetos trabalham como a temática da otimização dos recursos hídricos aplicados (SANCHEZ DELGADO et al, 2007; 2010a, 2010b; ALBUQUERQUE e DURAES, 2008; BARROS, 2002; BRANDÃO et al, 2009). Tentamos mostrar a importância de projetos que otimizem o consumo de água evitando o desperdício e que o INTELIAGRI pode colaborar com os esforços para a utilização de práticas sustentáveis no uso racional da água.

Esse conceito torna-se cada vez mais recorrente, dada a escassez de água, o que torna a quantidade de água virtual de um produto um fator determinante para sua produção,

2.3.2 – Crescimento populacional

Uma variável que impacta o consumo de água no planeta e demanda um aumento significativo da produção de alimentos, é o crescimento populacional. Em 2011, a população mundial atingiu 7 bilhões de pessoas o que certamente influencia no aumento do consumo de água pela população, pela agricultura, pela indústria, além do desperdício.

O crescimento da população mundial ao longo da história, conforme ilustrado no gráfico da figura 16, nos faz refletir sobre seus impactos no consumo de água e alimentos.

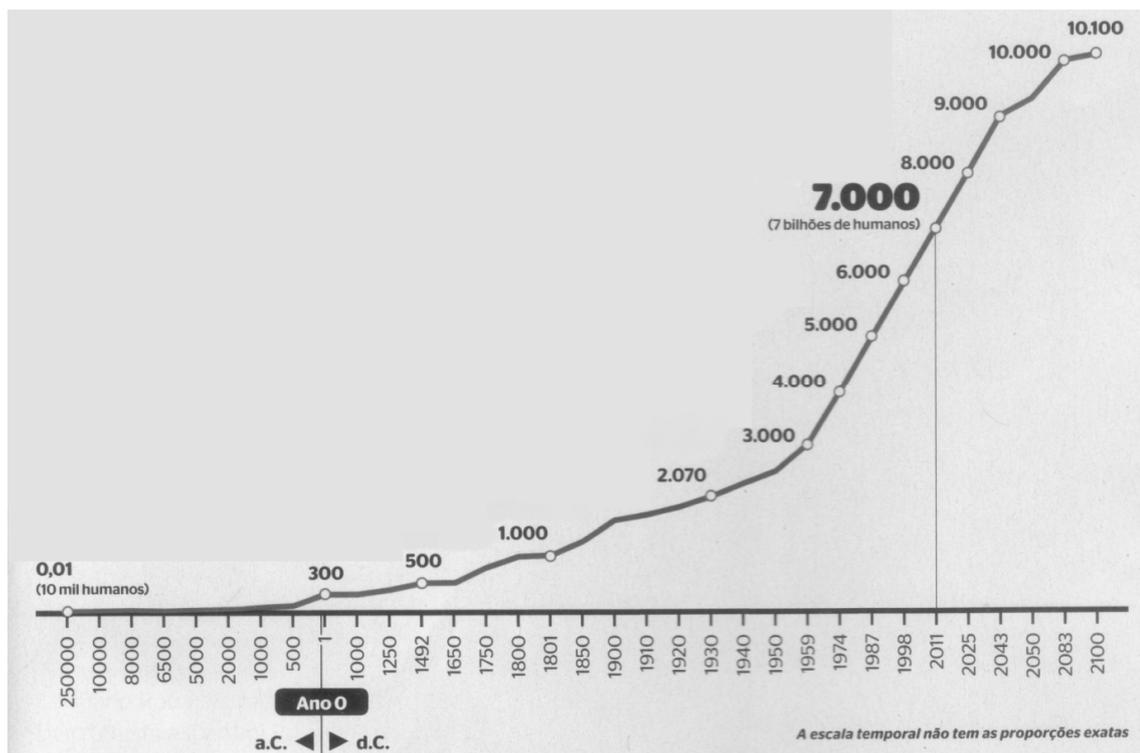


Figura 16 - Crescimento da população mundial (Adaptado por Cavalcante, da Revista Época – 26 Dez 2011, p.80 fonte Censo 2010/IBGE)

Analisando os dados apresentados anteriormente (Figura 16), nos conscientizamos logo do grande problema que é o crescimento da população, que continuará aumentando nas décadas seguintes. No tópico anterior e nos próximos podemos ver a íntima relação entre o crescimento da população e o aumento do consumo da água pelo homem e pela agricultura, visto que o aumento da população impacta diretamente a demanda pela produção de alimentos. Esses dados nos fazem inquirir: Qual o impacto desse aumento populacional no uso da água para consumo próprio e para a produção de alimentos, ainda mais considerando o conceito de ‘água virtual’?

Já se tornou senso a relação que existe entre tudo e todos no planeta, conforme é tratado na teoria do caos, o chamado “efeito borboleta”. Explorando de forma muito simples e resumida, esta teoria defende que pequenas alterações nas condições iniciais poderiam influenciar fortemente nos estados finais de um sistema, representada pela assertiva de que: ‘O bater de asas de uma borboleta no Japão poderia causar um furacão em outro extremo do planeta’.

A arte, a literatura e o cinema têm abordado a temática das relações entre os reinos animal, vegetal e mineral e os impactos que a ação predatória do homem gera nos destinos do planeta.

“A descoberta mais importante dos dois últimos séculos é a de que estamos todos juntos num mesmo experimento frágil, vulnerável aos acontecimentos, ao julgamento equivocado, à visão estreita, à ganância e a má-fé. Apesar de separados em nações, tribos, religiões, etnias, línguas e culturas e políticas, nós estamos todos juntos numa aventura que se iniciou em épocas imemoriais, mas que no futuro não irá além da nossa capacidade de reconhecer que somos – como definiu uma vez Aldo Leopold – membros e cidadãos plenos da comunidade biótica.” (ORR, 2005)

Devido ao crescimento da população temos que traçar considerações sobre uso da água na agricultura e os efeitos poluidores causados pelos defensivos e fertilizantes utilizados na agricultura, que contaminam os solos, os rios e lagoas, os mananciais e os aquíferos, de onde advém os recursos hídricos que consumimos.

Voltando a falar do gráfico da figura 16, observamos que existem muitas bocas para alimentar no planeta, e para tal é necessário investir na agricultura e na pecuária para ampliar a produção de alimentos, porém isso demanda mais consumo de água.

Ao analisar a tabela do Anexo 1, podemos constatar, utilizando os dados da FAO, que alguns alimentos, em especial os de origem animal, consomem para sua produção muito mais água. Isso mostra que a agricultura, apesar do alto consumo de água dispendido, ainda assim, gasta menos água virtual do que a pecuária, então este aspecto tem de ser cuidadosamente analisado e ponderado por nós.

A Europa, que possui recursos hídricos limitados e uma densidade populacional elevada, não produz determinados alimentos que consomem água em excesso. Assim, um desafio posto para a agricultura refere-se a que alimentos produzir e consumir para matar a fome minimizando o gasto de água de forma excessiva.

“Nós, seres humanos, certamente sempre afetamos o mundo natural de que dependemos. Atualmente somos 7 bilhões de pessoas - vindo de cerca de 1,6 bilhões de pessoas em 1900. Com a atual extração dos recursos da terra, estamos causando um impacto como nunca antes visto. Considere também a crescente escassez de água fresca para beber, o declínio do solo saudável para cultivar nossa comida, e das alterações climáticas globais. Com a perspectiva da população mundial que deverá aumentar para 9 bilhões em meados deste século. Nós temos que perguntar: há um ponto de ruptura?”. (GOLEMAN, 2012)

Assim, a demanda pela produção de alimentos é proporcional ao aumento da população, com impactos diretos no consumo da água. Nos custos da produção agrícola os gastos de energia associados ao consumo de água influenciam na receita líquida e no valor do produto no mercado. Deve-se levar em consideração que a atividade agrícola gera trabalho e renda para as populações rurais, assim a escassez de água que prejudica a agricultura e a produção de alimentos gera também a perda de postos de trabalho e a pobreza dos segmentos sociais que vivem diretamente dessa atividade.

Segundo Bernardo (2010, p.15):

“É de capital importância que se persiga uma maior sustentabilidade no uso dos recursos hídricos e de energia para se obter real crescimento na produtividade agrícola e na oferta de empregos no meio rural.”

Os prejuízos ao meio ambiente, principalmente os associados à poluição das águas devido a agropecuária, também devem ser considerados por seus impactos futuros na escassez de água própria para o consumo. Essas e outras preocupações estão produzindo uma maior conscientização da população e dos governos, com impactos nas políticas públicas, e também ampliado o interesse de pesquisadores em estudar os impactos da ação do homem no meio ambiente, e em como reduzir esse impacto, em nosso caso específico, como reduzir o desperdício no consumo de água por meio da proposição de tecnologia inovadora. Pesquisas tem contribuído para a prevenção e a minimização dos passivos ambientais advindos da atividade agrícola, buscando uma maior sustentabilidade do meio rural, e uma relação mais harmônica entre o meio ambiente e a agricultura.

2.3.3 – A Agricultura

Uma das primeiras revoluções culturais da humanidade foi promovida pela agricultura. Ela permitiu que o homem passasse do nomadismo para o sedentarismo, e foi fundamental para a construção da civilização. Essa revolução se deu ainda na pré-história, no período Neolítico (cerca de 10.000 – 6.000 A.C.), mais conhecido como a idade da pedra polida. Devido a vários fatores, tais como as mudanças climáticas, surgiram condições que facilitaram aos nossos ancestrais a se fixarem na terra.

“A agricultura foi uma das mais importantes descobertas da História da Humanidade, uma vez que provocou profundas alterações na sociedade humana e na sua relação com o meio ambiente: o Homem fixou-se definitivamente num local e adaptou-o às suas necessidades. A esta lenta transformação, que demorou centenas de anos e tem por base uma economia produtora, dá-se o nome de revolução neolítica.” (GUIA, 2005).

Vemos que o domínio e transformação da natureza através de técnicas de cultivo e da domesticação de animais foram importantes no processo evolutivo do homem pré-histórico. As primeiras culturas agrícolas foram o trigo, cevada, arroz, soja, milho e aveia; e desde os primórdios sempre houve a associação da agricultura com a pecuária. Nossos antepassados iniciaram a domesticação de animais, tais como o cachorro para guarda e companhia e ovelhas, cabras e bois como alimento e fornecedores de pele e chifres.

A agricultura e a pecuária além de impactarem o modo de vida da humanidade, também foram responsáveis pelas primeiras inovações tecnológicas da humanidade e aceleraram o desenvolvimento da cultura, pois criaram novas demandas, ampliadas pelo aumento populacional alavancado pelo controle da produção de alimentos. Antes do Homem dominar as técnicas de cultivo agrícola e de domesticação de animais, o acesso a alimentos dependia da caça e da coleta extrativista.

Dentre as primeiras inovações tecnológicas podemos destacar a invenção do arado, da roda, da técnica do fogo, das primeiras armas e ferramentas, das vestimentas e abrigos, da cestaria, da cerâmica, da tecelagem. Tais técnicas e invenções humanas puderam se desenvolver devido ao sedentarismo e a agricultura, que substituindo o nomadismo e o extrativismo, favoreceu a produção de uma cultura cada vez mais rica e complexa.

“A fixação num local facilitou por sua vez o surgimento da agricultura já que permitiu ao Homem a observação prolongada dos ciclos de vida das plantas e a experimentação do seu cultivo. Por outro lado, a agricultura, ao resolver melhor as necessidades alimentares e de conforto do Homem, criou ligações e obrigações deste para com a terra – ele tem de cultivá-la, apanhar

e tratar o cereal – que o transforma definitivamente em sedentário.” (GUIA,2005).

A agricultura e a pecuária além de assegurarem o fornecimento de alimento inseriram o homem no mundo da multicultura. A agricultura foi responsável pelo surgimento das primeiras comunidades, e estas com o aumento da população, viraram aldeias e depois cidades. Assim, a associação agricultura/sedentarismo favoreceu também o aprimoramento da linguagem oral, dada a necessidade de ampliação da comunicação para grupos cada vez maiores.

O crescimento da população e a conseqüente ampliação da demanda de alimentos, provocaram o desenvolvimento das primitivas técnicas de cultivo e irrigação, logo mais inovação, a que se seguem os primeiros conglomerados humanos, o comércio, gerando ainda a necessidade da invenção da escrita, que introduziu o homem na história rumo a construção de inúmeras civilizações.

Desde a pré-história até os dias de hoje, a agricultura sempre esteve profundamente ligada aos recursos hídricos e à irrigação. O homem primitivo plantava perto dos rios e lagos, de modo a facilitar o acesso a água, necessária à irrigação das lavouras e ao consumo dos homens e animais. As terras próximas a mananciais eram potencialmente mais férteis, favorecendo a agricultura, e o avanço das técnicas de irrigação, e conseqüentemente o aumento da produção e da população. Vários grupos humanos estabelecidos nessas áreas constituíram sociedades hidráulicas em que o gerenciamento das águas se constituiu em uma técnica de controle dos recursos hídricos, com a construção de canais de irrigação, poços e cisternas, evitando assim a escassez de água e a queda da produção agrícola, e sua principal consequência, a fome. “Água é Vida” é uma máxima atemporal, pois sem ela, homens, animais e plantas estão fadados à morte. As primeiras civilizações humanas se desenvolveram as margens dos grandes rios – Nilo, Tigre e Eufrates, Amarelo, Indo, Ganges e Jordão – que desempenhavam um importante papel na economia, cultura, religião e poder dessas sociedades.

Como visto anteriormente o gerenciamento dos recursos hídricos é essencial ao desenvolvimento da Agricultura e da Pecuária, com impactos positivos na economia das sociedades agrícolas e, posteriormente industriais, com destaque para o avanço tecnológico da irrigação. Da Antiguidade aos dias atuais a função da irrigação é fornecer água para que a cultura tenha sua necessidade hídrica satisfeita durante todo o seu ciclo e assim permitir uma produtividade e também uma qualidade maior.

Segundo o Atlas Brasil, editado pela ANA, em 2010, o território nacional conta com uma extensão de 8,5 milhões de km² organizados em 5 regiões geográficas abrigando 27 unidades da federação, totalizando 5565 municípios; isto nos baliza para estimarmos o quanto podemos crescer em terras aráveis, necessidades de alimentos para a população e como dado para se efetivarem políticas públicas mais eficientes. (BRASIL, 2010)

O agronegócio entra com quase 23% do PIB brasileiro e cerca de 37% dos empregos do país estão ligados a ele seja de forma direta.

“O agronegócio brasileiro gerou R\$942 bilhões em 2011, englobando desde a oferta de insumos para a produção agropecuária até a industrialização e distribuição de bens produzidos, ... O saldo da balança comercial foi de US\$ 77,51 bilhões. O Brasil é o primeiro produtor mundial de açúcar, café e suco de laranja; segundo em soja, carne bovina e laranja; e o terceiro em carne suína e o quarto de milho e frutas.” (ZULLO et al., 2012).

Estes dados nos dão uma ideia da quantidade de pessoas e valores envolvidos na produção agrícola e na pecuária, e que impactam diretamente o país.

Bernardo (2010, p.19) ressalta que um programa adequado de irrigação beneficia a cultura de várias formas gerando no final do processo o aumento de produtividade e conseqüentemente dos lucros. Ao longo do processo a adoção de um programa adequado de irrigação amplia a eficiência no uso de fertilizantes, pode promover uma programação de cultivos de tal sorte que se tenham duas ou mais colheitas por ano, possibilita também o cultivo de culturas mais rentáveis e finalmente minimiza os riscos de investimentos na agricultura, aumentando a demanda de mão de obra fixando o homem no ambiente rural.

2.3.4 – Função matemática, função de produção de uma cultura, receita e custos

A necessidade de se compreender melhor a resposta das culturas à água é antiga, havendo relatos de experimentos já no século XVII (FRIZZONE & ANDRADE JUNIOR, 2005). Desde então e através destes estudos vários pesquisadores desenvolveram modelos matemáticos para tentar expressar as funções de produção evapotranspiração-cultura.

Para isto devemos entender um dos conceitos mais fundamentais da matemática, o de função matemática; que é essencialmente a correspondência entre conjuntos (FLEMMING E GONÇALVES, 2007).

Uma função matemática pode ser definida como:

“Uma quantidade é função de outra quando, para cada quantidade da variável independente x , corresponde a um único valor denominado $f(x)$. O conjunto no qual os valores de x podem ser tomados é chamado de domínio da função, e o conjunto dos valores que f assume para cada x é denominado imagem da função.” (FERREIRA, 2005)

Ou seja, é uma associação de elementos de um conjunto a elementos de outro conjunto, ou utilizando a definição mais formal de Flemming e Gonçalves (2007), vem:

“Sejam X e Y dois subconjuntos dos \mathbb{R}

Uma função $f: X \rightarrow Y$ é uma lei ou regra que a cada elemento de X faz corresponder um único elemento de Y .”

Podemos visualizar esta definição através do exemplo da figura 17 (a), bem como um contra exemplo de uma relação que não é uma função figura 17 (b).

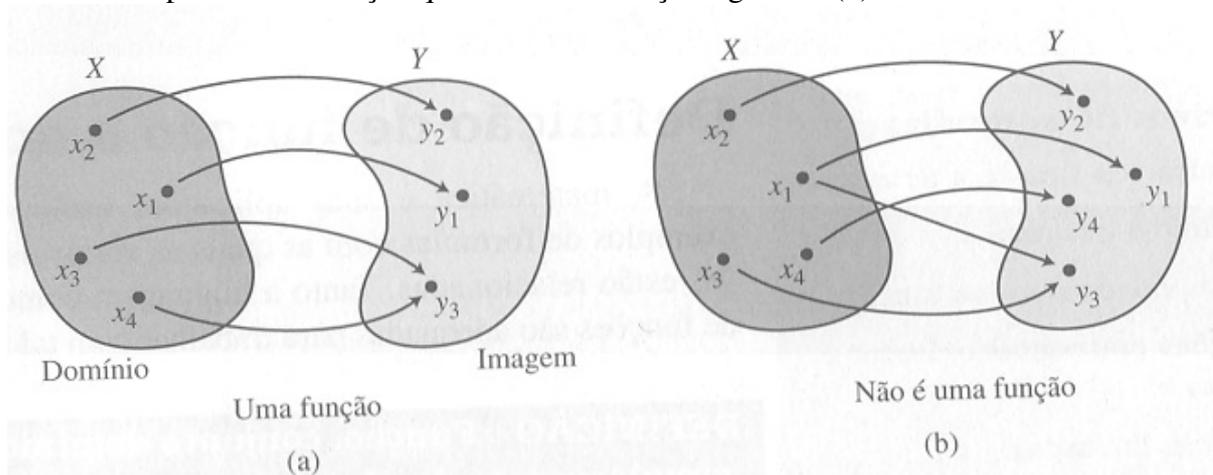


Figura 17 - Relação entre conjuntos X e Y (Fonte Demana, 2009, p. 62)

variam muito; assim se pudermos determinar estas relações para cada cultura, principalmente quanto ao uso de água, que é o objeto deste trabalho, estaremos contribuindo positivamente para um melhor uso de água e de outros insumos agrícolas como o nitrogênio aumentando a produtividade e receita líquida pela redução dos custos.

Frizzone (2005) destaca que o êxito esperado da agricultura irrigada depende de fatores complementares, dentre os quais podem ser reconhecidos de imediato:

- Fertilizantes;
- Defensivos e herbicidas;
- Sementes de bom potencial genético;
- Maquinaria e implementos agrícolas adequados;
- Facilidade de crédito e comercialização dos produtos;
- Disponibilidade de mão de obra;
- Pesquisa aplicada;
- Assistência técnica;
- Educação ambiental;
- Capacitação e organização dos agricultores

Então podemos dizer que a função de produção é uma relação entre produtividade e fatores de produção, ou definindo mais explicitamente:

“... relação física entre as quantidades utilizadas de um certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que se podem obter do produto para uma dada tecnologia conhecida.” (FRIZZONE,2005)

Podemos escrever matematicamente que: $Y_{prod} = Y(U_1, U_2, U_3, \dots, U_n)$, (21)
isto é, a função de produção Y é dependente dos vários insumos U's participantes do processo.

“Considerando o grande número de variáveis que influencia a produtividade das culturas agrícolas e a complexidade das relações que afetam a quantidade e a qualidade do produto, a produtividade pode ser expressa exclusivamente em função da água utilizada pelo cultivo, contanto que os demais fatores da produção permaneçam fixos, em nível ótimo.” (FRIZZONE,2005)

Simplificando vem: $Y_{prod} = Y(W)$; (22)

Onde W; do inglês water, representando que é em função apenas da água.

Quando não existe deficiência quanto a água para irrigação a produtividade máxima se deve principalmente a genética da planta e sua adaptação ao meio ambiente e como a variável água está presente em vários processos da cultura, entre eles a transpiração, a evapotranspiração e a lamina d'água aplicada durante o ciclo da cultura; segundo Frizzone (2005) é mais interessante ao usuário da irrigação expressar as variáveis da função de produção água-cultura utilizando a lâmina d'água aplicada a parcela, mesmo que apenas parte dela seja utilizada no processo de evapotranspiração.

Ele destaca também que as aplicações das funções de produção água-cultura são criticadas por serem empíricas; ficando assim específica daquele local e omitindo efeitos dos outros fatores; mas que são defendidas a sua importância por pesquisadores conceituados como Vaux, Pruitt e Howell (apud Frizoni, ano2005, p.285) entre outros devido a necessidade de se prever sob dadas condições de clima cultivo e operação as produtividades físicas marginais da água a serem utilizadas nas análises econômicas.

“As funções de produção água-cultura são particularmente importantes às análises de produção agrícola quando a água é escassa. Para o processo de planejamento, essas funções constituem o elemento básico de decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente à operação de projetos de irrigação, permitem tomar decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica com base na água disponível.” (FRIZZONE,2005)

Quando temos água em abundância, muitas vezes questões relativas à irrigação são relegadas a um plano inferior não dando a sua devida importância, porém como dito anteriormente e que também será mostrado em outros tópicos, não devemos proceder desta forma; pois podemos salinizar um solo, torna-lo infértil, lixiviar nutrientes devido a uma forma errada de irrigação; ou seja, estamos influenciando e entrando no mérito de questões ambientais e econômicas; assim as funções de produção água-cultura é uma ferramenta importantíssima para análise de produção, pois através delas é que podemos planejar e decidir sobre o cultivo e ocupação da área de produção.

“Na agricultura irrigada, o fator água deve ser otimizado possibilitando, sem maiores riscos, aumentar a utilização dos demais fatores de produção e, por consequência, obterem-se maiores produtividades com uma melhor combinação dos insumos empregados. Para tanto, o conhecimento das funções de produção ou superfícies de resposta é fundamental para auxiliar nas decisões, uma vez que estas funções possibilitam a interação entre os diversos fatores que afetam a produtividade, e escolher as soluções mais condizentes com a realidade regional, permitindo assim o manejo racional da irrigação em bases técnicas e econômicas.” (BERNARDO,2010)

Existem muitos modelos para tentar descrever a função de produção de uma cultura, alguns pesquisadores trabalharam com modelos onde a relação era linear entre a produção da matéria seca com a transpiração como Howell e Hiler (1975), Stewart (1977) e Howell (1990), no nosso caso os modelos não são totalmente prioritários devido ao fato de estarmos utilizando como ferramenta de traçar a curva da função de produção as redes neuronais; assim quanto mais dados o experimento obtiver mais precisa será a curva de função de produção da cultura observada; porém destacamos modelos clássicos como os de DeWit (1958) que buscava identificar os fatores da relação transpiração-produção das culturas; o de Arkley (1963) que inseriu um fator de correção para o clima na equação de DEWit, o modelo de Hanks (1974) que também baseado no modelo de DEWit como base, relacionando a transpiração relativa e produtividade relativa de matéria seca; o modelo de Stewart et al. que estabelece uma relação linear entre diminuição do rendimento e déficit de evapotranspiração, o de Doorenbos e Kassan (1979) que baseado no modelo anterior desenvolvem um método para estimar a relação entre água e rendimento das culturas.

Frizzone (2005) destaca que ao se fazer uma análise econômica das funções de produção para se definir estratégias ótimas de irrigação nos depararemos com três correntes:

- 1) Objetivando o rendimento máximo estabelecendo o nível de água utilizada para tal – isto nos leva a concluir que temos água em abundância não sendo ela um fator limitante;
- 2) Objetivando a maximização do uso de água em relação ao rendimento da cultura – diferentemente do anterior a água é fator limitante;

- 3) Objetivando que a água utilizada seja selecionada no ponto de região econômica de produção em que a produtividade marginal da água seja igual ao seu preço – nesta condição a terra é o fator limitante.

E também que podemos classificar os custos de produção em quatro categorias:

- 1) Custos fixos que não dependem da quantidade de água aplicada como preparação do solo e plantio;
- 2) Custos que dependem indiretamente da quantidade de água aplicada como fertilizantes, controle de pragas e doenças;
- 3) Custos que dependem diretamente da quantidade de água aplicada como custo da água e mão-de-obra para irrigar;
- 4) Custos que dependem diretamente da quantidade produzida como colheita, manuseio, transporte.

Vamos definir agora alguns conceitos econômicos, para posteriormente fazer a junção de água e receita, iniciando com o de receita bruta.

Receita bruta (RB) é o valor monetário que obtemos a partir de uma transação comercial; isto é, decorrente da venda de bens e/ou serviços em um dado período; no nosso caso o valor total que recebemos pela venda dos produtos agrícolas.

$$\text{Receita bruta} = P.D ; \quad (23)$$

onde: P = Número de Produtos,
D = Número de Unidades Vendidas; também chamado de Demanda.

Ele também observa que a relação entre preço e demanda é uma relação linear da forma:

$$P = a - b.D , \quad \text{para } 0 \leq D \leq a/b ; \text{ e } a \text{ e } b > 0 \quad (24)$$

onde : a = ponto de interseção com o eixo dos preços;
b = quantidade onde a demanda aumenta para cada unidade de decréscimo no preço.

Assim podemos reescrever a equação anterior como:

$$D = \frac{a-P}{b} , \text{ com } b \neq 0 , \quad (25)$$

e que

$$RB = (a - bD)D = aD - bD^2 , \quad \text{para } 0 \leq D \leq a/b \text{ e } a \text{ e } b > 0 \quad (26)$$

Pela teoria de máximos e mínimos, para obtermos a demanda máxima D^* , sua derivada tem de ser igual a zero, então:

$$\frac{dRB}{dD} = a - 2bD = 0 , \quad (27)$$

assim

$$D^* = \frac{a}{2b} \quad (28)$$

E que chamamos de receita marginal a derivada da receita bruta em relação a demanda, ainda pelo cálculo diferencial deveremos ter esta derivada negativa; assim derivando novamente vem:

$$\frac{d^2RB}{dD^2} = -2b \quad (29)$$

O outro conceito que iremos abordar é o custo; que podem ser fixos ou variáveis.

- 1) Custos fixos - são aqueles que como o nome mesmo diz são fixos em relação ao processo, ou seja, não sofrem alteração em decorrência do aumento ou da diminuição da produção; como por exemplo: aluguel, vigilância, etc....;
- 2) Custos variáveis - são aqueles que dependem diretamente do volume produzido ou volume de vendas efetivado num determinado período; como por exemplo: Comissões, Matérias-Primas, Insumos produtivos como água, eletricidade, etc....

E definimos custo total como sendo a soma dos custos fixos + custos variáveis.

$$C_T = C_F + C_V; \quad (30)$$

E também que o custo variável é o produto do custo variável unitário (cv) pela demanda; isto é:

$$C_V = cv.D \quad (31)$$

Juntando estes conceitos e observando o gráfico da figura 19, podemos finalizar a análise com as equações a seguir.

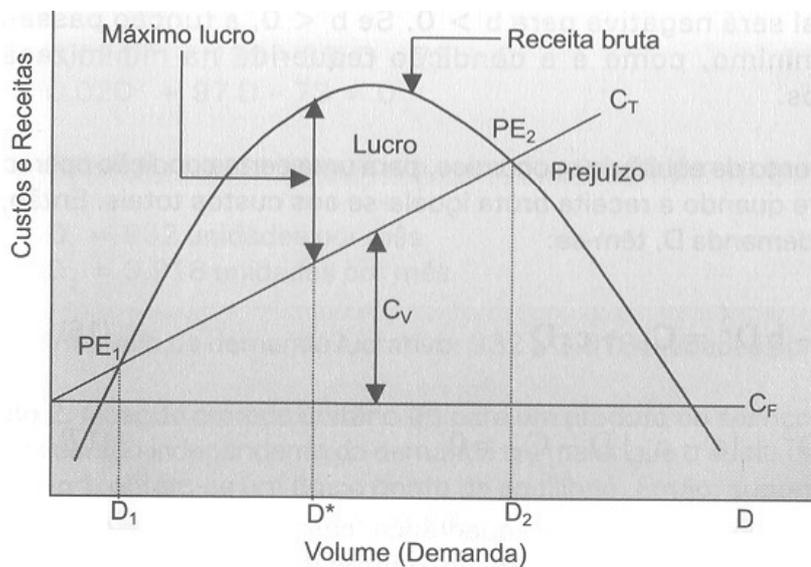


Figura 19 - Funções de custo, receita bruta e ponto de equilíbrio (fonte Frizzone, 2005, p. 227)

Os pontos chaves da análise são:

PE₁, que é o ponto de equilíbrio inferior que é o ponto onde para se ter lucro devemos aumentar a demanda;

PE₂, que é o ponto de equilíbrio superior, é exatamente o contrário, isto é, para se ter lucro devemos diminuir a demanda;

E o ponto de máximo lucro D*

Finalmente o interesse de todos é o lucro líquido máximo; sabendo:

O lucro total – LT é igual a receita total menos os custos totais

$$LT = RB - C_T \quad (32)$$

Podemos reescrever como:

$$LT = (aD - bD^2) - (C_f - cv.D) \quad (33)$$

Rearrmando os termos:

$$LT = -C_f + (a - cv)D - bD^2 \quad (34)$$

Para termos lucro e como a nossa equação é do segundo grau, teremos duas raízes, ou seja, que satisfazer duas condições:

- 1) $(a - cv) > 0$: O preço unitário para demanda zero tem que ser maior que o custo variável unitário para evitar que a demanda seja negativa; e
- 2) A receita bruta tem que ser maior que o custo total no período observado.

Novamente nos valendo do cálculo para obter o lucro máximo vem:

$$\frac{dLR}{dD} = a - cv - 2bD = 0, \quad (35)$$

Então o valor que maximiza o lucro é:

$$D^* = \frac{a - cv}{2b} \quad (36)$$

E derivando novamente para verificar que a segunda derivada seja negativa vem:

$$\frac{d^2 LR}{dD^2} = -2b \quad (37)$$

Encerramos assim devidamente justificada a análise econômica e iniciaremos a análise da irrigação.

Correntemente, é aceito que a irrigação necessária é a quantidade de água necessária para atingir o máximo potencial de produção. Sabemos também que não podemos irrigar toda área de forma uniforme, isto implica em não se poder atingir o máximo produtivo em toda a área cultivada.

Uma análise matemática típica que é feita considerando que w_m é a lâmina de água aplicada (mm) capaz de promover a maior produtividade média e a função de produção Y , que é uma relação funcional entre os vários insumos (U) e produto; considerará apenas a água, assim poderemos escrever que $y(w)$ é a função de produção água-cultura por unidade de área ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Voltando ao conceito de máximos e mínimos do cálculo diferencial, vem:

$$\frac{\partial y(w)}{\partial w} = 0 \quad (38)$$

E considerando que a função $y(w)$ é um polinômio de 2º grau, temos:

$$y(w) = r_0 + r_1 w + r_2 w^2, \quad (39)$$

Assim:

$$\frac{\partial y(w)}{\partial w} = r_0 + r_1 w + 2r_2 w \rightarrow w_m = -r_1 / 2r_2 \quad (40)$$

Substituindo vem:

$$y(w_m) = r_0 - \frac{r_1^2}{4r_2} \quad (41)$$

“A receita bruta da unidade técnica é igual à produção da cultura multiplicada pelo preço do produto. Assim, as funções de produção água-cultura e de receita bruta tem a mesma forma geral. Portanto a quantidade de água que maximiza a produção por unidade de área (w_m) também maximiza a receita bruta. Neste ponto, a eficiência marginal da utilização de água é zero, uma vez que a aplicação de um volume adicional de água não produz acréscimo na produção” (FRIZZONE, 2007).

Ora se a quantidade de água for inferior a w_m , a eficiência marginal de um incremento de água será maior então que zero, pois produzirá um incremento de produção; ou seja, a eficiência marginal é inversamente proporcional a quantidade de água aplicada. Assim a irrigação parcial aumenta a eficiência do uso da água; conforme a figura 20.

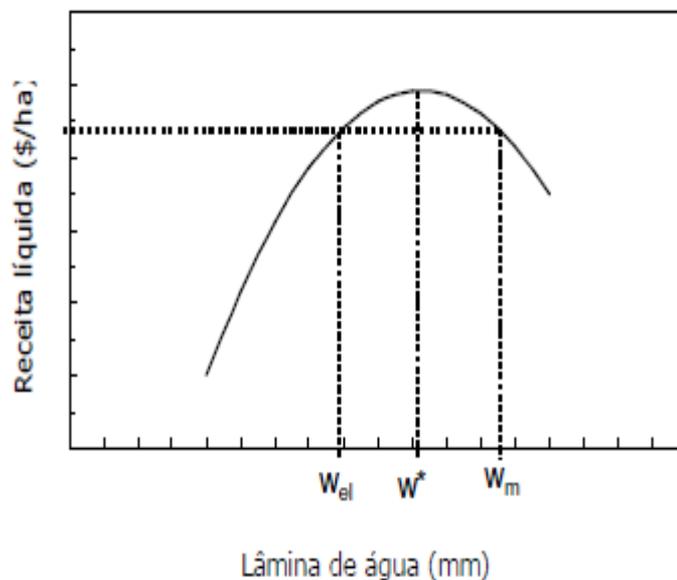


Figura 20 – Intervalo para o manejo racional (Frizzone, 2007)

Frizzone diz que: “A relação entre a quantidade de água aplicada e o custo total de produção denomina-se função custo e pode ser representada por uma linha reta.” Assim podemos reescrever a função custo total de produção em relação a água como sendo:

$$c(w) = c_o + h(w) + c_w \cdot w \quad (42)$$

Onde:

- c_o = custos fixos de produção por unidade de área ($R\$.ha^{-1}$),
- $h(w)$ = custos que dependem indiretamente da quantidade de água aplicada ($R\$.ha^{-1}$)
- c_w = custos que dependem diretamente da quantidade de água aplicada ($R\$.m^{-3}$)
- w = volume de água aplicada por unidade de área ($m^3 \cdot ha^{-1}$).

Considerar fixos os custos c_o e $h(w)$ constantes temos que:

$$c(w) = c_f + c_w \cdot w, \quad (43)$$

e que a receita líquida com área irrigada x pode ser expressa da seguinte forma:

$$Z(w) = x(py(w) - c_o - h(w) - c_w \cdot w), \quad (44)$$

assim:

$$Z(w) = x(py(w) - c_f - c_w \cdot w) \quad (45)$$

Para maximizar a receita líquida, Frizzone em 1986 utilizou uma aproximação analítica para otimizar a irrigação. Ele pegou a receita líquida por área e determinou a lâmina de água que maximiza $Z(w)$, isto é, temos a derivada primeira igual a zero, resultando em:

$$\frac{\partial Z(w)}{\partial w} = \frac{c_w}{p}; \quad (46)$$

Observe que ele continua a utilizar o insumo água como única variável.

Chamando a receita líquida maximizada de w^* , a qual é inferior a w_m , temos a declividade da reta de custo igual a declividade de custo da receita bruta.

Para uma quantidade de água maior que w^* , a reta de custo tem uma declividade (reta tangente ao ponto) maior que a curva de receita bruta.

Observando o intervalo entre w^* e w_m , conforme figura 20, ele pode se beneficiar da redução de custos, pois utiliza uma menor quantidade de água, reduzindo o capital e alguns custos fixos tais como eletricidade para as bombas de irrigação ou o diesel dos geradores elétricos.

Desejamos então:

$$\max Z(w) = x(py(w) - c_f - c_w \cdot w) \quad (47)$$

Que é o objetivo do produtor; assim uma estratégia de maximização de lucro permitirá utilizar menos água por unidade de área que a de maximização da produção. Observe que a quantidade ótima de água representa apenas um ponto sobre a curva de produção, que na prática tem pouco significado, o que normalmente se faz é definir uma faixa de lâmina de irrigação no qual a receita líquida é maior que a obtida com irrigação para a máxima produção.

A literatura tem mostrado que em certas circunstâncias, as economias do déficit de irrigação se encontram na eficiência da irrigação aumentada, nos custos reduzidos de irrigação e nos custos oportunos da água (ENGLISH, M.J., et al. 1990). Adicionalmente, uma decisão que usa menos água pode permitir ao produtor reduzir o capital e outros custos fixos. A experiência prática diz que quando a terra constitui um fator limitante à produção, a utilização de irrigação com déficit permite um maior retorno econômico que a irrigação completa (SANCHEZ DELGADO, A.R.; et al. 2010).

Isto pode ser visualizado com o auxílio da figura 20, onde observamos que existe um intervalo de lâmina de água onde a irrigação com déficit é mais rentável que a irrigação plena. O limite inferior é nomeado w_{el} o qual resulta numa receita líquida equivalente aquela produzida por uma quantidade de água w_m .

Outra análise que podemos fazer é que no intervalo entre w_m e w_{el} , se a amplitude é muito grande o risco associado à decisão é relativamente pequeno, e um intervalo pequeno implica que tem de ser tomado um grande cuidado no manejo da irrigação; e o valor ótimo neste intervalo é nomeado por w^* e é obtido pela equação:

$$\left(\frac{dy}{dw} p \right) = c_w \quad (48)$$

Se utilizarmos o mesmo polinômio de segundo grau que representa a função de produção água-cultura:

$$r_1 + 2r_2 w = \frac{c_w}{p} \rightarrow w^* = \frac{c_w - p r_1}{2r_2 - p} \quad (49)$$

Qualquer quantidade de água entre w_{el} e w_m produzirá uma receita líquida por unidade de área maior que a obtida pela irrigação plena. O valor de w_{el} , para o qual a receita líquida é igual aquela que se consegue com w_m , é obtido pela solução do seguinte conjunto de equações:

$$Z(w_{el}) = x(py(w_{el}) - c_f - c_w \cdot w_{el}) \quad e \quad (50)$$

$$Z(w_m) = x(py(w_m) - c_f - c_w \cdot w_m) \quad (51)$$

Substituindo $y(w_m)$ e $y(w_{el})$ nas equações anteriores, a quantidade de água w_{el} é encontrada para $Z(w_{el}) = Z(w_m)$ o que resulta em:

$$pr_2 w_{el}^2 + (pr_1 - c_w) w_{el} + \left(\frac{pr_1^2}{4r_2} - \frac{c_w r_1}{2r_2} \right) = 0 \quad e \quad (52)$$

Usando a formula de Báskara temos os coeficientes a, b c da seguinte forma:

$$a = pr_2, b = (pr_1 - c_w), c = \left(\frac{pr_1^2}{4r_2} - \frac{c_w r_1}{2r_2} \right) \quad (53)$$

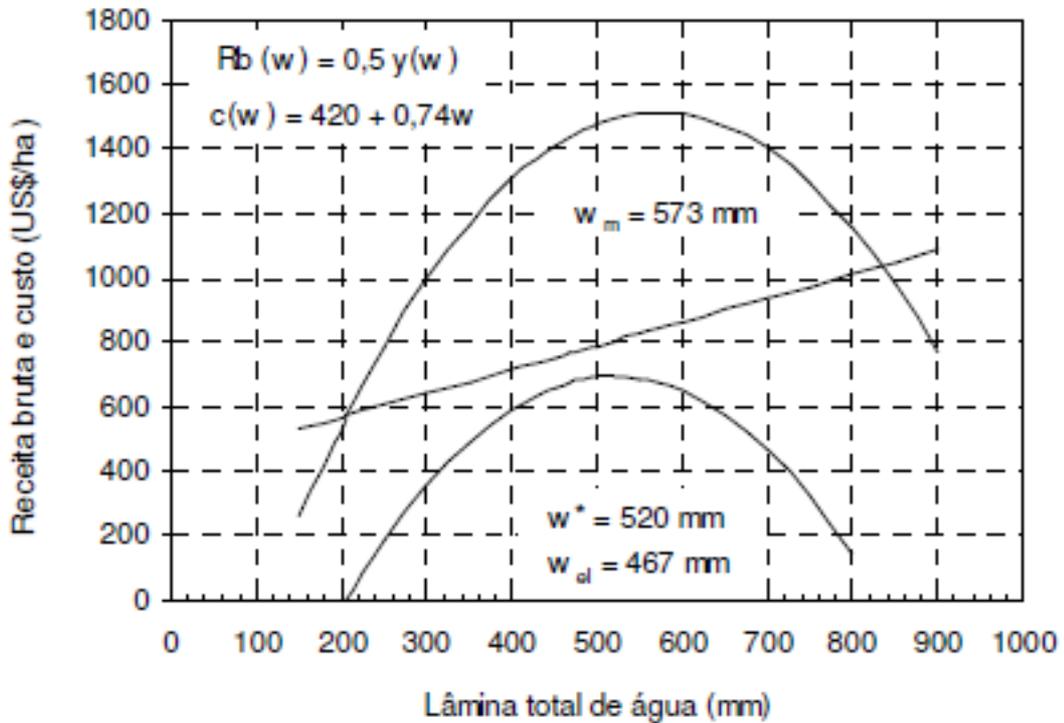


Figura 21 - Custos, receita bruta e receita líquida para a produção do feijoeiro (Fonte Frizzone, 2007)

Nosso modelo não faz uso dessa metodologia e comprovamos que chegamos ao mesmo resultado; observamos também que o tempo todo se trabalhou com função de apenas uma variável, a água, se inserirmos outros insumos a complexidade irá aumentar bastante; o que não importa muito na nossa metodologia além do fato de se poder trabalhar com funções de produção não tão bem comportadas como uma parábola.

2.3.5 – Meio ambiente

É destaque constante na mídia, a poluição dos rios, lagos, córregos sem maiores preocupações com as consequências presentes e futuras, por parte de indústrias, da população e do Estado. Assim se quebra o frágil equilíbrio planetário que afeta a vida e a sobrevivência de populações e espécies animais devido à ignorância e/ou ganância de muitos. A velocidade da degradação do meio ambiente é inversamente proporcional à conscientização da população e à própria educação ambiental. Hoje gastaríamos mais que o dobro do tempo para consertar o que poluímos nestas últimas décadas.

Assim unindo novamente os tópicos anteriores com o atual, vem a pergunta: Existe agricultura sem água? Será que é devido a muitos de nós agora estarmos vivendo em grandes metrópoles, já a muitos anos, onde os alimentos são encontrados com fartura nos supermercados é que não nos preocupamos com a fome (pelo menos a nossa!) e a água que consumimos e desperdiçamos? E esta fartura de alimentos nos supermercados se sustentará

até quando? Existe um limite para a produção de alimentos? Se é por ignorância devemos esclarecer sobre estes assuntos.

Hoje enfrentamos ameaças com o aquecimento global, as mudanças climáticas e a desertificação, entre outros problemas. Infelizmente, práticas de desperdício equivocadas são generalizadas, assim como a permanência de um senso comum sobre o uso da água, este recurso natural precioso e ainda abundante, como se sua qualidade e quantidade não estivesse ameaçado.

“Bosques de carvalho estão desaparecendo com os seres humanos convertendo-os em campos agrícolas, pastagens e habitação. Não só os carvalhos cortados para dar espaço para as atividades humanas que são afetados, os que permanecem são vulneráveis a uma série de alterações em sua habitat. A conversão agrícola geralmente altera a distribuição de água no local, tornando-o menos adequado para carvalhos e mais desejável para muitas espécies invasoras. Enquanto na Califórnia os bosques de carvalho são naturalmente secos no verão, devido ao clima mediterrânico, a irrigação agrícola é frequentemente mais intensa durante essa época do ano, colocando uma forte pressão sobre a raiz do carvalho. Áreas da Califórnia que já foram cobertas com bosques de carvalho provaram ser particularmente favoráveis para o cultivo de uvas para vinho de crescimento e muitos hectares foram rapidamente convertidos para vinhas. Ecossistemas florestais inteiros de bosques de carvalho foram eliminadas ou fragmentado, com esta recente expansão da vinho cultura ("vineyardization").” (SLY et all, 2012)

Continuamos a desmatar as florestas prejudicando as nascentes, extinguindo espécies e pondo em perigo muitas outras; o despejo de poluentes cada vez mais nocivos nos rios, lagos e mares e, por último, a impunidade quanto aos crimes ambientais, a inobservância da legislação e o desrespeito ao ambiente e à vida, também hoje, no Brasil, preocupa a aprovação de código florestal que foi bastante influenciado pelo poder econômico de grandes conglomerados favoráveis a exploração irracional dos recursos naturais. Quando existe corrupção administrativa e política, dentro dos órgãos de preservação e fiscalização ambiental, e quando existe também, irresponsabilidade do poder público, seja nas esferas federal, estadual e/ou municipal, este cenário com as questões ambientais é fortemente agravado.

A solução, ou pelo menos para mitigar o problema, exige o despertar da consciência ecológica desde muito cedo nas nossas crianças; para os adultos serem bombardeados com muita informação, mostrando os erros do passado; e para as empresas incentivos fiscais para a preservação e pesadas multas para os que visam somente saquear a natureza sem um pensamento de sustentabilidade.

Este problema não é privilégio de apenas um país ou região; Haddock (2012) questiona: “Conseguirá o Mar Morto Sobreviver?”; A pergunta é mais incisiva do que parece, ele denuncia que: “jordanianos, israelenses, sírios e libaneses estão retirando tanta água doce da bacia do Rio Jordão que quase nada chega ao mar Morto. Suas águas estão baixando a razão de 1 metro por ano e em certos lugares a margem se afastou mais de 1 km e que cerca de mais de 3 mil perfurações feitas por israelenses e jordanianos para extração de minerais valiosos aceleram o seu declínio.”

O cientista ambiental Jonathan Foley, diretor do Instituto de Meio Ambiente da Universidade de Minnesota escreveu um artigo publicado na Scientific American edição Brasil logo após o encontro mundial ambiental da RIO+20, ocorrido no Rio de Janeiro,

construiu um gráfico que nos obriga a pensar sobre os limites do planeta; os quais segundo ele, 3 já foram excedidos.

Foley (2012) trabalha com oito principais limites, que podem ser vistos na figura 22, e do mesmo artigo também reproduzimos uma tabela como ele mesmo diz: “Em Busca de Saídas” onde a partir do conhecimento do problema e tomadas as ações decisivas, conseguiremos manter o planeta dentro do limite sustentável.

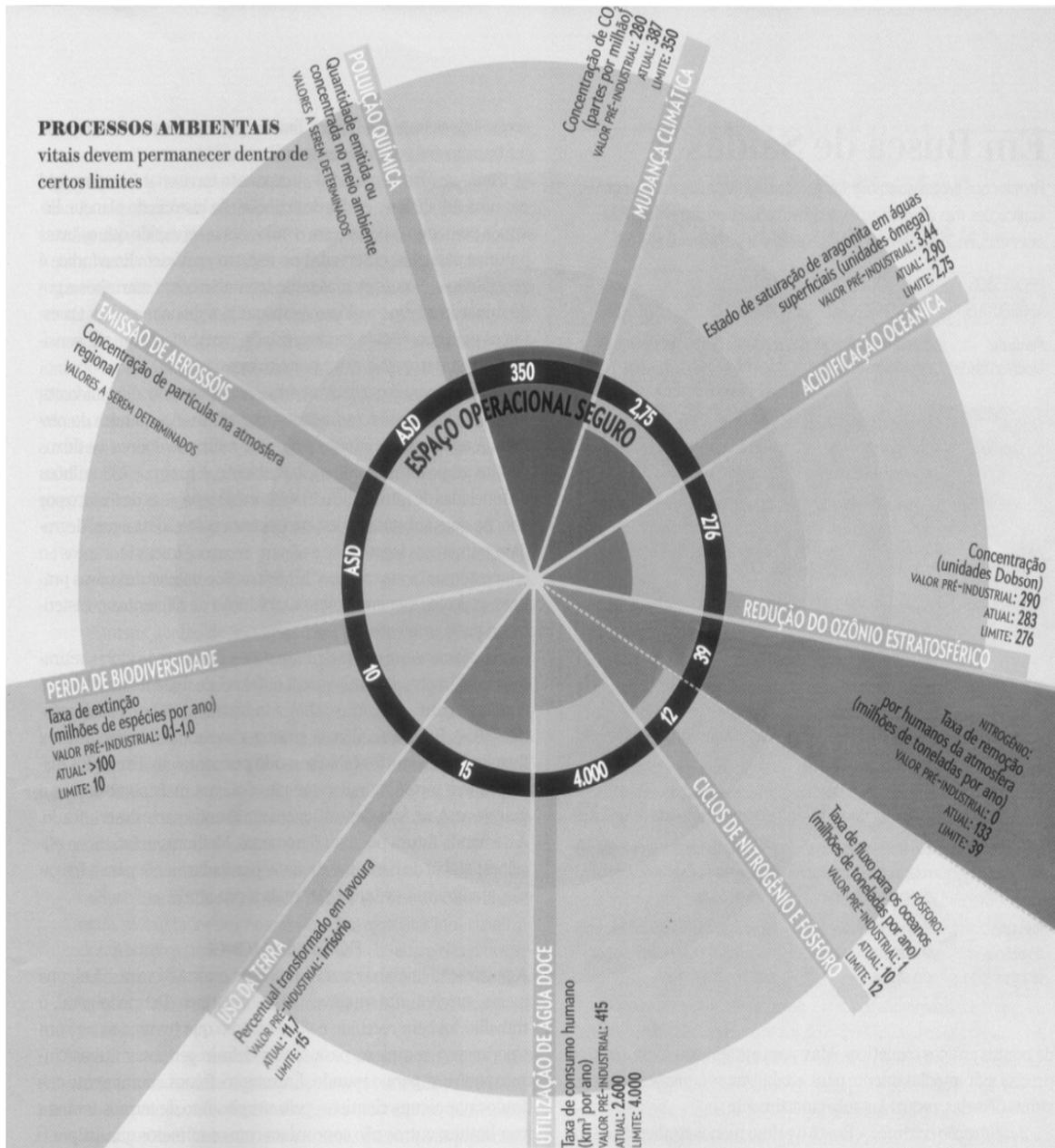


Figura 22 - Limites para um planeta sustentável - Scientific American Brasil ed. 48 p. 25.

PROCESSOS AMBIENTAIS	CONSEQUÊNCIAS DA TRANSPOSIÇÃO	SOLUÇÕES POSSÍVEIS
Perda de biodiversidade	Ecossistemas terrestres e oceânicos colapsam	Redução do desmatamento e o desenvolvimento de terras; pagar por serviços de ecossistemas
Ciclo do nitrogênio	Zonas mortas oceânicas e de água doce expandem-se	Redução da utilização de fertilizantes; processamento de dejetos animais; adoção de veículos híbridos
Ciclo do fósforo	Cadeias alimentares oceânicas são interrompidas	Redução da utilização de fertilizantes; processamento de dejetos animais; processamento eficiente de refugos humanos
Mudança climática	Geleiras e gelo polar derretem; mudanças climáticas regionais	Adoção de energia e combustíveis de baixo teor de carbono; taxaço das emissões de carbono
Uso da terra	Ecossistemas falham; dióxido de carbono escapa	Limitação da expansão urbana; melhoria da eficiência agrícola; pagamento por serviços de ecossistemas
Acidificação oceânica	Microrganismos e corais morrem; precipitação de carbono diminui	Adoção de energia e combustíveis de baixo teor de carbono; redução do escoamento superficial de fertilizantes
Utilização de água doce	Ecossistemas aquáticos colapsam; suprimentos de água desaparecem	Melhoria da eficiência da irrigação; instalação de dispositivos de baixo fluxo de água
Redução do ozônio estratosférico	Radiação prejudica seres humanos, animais e plantas	Eliminação dos hidroclorofluorcarbonos (HCFCs); teste de efeitos de novas substâncias químicas

Figura 23 - Ações corretivas- Scientific American Brasil ed. 48 p. 26

O cientista ambiental e político David Orr (2005) diz que a biofilia é a nossa maior esperança verdadeira para o futuro, explicando as razões de um despertar ecológico a nível mundial; ela é natural nos povos que cultuam a natureza e sabem que por fazermos parte dela não podemos destruí-la. Comungamos com ele quando define que todos devemos ser alfabetizados ecologicamente; Fritjot Kapra et al. (2006) em seu livro destaca também esta importância e afirma categoricamente que a “natureza sustenta a vida” assim devemos agir visando uma sustentabilidade ecológica.

“Costuma-se definir comunidade sustentável como aquela “capaz de satisfazer as suas necessidades e aspirações sem diminuir as chances das gerações futuras”. Essa é uma exortação moral importante. Ela nos faz lembrar da responsabilidade que temos de deixar para os nossos filhos e netos um mundo com tantas oportunidades quanto o que herdamos”. (KAPRA, 2006)

Várias organizações internacionais já vêm trabalhando e disponibilizando dados já a bastante tempo sobre a criticalidade que estamos colocando o planeta. Neste trabalho além de despertar esta consciência biofílica, gostaríamos de chamar a atenção para uma melhor utilização do recurso natural água; dados obtidos da Organização das Nações Unidas - ONU, que vem trabalhando ativamente neste sentido já a várias décadas, nos preocupa bastante que ela diz que no último meio século a disponibilidade de água por ser humano diminuiu 60%, enquanto que a população aumentou 50%. A preservação dos recursos hídricos é fundamental, sendo que a poluição da água é um dos principais problemas a enfrentar. Ainda citando os autores Reichardt e Timm, (2008), eles classificam os diversos tipos de poluentes da água em três grupos:

- 1) Produtos biodegradáveis e substâncias orgânicas em geral;
- 2) Produtos químicos (minerais, metais pesados, ácidos e bases);
- 3) Produtos orgânicos não degradáveis (plásticos, detergentes, pesticidas, produtos da indústria petroquímica).

No caso dos produtos biodegradáveis (grupo 1) para que a sua decomposição ocorra o oxigênio dissolvido na água é subtraído, causando grande impacto na fauna e na flora. Quanto aos produtos químicos e aos produtos orgânicos não degradáveis estes entram na cadeia de alimento dos ecossistemas em determinadas fases, podendo chegar ao homem e causar intoxicação com metais pesados.

No caso das águas paradas ou semi-paradas observamos o problema da eutroficação, que é o aumento de íons na água, sobretudo por nutrientes como o nitrogênio e fósforo. Tal fenômeno provoca o desbalanceamento do ecossistema fazendo com que certas plantas, tais como as algas, se desenvolvam mais que as outras, modificando as condições de oxigenação, penetração de luz, temperatura, fauna e flora. Este processo muitas vezes chega a ser irreversível, ou no mínimo requer o dispêndio de grandes somas de dinheiro para a recuperação da qualidade da água.

É importante salientar que a própria agricultura tem contribuído negativamente para a contaminação dos recursos hídricos e diminuição da água potável disponível, devido ao uso de técnicas inadequadas de plantio e mesmo irrigação. Sabemos que uma irrigação descontrolada pode provocar a dispersão no sistema coloidal do solo, alterando suas propriedades físicas, e assim determinar sua salinização e torná-lo infértil. O Vale Imperial, na Califórnia, que já foi considerada a região mais produtiva do planeta nas décadas de 1960-1970, hoje, encontra-se ameaçado de salinização em decorrência das práticas de irrigação adotadas. (REICHARDT e TIMM, 2008)

“...o emprego de águas de qualidade inadequada para irrigação pode resultar em prejuízos inestimáveis para o sistema produtivo e, principalmente, para o meio ambiente. O quadro atual dos solos afetados por sais em escala mundial – com uma estimativa de que quase 400 milhões de hectares de terras agricultáveis estejam afetados, em algum grau, pela salinização – vem aumentando progressivamente com a intensificação das práticas de irrigação, o que poderá levar a uma drástica diminuição na produção de alimentos e fibras, com conseqüente abandono e redução das terras agrícolas.” (AMORIM, 2010)

Da mesma forma, os fertilizantes, inseticidas e herbicidas utilizados na agricultura de forma exagerada, devido a sempre crescente demanda de alimentos, muitas vezes chegando as águas subterrâneas, que também é uma forma de contaminação dos recursos hídricos, dos quais a agricultura tanto depende.

Resumindo, podemos estabelecer uma relação intrínseca entre a importância da agricultura, a necessidade da água como mantenedora da vida e a crescente demanda por uma política e gestão pública comprometidas com o bom uso dos recursos naturais. Assim, procuramos demonstrar a importância da questão de uso adequado dos recursos hídricos na agricultura para a própria sobrevivência da humanidade.

Novas técnicas e produtos que melhorem o que já era feito desde a pré-história, inovando tecnologicamente, seja com a utilização de ferramentas informatizadas, educação ambiental e políticas públicas, podem auxiliar os produtores rurais na escolha das melhores

opções de manejo do solo, visando a otimização dos recursos e ampliação da produção, e é claro sempre se preocupando com a conservação do meio ambiente.

O uso de novas tecnologias da informação pode auxiliar o produtor agrícola na otimização da gestão dos recursos hídricos necessários ao consumo e irrigação, entre tantas outras demandas da produção agropecuária, contribuindo para a sua sustentabilidade econômica.

Assim, vimos que desde a pré-história, a inovação tecnológica é essencial para o aprimoramento não só da produção agrícola, mas envolve todo o fazer humano, mas que temos que ter cuidado com o uso dos nossos recursos hídricos.

Ao analisar o problema que enfrentamos tanto quanto ao crescimento da população, quanto à disponibilidade de água, tomamos consciência da necessidade de reduzir os percentuais de consumo de água, principalmente no que tange ao desperdício, economizando este recurso cada vez mais escasso, seja pela educação, quanto por técnicas, principalmente agrícolas, percebe-se um quadro de escassez de água própria para o consumo humano e para a produção agropecuária. Esse problema aponta para uma intervenção no real via recursos tecnológicos com base no conhecimento científico visando a satisfação de necessidades que a humanidade se coloca.

Esclarecendo estes conceitos iniciais, explicaremos posteriormente o campo de atuação da pesquisa e a proposta de investigação do INTELIAGRI, apresentando as bases científicas e tecnológicas do trabalho.

Os tópicos a seguir, que tangem a área da modelagem auxiliada pelo computador, tratam da tecnologia usada no INTELIAGRI, envolvendo a utilização de ferramentas de inteligência artificial, análise matemática e tomada de decisões.

Os economistas designam as relações existentes entre produtividade e os fatores de produção pelo termo ‘função de produção’, definida da seguinte forma:

“relação física entre quantidades utilizadas de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que se podem obter do produto, para uma dada tecnologia conhecida.” (FRIZZONE e ANDRADE JÚNIOR, 2005).

Assim, para cada cultura existe o que chamamos de “função de produção água – cultura”, que é a resposta das culturas à irrigação, sendo esta resposta variável de acordo com cada tipo de cultura e os diferentes tipos de solo e clima. O conhecimento da função de produção permite-nos saber quanto de água utilizar para a produção demandada. Esta informação é fundamental para o agricultor, pois reduz seus custos e otimiza a produção.

A água para irrigação tem um custo cada vez mais elevado, pois é cobrada e para ser bombeada através do sistema de irrigação ela usa eletricidade, que também é paga. Assim se o produtor rural bombeia além do que precisa gasta mais com água e eletricidade; se bombeia menos do que o necessário perde em produtividade.

2.3.6 – Ciência, tecnologia e inovação – C,T&I

Trataremos agora é sobre o trinômio: ciência, tecnologia e inovação, o qual devemos nos enquadrar. Nesse sentido, subentende-se que as pesquisas desenvolvidas no Programa de Pós-Graduação em Ciência Tecnologia e inovação em Agropecuária - PPGCTIA articulem conhecimentos científicos e tecnológicos voltados para a inovação das técnicas e práticas agropecuárias visando o aprimoramento e desenvolvimento da produção no setor primário.

“O Brasil, em virtude do momento histórico em que vive, das características de seu território, de sua matriz energética, de sua diversidade regional e

cultural, do tamanho de sua população, e do patamar científico que já alcançou, tem uma oportunidade única de construir um novo modelo de desenvolvimento sustentável, que respeite a natureza e os seres humanos. Um modelo que necessariamente deverá se apoiar na ciência, na tecnologia e na educação de qualidade para todos os brasileiros.” (DAVIDOVICH, 2010)

O governo também considera grande a importância do trinômio C,T,&I; como resultado da 4ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável, elaborou o Livro Azul; e dele retiramos o texto a seguir:

“A ciência, a tecnologia e a inovação são importantes motores da transformação econômica e social dos países. A busca por novas possibilidades de transformar o conhecimento em inovação – e em riqueza, por consequência – envolve hoje inúmeros atores. Não é tarefa apenas de governos, mas do conjunto da sociedade, representada pela academia, setor empresarial, entidades de categorias profissionais, entidades do terceiro setor, entre outros.” (BRASIL, MCT, 2010)

Para entender o significado dos termos, julgamos necessário começar com algumas definições do que vem a ser Ciência, Tecnologia e Inovação. Iniciaremos com o termo ‘Ciência’, derivado do latim *scientia* que significa sabedoria, conhecimento. Entre outros conceitos, ciência pode ser definida como:

“Conjunto de conhecimentos socialmente adquiridos ou produzidos, historicamente acumulados, dotados de universalidade e objetividade que permitem sua transmissão, e estruturados com métodos, teorias e linguagens próprias, que visam compreender e, poss., orientar a natureza e as atividades humanas.” (FERREIRA, 2004).

A ciência seria esse conjunto de conhecimentos racionais, obtidos metodicamente, sistematizados e verificáveis. O conhecimento científico é obtido conforme exigências metodológicas, mediante regras lógicas e procedimentos técnicos, que consideram os conceitos, hipóteses e definições, portanto, ele é sistematizado, constituindo-se em saber ordenado logicamente, em uma teoria ou sistema de ideias, verificável e comprovável. (LAKATOS & MARCONI, 1991, p.19)

Cabe-nos, entretanto, ressaltar que o conhecimento científico é marcado pela provisoriade, não sendo possível atribuir a ele a certeza indiscutível, mas sim a certeza verificada e comprovada pelos dados obtidos no processo investigativo, visto que ao lado dos conhecimentos certos, é grande a quantidade de prováveis, pois toda lei indutiva é meramente provável, por mais elevada que seja sua probabilidade.

Segundo Lakatos e Marconi (1991, p.19), a busca do homem pela ciência é impulsionada pela necessidade de compreender a cadeia de relações que se esconde por trás das aparências sensíveis dos objetos, fatos ou fenômenos, e dessa forma descobrir os princípios explicativos que servem de base para a compreensão da organização, classificação e ordenação da natureza em que está inserido.

Vemos assim que a ciência se configura tanto como um sistema de adquirir conhecimento tendo como base o método científico, quanto como o corpo organizado de conhecimentos obtido através desse processo. Assim, podemos considerar que estamos fazendo ciência, pois estamos adquirindo conhecimento baseado no método científico e

baseando nossas conclusões, obtidas através dos resultados de pesquisas e experimentações específicas sobre o objeto investigado, ancorado nos estudos anteriormente realizados por outros pesquisadores, socializados mediante publicações científicas (pesquisa bibliográfica) referenciadas.

O segundo termo a ser definido é tecnologia; e utilizando novamente a definição de Ferreira (2004), vemos que o vocábulo se origina do grego *technología* que significa ‘tratado sobre uma arte’. Tecnologia seria um:

“conjunto de conhecimentos específicos, princípios científicos, que se aplicam a um determinado ramo de atividade. A totalidade desses conhecimentos.” (FERREIRA, 2004).

Utilizaremos técnicas de inteligência artificial na construção do INTELIAGRI, e para tal, as mesmas requerem conhecimento prévio de suas características para encontrar a melhor solução para o problema. Nesse sentido INTELIAGRI é uma tecnologia e também uma forma de produção de conhecimento científico.

O terceiro e último termo que gostaríamos de definir é inovação, que se origina do latim *innovare*, que significa mudança ou renovação e do latim tardio *innovatione*, que significa ato ou efeito de inovar.

O conceito de inovação é correntemente associado a tecnologia, e assim visando o aperfeiçoamento objetivo do desempenho de um produto ou da maneira como ele é produzido ou distribuído temos a definição de inovação tecnológica. Segundo documento do MEC/SETEC, do ano de 1999, as inovações tecnológicas decorrem de atividades que visam o desenvolvimento e a implantação de produtos ou processos tecnologicamente novos ou aperfeiçoados. Nesse conceito podemos incluir a proposta do INTELIAGRI.

“Inovações tecnológicas correspondem à implementação de produtos e processos tecnologicamente novos e/ou aperfeiçoamentos tecnológicos significativos em produtos e processos. Uma inovação tecnológica pode ser considerada implementada se ela foi introduzida no mercado (inovação de produto) ou efetivamente utilizada no processo de produção (inovação de processo).” (MEC/SETEC, 1999)

Referindo-se à inovação tecnológica, não poderíamos deixar de abordar a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, regulamentada pelo Decreto nº 5.563, de 11 de outubro de 2005, que dispõe de incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. De acordo com GRIZENDI (2011), a referida Lei, resumidamente define:

- a) Inovação como sendo a introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo ou social que resulte em novos produtos, processos ou serviços.
- b) A figura da Instituição Científica e Tecnológica – ICT, que é o órgão ou entidade da administração pública que tenha por missão institucional, dentre outras, executar atividades de pesquisa básica ou aplicada de caráter científico ou tecnológico.
- c) E o Núcleo de Inovação Tecnológica – NIT, que é o núcleo ou órgão constituído por uma ou mais ICT com a finalidade de gerir a sua política de inovação.

Além disso, a inovação pode ser:

- a) Incremental, onde pequenas mudanças e melhorias vão sendo feitas, sem alterar muito fortemente a relação do consumidor com o produto;
- b) Radical, na qual uma grande mudança é feita.

Como exemplo de inovação incremental, podemos citar o uso dos gravadores de DVD de computador, geralmente de dupla camada, isto é podem gravar cerca de 8,4 Gbytes, mas costumeiramente gravamos os arquivos em mídias de camada simples de 4,7 Gbytes. Como exemplo de inovação radical, podemos citar o uso do cd que substituiu a fita cassete, ou a passagem do vídeo cassete para o DVD de vídeo.

Analisando a inovação sob a ótica de onde esta é aplicada, temos a seguinte configuração, que mostra a inovação aplicada ao:

- a) Produto – mudança no atributo do produto, como exemplo podemos destacar a TV convencional versus a TV de alta definição;
- b) Processo – tem a ver com a forma como passa a ser produzido o produto. Por exemplo, se é feito manualmente ou robotizado.
- c) Modelo de Negócio – mudança na forma de como passa a ser negociado um determinado produto, por exemplo, a compra de um software, fisicamente falando com o instalador através de uma mídia, para ser utilizado em casa ou na empresa, versus a utilização do mesmo comercializado via WEB, isto é, utilizado através da internet.

Essa configuração inicial nos permite inquirir ‘Por que inovar?’ Podemos inicialmente responder de uma forma bem simples, visando os interesses econômicos empresariais, afirmar que através da inovação podemos gerar vantagens competitivas, ela agrega valor aos produtos e permite acesso a novos mercados. Nesse sentido, podemos citar como exemplo, os carros com tecnologia de motores avançada, onde temos mais potência com menos consumo de combustíveis fósseis. Outro exemplo é a colocação de catalisadores nos escapamentos dos carros; esta inovação é utilizada por quase todas as montadoras atualmente e visa principalmente poluir menos. Esses dois exemplos agregam valores econômicos à questão ambiental, indicando que a inovação, a tecnologia e a ciência podem e devem estar a serviço do homem, conjugando interesses econômicos, ambientais, sociais, políticos e mesmo existenciais.

É impossível dissociar ciência, tecnologia e inovação, ou em outras palavras, para implementar uma inovação tecnológica é imprescindível a produção de conhecimento científico. Nesse sentido, cabe-nos ainda associar a tecnologia e a inovação à produção do conhecimento, à ciência e ao trabalho, e estes ao próprio desenvolvimento da humanidade, como atividade racional intrinsecamente humana e humanizadora.

“As ciências agrícolas são o componente de maior impacto na elevação da produção científica do País, tornando o Brasil uma liderança mundial no setor. Esta evolução deve-se à consolidação de inúmeros programas de pós-graduação, à importância que a Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária □ tem assumido no cenário nacional e internacional, à iniciativa privada, que, a cada dia, intensifica a utilização de mecanismos de inovação em suas atividades, e, por último, à recuperação recente das instituições estaduais de pesquisa agropecuária.” (BRASIL, MCT, 2010)

O trabalho humano é o ponto de partida para a produção de conhecimentos e de cultura pelos grupos sociais, é uma mediação de primeira ordem no processo de produção da existência e objetivação da vida humana, assumindo uma dimensão ontológica. Segundo Documento do MEC (BRASIL, 2007):

“a história da humanidade é a história da produção da existência humana e a história do conhecimento é a história do processo de apropriação social dos potenciais da natureza para o próprio homem, mediada pelo trabalho. Por isso, o trabalho é mediação ontológica e histórica na produção de conhecimento.” (BRASIL, MEC, 2007, p.42)

Homens e mulheres são seres histórico-sociais que atuam no mundo concreto para satisfazerem suas necessidades subjetivas e sociais e, nessa ação, produzem conhecimentos. A produção do conhecimento, científico e tecnológico, artístico e cultural, é um trabalho humano essencial à preservação da espécie, ao desenvolvimento sócio-cultural e a melhoria das condições de vida e existências humanas. Assim, compreendemos o trabalho como:

“intervenção humana sobre o meio material, isto é, a capacidade de ter consciência de suas necessidades e de projetar meios para satisfazê-las, diferencia o homem do animal, uma vez que este último não distingue a sua atividade vital de si mesmo, enquanto o homem faz da sua atividade vital um objeto de sua vontade e consciência.” (BRASIL, MEC, 2007, p.43)

Dessa forma, é possível compreender o conhecimento como:

“uma produção do pensamento pela qual se apreende e se representam as relações que constituem e estruturam a realidade objetiva. Apreender e determinar essas relações exige um método, que parte do concreto empírico – forma como a realidade se manifesta – e, mediante uma determinação mais precisa através da análise, chega a relações gerais que são determinantes da realidade concreta. O processo de conhecimento implica, após a análise, elaborar a síntese que representa o concreto, agora como uma reprodução do pensamento conduzido pelas determinações que o constituem. (BRASIL, MEC, 2007, p.42)

Assim, a produção de conhecimentos, já devidamente sistematizados, sob o crivo social e por um processo histórico, constitui a ciência. Nesses termos, a compreensão do real como totalidade exige a elaboração de uma metodologia específica, a formulação de teorias que potencializam o avanço das forças produtivas. Assim, a teoria é o real elevado ao plano do pensamento, e sendo assim, os fenômenos existentes como força natural só se constituem em conhecimento quando o ser humano dela se apropria tornando-a força produtiva para si’.

“A ciência, portanto, é a parte do conhecimento melhor sistematizado e deliberadamente expresso na forma de conceitos representativos das relações determinadas e apreendidas da realidade considerada. (...) Conhecimentos assim produzidos e legitimados socialmente ao longo da história são resultados de um processo empreendido pela humanidade na busca da compreensão e transformação dos fenômenos naturais e sociais.” (BRASIL, MEC, 2007, p.44).

Os conceitos e métodos científicos asseguram a objetividade da ciência, e permite a transmissão do conhecimento historicamente acumulado para diferentes gerações. Reafirmamos a provisoriedade dos conhecimentos científicos, que podem ser questionados e superados historicamente, no movimento permanente de construção de novos conhecimentos, como vem ocorrendo ao longo do processo de evolução da ciência. Assim, “a revolução

industrial, seguida do taylorismo, do fordismo, e da automação, expressam a história da tecnologia nos marcos da transformação da ciência em força produtiva.”

“O primeiro desafio é dar continuidade ao processo de ampliação e aperfeiçoamento das ações em C, T&I, tornando-as políticas de Estado. Em segundo lugar, precisamos expandir com qualidade e melhorar a distribuição geográfica da ciência. O terceiro desafio é melhorar a qualidade da ciência brasileira e contribuir, de fato, para o avanço da fronteira do conhecimento. Em quarto lugar, é preciso que Ciência, Tecnologia e Inovação se tornem efetivos componentes do desenvolvimento sustentável, com atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas empresas e incorporação de avanços nas políticas públicas. O quinto desafio é intensificar as ações, divulgações e iniciativas de CT&I para o grande público. E, finalmente, o sexto desafio é melhorar o ensino de ciência nas escolas e atrair mais jovens para as carreiras científicas.” (REZENDE, 2010, p.19)

No bojo da relação entre ciência e tecnologia, vemos que o desenvolvimento das forças produtivas visa “à satisfação de necessidades que a humanidade se coloca, o que nos leva a perceber que a tecnologia é uma extensão das capacidades humanas”. Assim podemos definir tecnologia como “mediação entre ciência (apreensão e desvelamento do real) e produção (intervenção no real)”. (BRASIL, MEC, 2007, p.44).

“Por isso mesmo, o desenvolvimento sustentável requer uma presença crescente da ciência e da tecnologia na produção de alimentos, na melhoria das condições de saúde, na exploração e preservação de recursos naturais, na agregação de valor à produção industrial, na redução da desigualdade social e do desequilíbrio regional, no desenvolvimento de tecnologias sociais. Nesse sentido, a inovação deve buscar sempre as melhores soluções do ponto de vista ecológico, tendo a sustentabilidade como um de seus pressupostos elementares.” (BRASIL, MCT, 2010, p. 28)

Após compreender a importância do trinômio C, T&I, podemos agora fazer a ligação com os tópicos anteriores. É nesse sentido que compreendemos que esta investigação congrega ciência, tecnologia e inovação aplicada a agricultura.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

São descritos neste tópico os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa e a elaboração da ferramenta computacional inteligente – INTELIAGRI.

O INTELIAGRI é composto por um programa principal e cinco subprogramas totalizando 2775 linhas distribuídas em 49 páginas, de código computacional escrito na linguagem de programação do MATLAB.

De experimentos práticos relatados e publicados em trabalhos científicos, dissertações de mestrado e artigos científicos (devidamente citados), foram obtidos os dados empíricos para entrada no sistema INTELIAGRI; ou seja, dados científicos validados em revistas científicas pelos seus pares, assim não foi necessário executar experimentos *in loco*, para testar a ferramenta INTELIAGRI.

Foram obtidos dados das culturas trigo, algodão e melancia que trabalharam utilizando dados apenas da variável água, cujos resultados constam dos anexos 7, 8 e 9, e com as culturas de alface americana e meloeiro utilizando dados das variáveis água e nitrogênio, e devido ao fato de possuímos estes dados de experimentos comprovados cientificamente e metodologicamente por agrônomos, cujos resultados serão descritos no próximo capítulo, foi economizado muito tempo na feitura destes experimentos.

Após os dados serem incluídos no módulo de entrada do INTELIAGRI, através do Matlab, foi executada a ferramenta, obtendo-se as telas que são mostradas detalhadamente no capítulo seguinte resultados e discursão.

Os resultados do processamento são mostrados nas figuras 28 e 33.

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado como equipamento um computador laptop com 3 GB de memória RAM e disco rígido de 640 Gbytes, com processador Intel dual core U2300 com 1.2 GHz de frequência de clock rodando sob o sistema operacional Windows 7 com service pack 1; o programa Matlab versão 7.12.0.635 – R2011 de 32 bits student version, com as toolboxes de otimização, otimização global (algoritmos genéticos), redes neurais, ajuste de curvas, entre outras, que tem papel fundamental neste trabalho.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são mostrados os resultados obtidos pelo INTELIAGRI que serão confrontados com dois outros métodos, o empírico e o Método de Barreira Logarítmica – MBL, na otimização do uso de dois insumos – água e nitrogênio, nas culturas de alface americana e do meloeiro, devido ao fato de termos os dados destes dois métodos para as referidas culturas; porém o INTELIAGRI pode trabalhar com qualquer cultura a várias variáveis, e não apenas a água e nitrogênio.

4.1 – Otimização da Produção de Alface Americana a Duas Dimensões

A partir dos dados empíricos obtidos por Marques Silva et al. (2008) e utilizados por Ventura, Sanchez Delgado e Carvalho (2009) no seu trabalho com o Método de Barreira Logarítmica (MBL), os mesmos serviram de dados de entrada para o INTELIAGRI.

O INTELIAGRI, como já foi dito anteriormente, é um modelo baseado em redes neurais artificiais e algoritmos genéticos, no módulo de RNA os dados utilizados serviram para ver se a rede conseguiria traçar ela própria a função de produção de alface americana em função dos insumos de água e nitrogênio, e obteve resultados próximos ao modelo empírico e também ao MBL, provando assim a eficiência e validando o método.

É importante mostrar as telas obtidas pelo INTELIAGRI, que fazem uso do Matlab e suas ToolBoxes de Redes Neurais Artificiais e de Algoritmos Genéticos; pois uma análise inicial gráfica auxilia bastante tanto na comparação da ferramenta com o método empírico para saber o se a sua resposta é similar, quanto para fornecer uma visão geral do comportamento da cultura quanto aos insumos.

A seguir na figura 24, é apresentada a primeira tela do INTELIAGRI, no momento da sua execução, fazendo o treinamento de uma RNA para a alface americana.

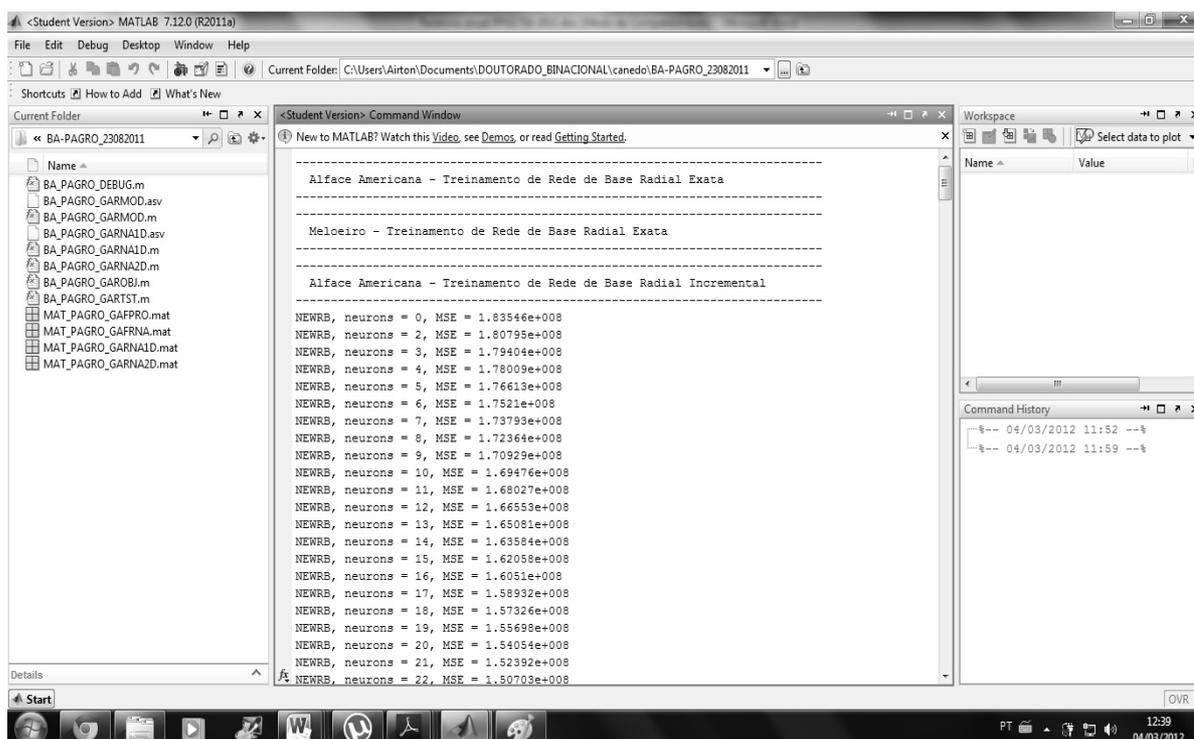


Figura 24 - Treinamento de uma RNA – Função de Produção da Alface Americana

E na figura 25, pode ser visualizada a convergência da curva de aprendizado da RNA para a alface americana (diminuição do erro implica em aprendizagem).

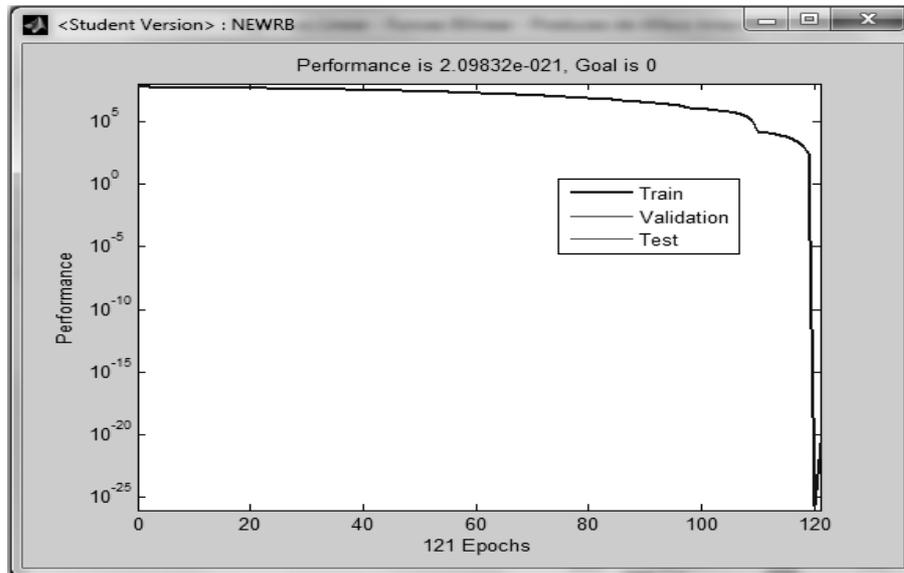


Figura 25 - Curva de aprendizagem da RNA- Função de Produção de Alface Americana

Outra tela do INTELIAGRI mostrada na figura 26 apresenta três gráficos que correspondem respectivamente: (a) apresenta os dados de produção experimental (MARQUES SILVA, 2008), (b) mostra a curva de produção para a alface americana obtida computacionalmente pelo INTELIAGRI, e (c) mostra o erro entre os dados de produção e a função de produção.

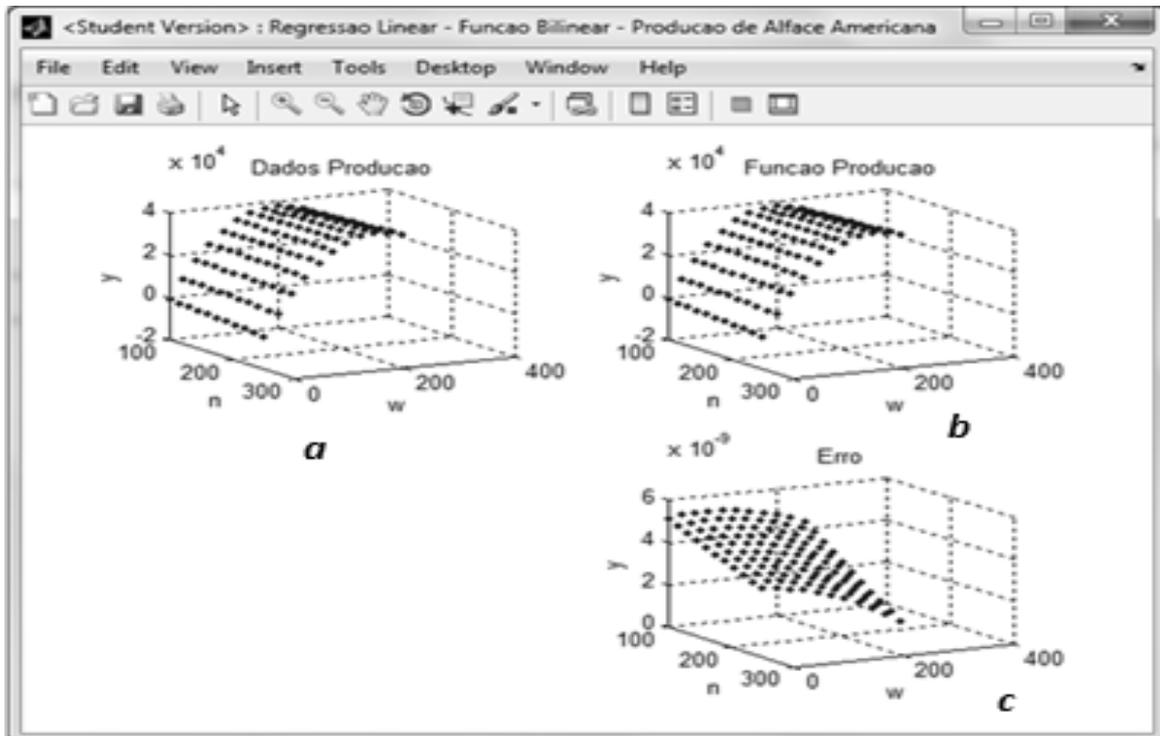


Figura 26 - Função de produção de alface americana – (a) original e (b) obtida computacionalmente

A seguir na figura 27, é mostrada outra tela do INTELIAGRI apresentando o resultado da otimização feito pelo algoritmo genético para determinação do ponto ótimo de produção, isto é aquele que minimiza os custos de produção a fim de maximizar a receita líquida definida como Receita Bruta menos o Custo de Produção.

Nela os 4 gráficos que aparecem representam:

- a função de produção aprendida pela rede neuronal artificial,
- a função de Receita Líquida definida como Receita Bruta menos o Custo de Produção,
- a trajetória de busca do algoritmo genético no espaço para receita líquida em sua busca do ponto ótimo para produção da alface americana,
- a trajetória de busca do algoritmo genético ao longo da superfície de receita líquida em sua busca do ponto ótimo para produção da alface americana.

Os resultados obtidos são compatíveis com os resultados apresentados nas referências que serviram de base para o teste do modelo com redes neurais e algoritmos genéticos.

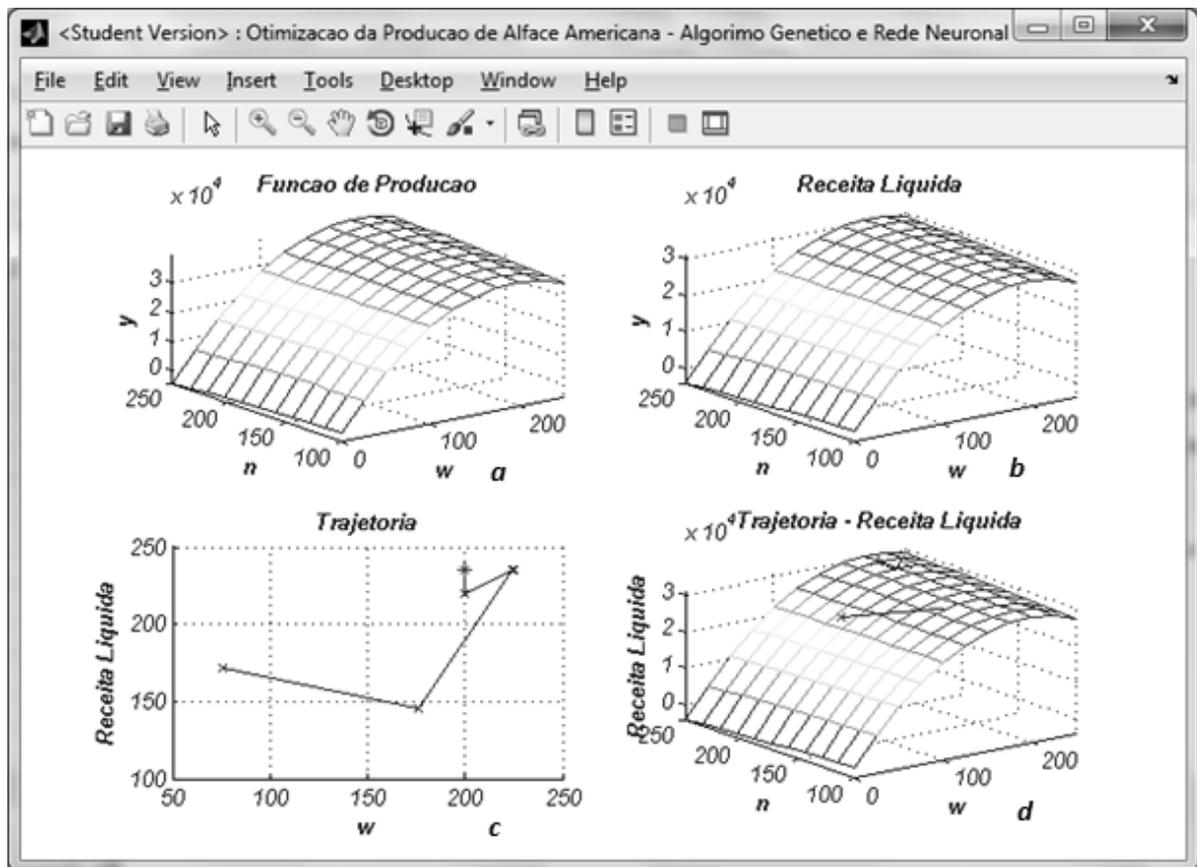


Figura 27 - Determinação do Ponto de Ótimo Alface Americana utilizando a RNA treinada otimizada por um GA.

Na figura 28 é mostrada a tela do INTELIAGRI com o resultado encontrado pelo GA para otimizar água e nitrogênio da alface americana.

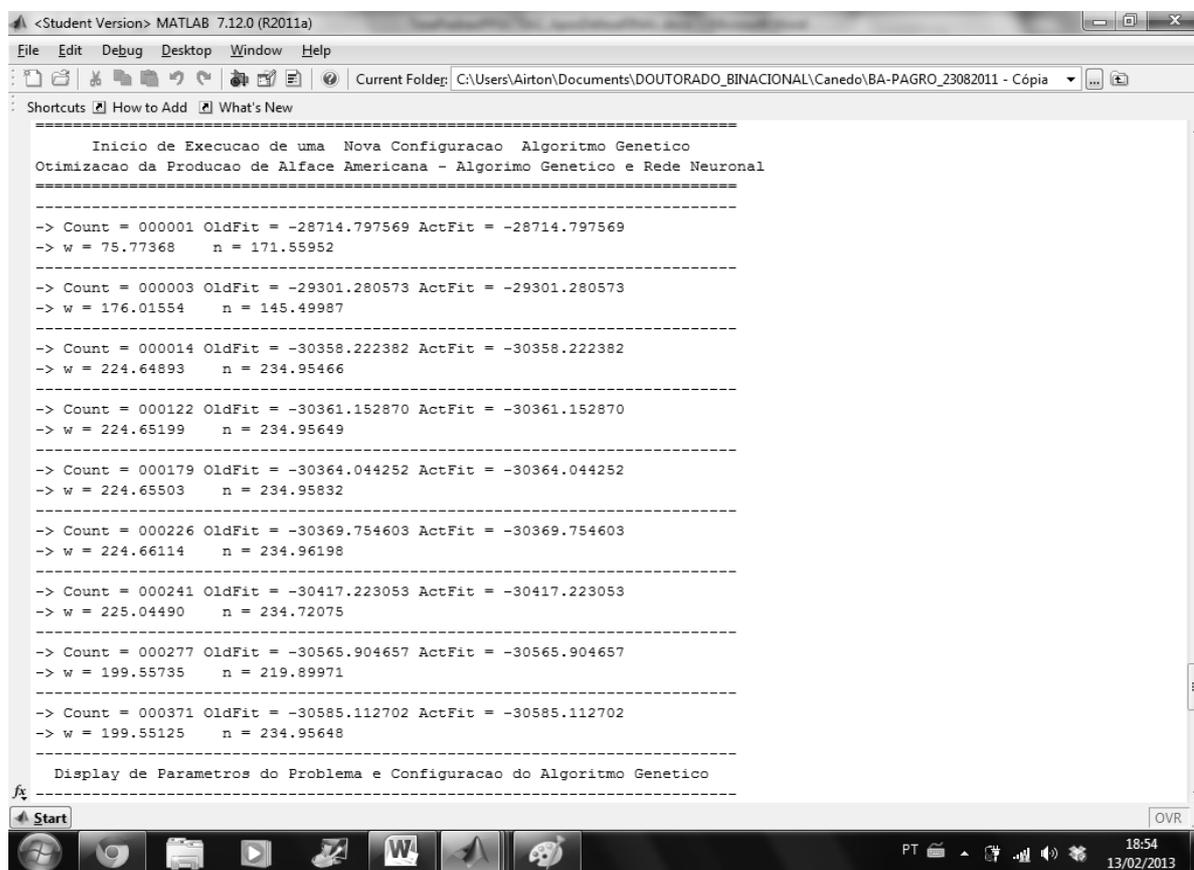


Figura 28 - Otimização água e nitrogênio para alface americana

Vemos que, na tela anterior, encontramos os valores registrados na tabela abaixo:

Tabela 5 - Comparativo entre métodos para a alface americana

	INTELIAGRI	MBL	Empírico
Água (mm.ha ⁻¹)	199,55	204,99	205,26
Nitrogênio (Kg.ha ⁻¹)	234,96	249,99	257,14
Água e Nitrogênio	-	2,72 % e 6,40 %	2,86 % e 9,44 %

A tabela 5 acima é um comparativo entre os valores obtidos com a utilização do INTELIAGRI, com o método MBL e com os dados empíricos. Na última linha desta tem-se o comparativo entre o INTELIAGRI e os dois outros modelos, em termos percentuais, para Água e Nitrogênio, respectivamente. Note-se que os valores encontrados são próximos nos três modelos, mantendo uma equivalência nos resultados, como era de se esperar.

4.2 – Otimização da Produção do Meloeiro a Duas Dimensões

Da mesma forma que no caso da alface americana descrita no tópico anterior, foi feita a análise dos resultados obtidos com a aplicação do INTELIAGRI desta vez na produção do meloeiro. Foram utilizados também os dados obtidos empiricamente por Marques Silva et al. (2008) e utilizados por Ventura, Sanchez Delgado e Carvalho (2009) com o método de barreira logarítmica (MBL).

Da mesma forma que na determinação dos valores para alface americana, o INTELIAGRI utilizou estes mesmos dados da função de produção de meloeiro em função dos insumos de água e nitrogênio e obteve os mesmos resultados que o modelo empírico e o MBL, comprovando a eficiência e validando o INTELIAGRI.

Na figura 29, é apresentada a tela do treinamento da RNA para o meloeiro.

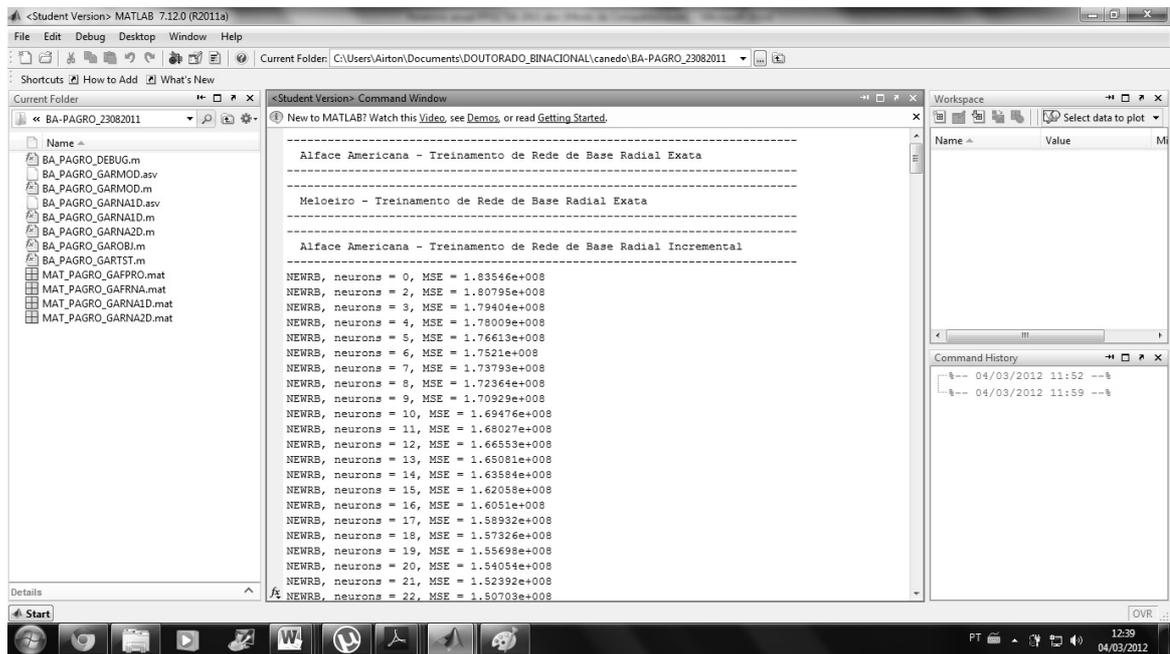


Figura 29 - Treinamento de uma RNA – Função de Produção do Meloeiro

Na figura 30, a seguir, se pode visualizar a convergência da curva de aprendizagem.

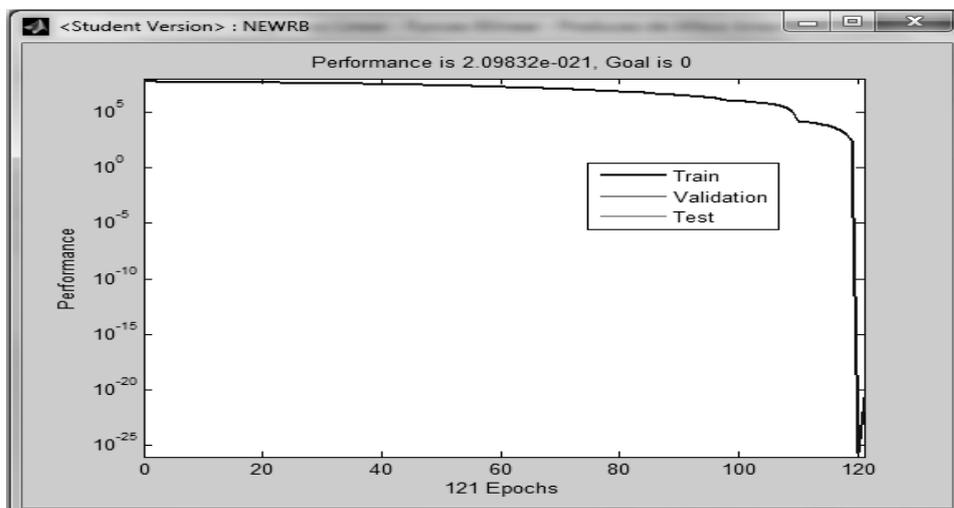


Figura 30 - Curva de aprendizagem da RNA- Função de Produção do Meloeiro

A figura 31 apresenta três gráficos obtidos pelo INTELIAGRI que são respectivamente: (a) apresenta os dados de produção experimental (MARQUES SILVA, 2008), (b) mostra a curva de produção para o meloeiro obtida computacionalmente pelo INTELIAGRI, e (c) mostra o erro entre os dados de produção e a função de produção.

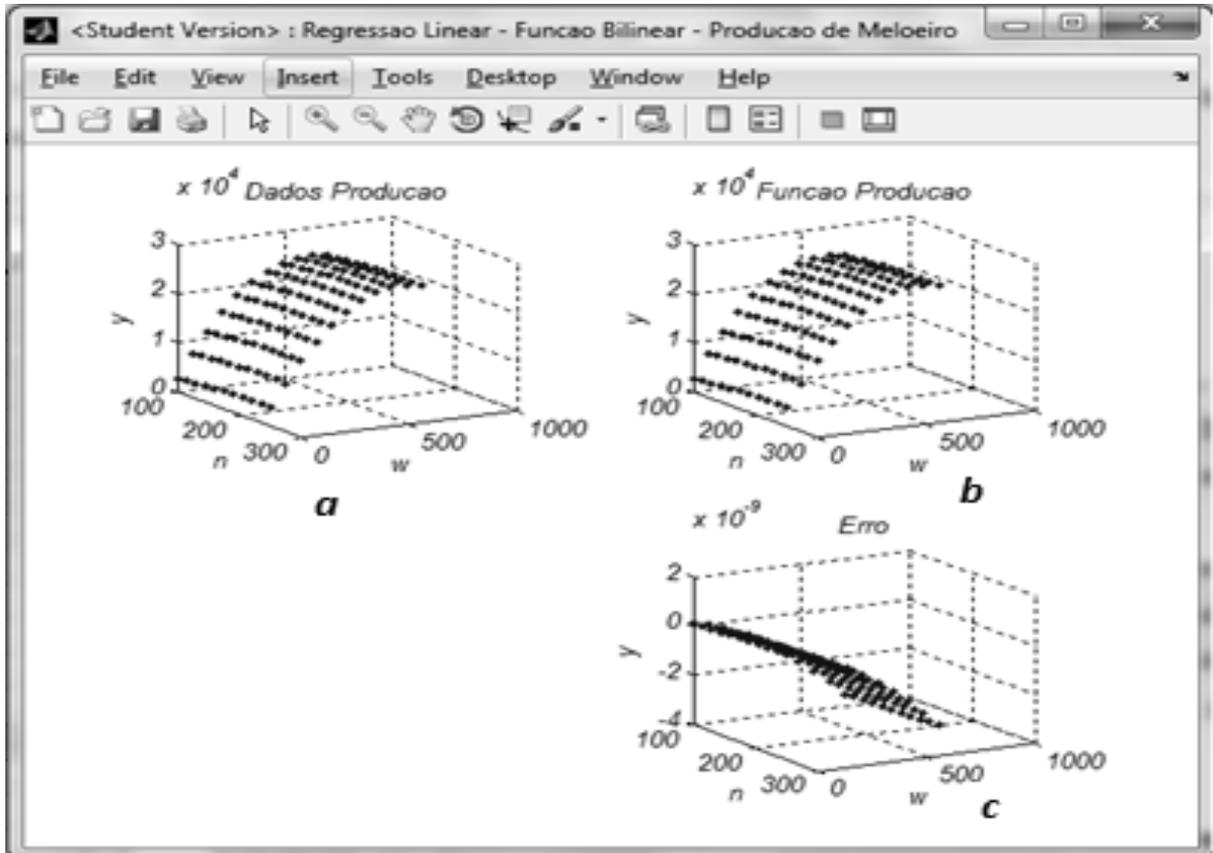


Figura 31 - Função de produção do meloeiro – (a) original e (b) obtida pela RNA após treinamento

A seguir são apresentados os resultados da utilização de um algoritmo genético para determinação do ponto ótimo de produção, isto é aquele que minimiza os custos de produção a fim de maximizar a receita líquida definida como Receita Bruta menos o Custo de Produção.

Da mesma forma que anteriormente demonstrado em relação à cultura da alface americana, em relação ao meloeiro, temos na figura 32, a seguir, 4 gráficos que representam:

- (a) a função de produção aprendida pela rede neuronal artificial,
- (b) a função de Receita Líquida definida como Receita Bruta menos o Custo de Produção,
- (c) a trajetória de busca do algoritmo genético no espaço agua receita líquida em sua busca do ponto ótimo para produção do meloeiro,
- (d) a trajetoria de busca do algoritmo genético ao longo da superfície de receita líquida em sua busca do ponto ótimo para produção do meloeiro

Estes resultados obtidos também são compatíveis com os resultados apresentados nas referências que serviram de base para o teste do modelo com redes neurais e algoritmos genéticos (GA).

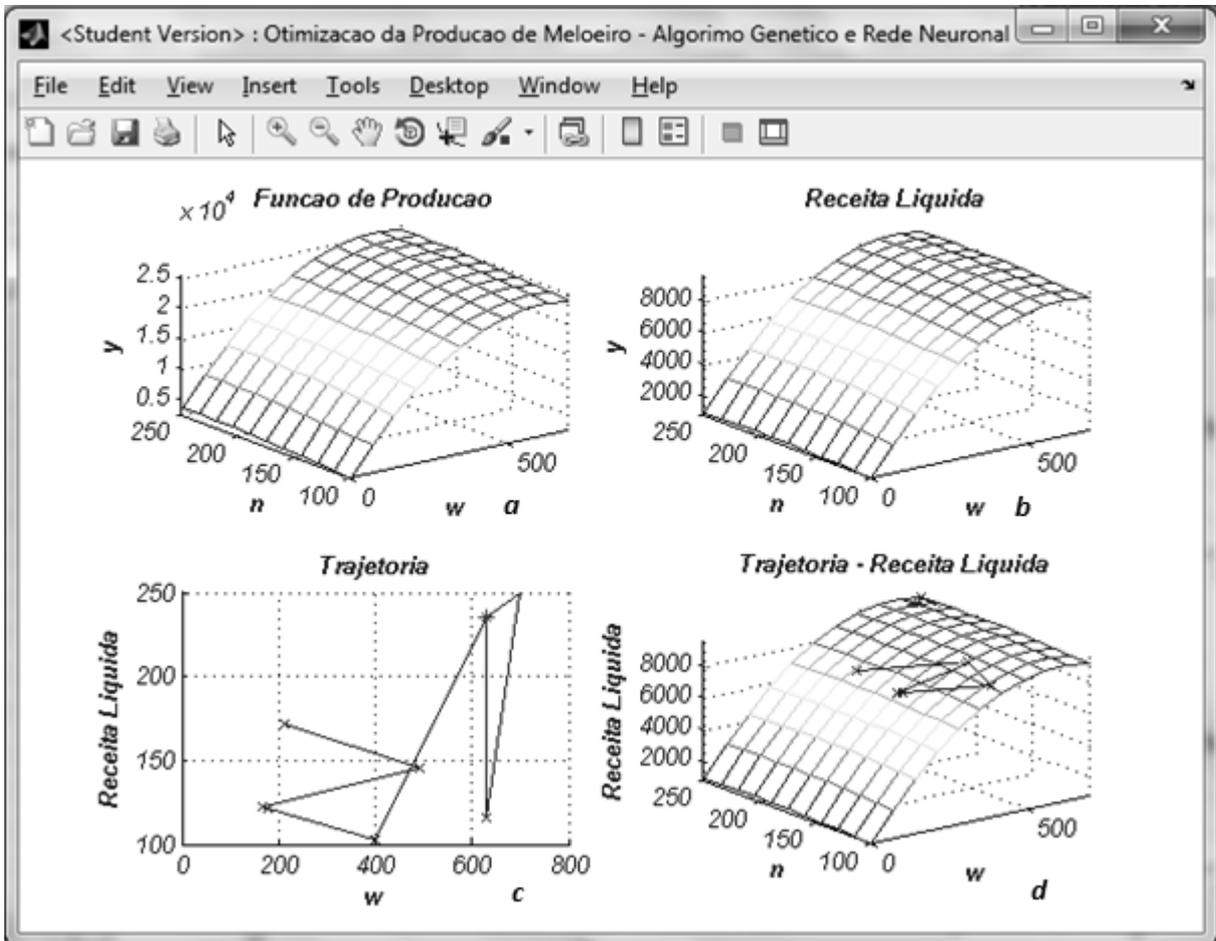


Figura 32 - Determinação do Ponto de Ótimo do Meloeiro utilizando a RNA treinada otimizada por um GA.

A figura 33 ilustra uma tela impressão do INTELIAGRI que é o resultado obtido pelo algoritmo genético (GA) para otimizar água e nitrogênio do meloeiro.

```

=====
      Inicio de Execucao de uma Nova Configuracao Algoritmo Genetico
      Otimizacao da Producao de Meloeiro - Algoritmo Genetico e Rede Neuronal
=====
-> Count = 000001 OldFit = -8915.991623 ActFit = -8915.991623
-> w = 212.16630      n = 171.55952
-----
-> Count = 000003 OldFit = -8940.113143 ActFit = -8940.113143
-> w = 492.84352      n = 145.49987
-----
-> Count = 000004 OldFit = -9037.219035 ActFit = -9037.219035
-> w = 165.03714      n = 122.25445
-----
-> Count = 000009 OldFit = -9037.480324 ActFit = -9037.480324
-> w = 176.29410      n = 121.49491
-----
-> Count = 000010 OldFit = -9051.654154 ActFit = -9051.654154
-> w = 398.52656      n = 102.63097
-----
-> Count = 000014 OldFit = -9143.544350 ActFit = -9143.544350
-> w = 629.01701      n = 234.95466
-----
-> Count = 000122 OldFit = -9148.625066 ActFit = -9148.625066
-> w = 629.02557      n = 234.95649
-----
-> Count = 000179 OldFit = -9153.699004 ActFit = -9153.699004
-> w = 629.03410      n = 234.95832
-----
-> Count = 000219 OldFit = -9191.096356 ActFit = -9191.096356
-> w = 628.94865      n = 115.40476
-----
-> Count = 000228 OldFit = -9323.702200 ActFit = -9323.702200
-> w = 700.00000      n = 250.00000
-----
-> Count = 000241 OldFit = -9503.388417 ActFit = -9503.388417
-> w = 630.11929      n = 234.71845
-----
-> Count = 000291 OldFit = -9546.476040 ActFit = -9546.476040
-> w = 630.11929      n = 234.95832
-----
-> Count = 000376 OldFit = -9546.969287 ActFit = -9546.969287
-> w = 630.11929      n = 234.97114
=====
      Display de Parametros do Problema e Configuracao do Algoritmo Genetico
=====
  
```

Figura 33 - Otimização água e nitrogênio para o meloeiro

Pode ser visto, na tela anterior, que foram encontrados os valores registrados na tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Comparativo entre métodos para o meloeiro

	INTELIAGRI	MBL	Empírico
Água (mm.ha ⁻¹)	630.11929	612,3	609,2
Nitrogênio (Kg.ha ⁻¹)	234.97114	224,3	186,2
Água e Nitrogênio	-	2,83% e 4,54%	3,31% e 20%

A tabela 6 é um comparativo entre os valores obtidos com a utilização do INTELIAGRI, com o método MBL e com os dados empíricos. Na última linha desta se mostra o comparativo entre o INTELIAGRI e os dois outros modelos, em termos percentuais, para Água e Nitrogênio, respectivamente. Note-se que os valores encontrados são próximos nos três modelos, mantendo uma equivalência nos resultados.

Com os resultados obtidos, foi comprovado que o modelo INTELIAGRI funciona adequadamente, dando como resposta valores na mesma ordem de grandeza que os dois modelos tradicionalmente utilizados. Além disso, a utilização do INTELIAGRI apresenta vantagens adicionais em comparação com os modelos citados. Dentre estas o INTELIAGRI chega ao resultado em pouquíssimo espaço de tempo, cerca de 3 minutos utilizando equipamento – computador – facilmente encontrado no mercado, o que facilita o acesso ao usuário. O INTELIAGRI pode trabalhar com funções de produção que não tenham simplesmente a forma parabolóide, podendo trabalhar com funções que apresentem descontinuidades sem onerar o tempo, além de trabalhar com uma quantidade de variáveis n -dimensional sem aumentar sua complexidade.

Nesse sentido, o INTELIAGRI atendeu aos objetivos propostos, sendo uma ferramenta computacional inteligente que pode ser utilizada para a otimização do uso de recursos hídricos e o aumento da receita líquida em diversas culturas como testado, comparado e validado.

5 – CONCLUSÕES

A finalidade do INTELIAGRI, enquanto produto de inovação tecnológica é participar das tomadas de decisões agrícolas onde a análise econômica e o uso racional dos recursos disponíveis (água e insumos) são relevantes.

Partindo da premissa que a administração de atividades agropecuárias requer conhecimentos técnicos e financeiros, não distribuídos de forma igualitária entre pequenos, médios e grandes produtores rurais, o acesso a um sistema operacional de fácil utilização, favoreceria a inclusão digital no campo associada à otimização dos recursos.

Assim, em situações onde a tomada de decisão está relacionada com a alocação de recursos limitados, o INTELIAGRI favorece a tomada de decisão e a racionalidade do agricultor, pois disponibiliza métodos eficientes que o auxiliam na otimização dos recursos e da produção. Espera-se desta maneira aumentar a eficiência do uso da água, a produtividade das culturas selecionadas para um determinado plantio e diminuição dos custos de produção, maximizando com isso os benefícios dos investimentos na agricultura irrigada.

Através da comparação dos resultados obtidos pelo INTELIAGRI com os resultados obtidos por MARQUES SILVA et al. (2008) - empírico e VENTURA, SANCHEZ DELGADO & CARVALHO (2009) utilizando o método de barreira logarítmica - MBL; constatou-se que eles tiveram resultados na mesma ordem de grandeza. Isto era esperado; assegurando que existe viabilidade e confiabilidade para que se coloque a ferramenta desenvolvida em produção.

Uma vantagem adicional do INTELIAGRI é que ele pode ser estendido facilmente e incluir outros tipos de culturas, mesmo que estas envolvam múltiplos parâmetros observados como fatores da função de produção podendo ser utilizado com funções complexas, possibilidade que as técnicas tradicionais também têm, mas os cálculos podem ficar bastante complexos dificultando encontrar os resultados quando se trabalha n-dimensionalmente.

A aplicação das técnicas de inteligência artificial como as redes neuronais e dos algoritmos genéticos poderá levar pesquisadores agrícolas a utilizá-los em outras abordagens como forma alternativa e de modo mais maciço, pois ainda é relativamente pequeno o número de trabalhos com estas técnicas na agricultura; isto incentiva também a serem feitos muito mais experimentos observando não apenas água e nitrogênio, mas os demais diversos fatores que influenciam na cultura, pela facilidade na análise a muitas dimensões. Obviamente, não podem ser feitos gráficos com mais de 3 dimensões, mas os valores numéricos serão alcançados.

Este trabalho abre várias possibilidades de continuidade dos estudos e aplicação do INTELIAGRI visando o seu uso pelos produtores rurais em parceria com centros de pesquisa e universidades; como é o caso da UNRC - Argentina.

O Brasil é o maior detentor de solos agricultáveis do mundo, e devido à amplitude dos recursos hídricos disponíveis, é uma potência mundial na produção de alimentos, e através do MERCOSUL os países da América do Sul têm feitos parcerias comerciais e tecnológicas, como exemplo, o Brasil e a Argentina, mostrando interesse e apoio ao desenvolvimento de tecnologias (acessíveis) que auxiliem ao planejamento da produção agrícola dos pequenos e médios produtores rurais. Porém, é necessário incrementar o assessoramento técnico e tecnológico para que o produtor adquira credibilidade financeira.

No futuro, como contribuição a sociedade, um produto (software) será viabilizado; pois o objetivo acadêmico desta tese, que foi alcançado, era comprovar o funcionamento da ferramenta.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, a elevação dos preços dos produtos agropecuários, a crise energética e a conscientização sobre os impactos ambientais provocados pela produção de alimentos e de energia, estiveram presentes com mais intensidade nos debates acadêmicos e políticos. A produção agrícola para alimentos, energia (biodiesel, etanol), a pecuária e as diversas formas de vida, não existiriam sem o suprimento de água em qualidade e quantidade adequadas.

O abastecimento de água está, portanto na base da questão socioambiental que faz parte da resposta ao desafio da produção agroalimentar que, segundo a Agência das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), até o ano 2025 terá que alcançar um crescimento de aproximadamente 40%. Lembramos que apenas na América Latina existem 51 milhões de pessoas vivendo na extrema pobreza. A erradicação da miséria e da fome demanda uma grande tarefa em muitas frentes, políticas, econômicas, acadêmicas, sociais e culturais, com ênfase no uso de novas tecnologias para solucionar ou pelo menos minimizar graves problemas como a escassez de água e de alimentos e a degradação do meio ambiente.

A produção de alimentos tem sido tema de estudos de diversas instituições internacionais como a FAO (Organização para a Alimentação e a Agricultura da ONU), ONGs (Organizações não Governamentais) e instituições oficiais de governos, onde se mostram estimativas e previsões realmente preocupantes. Hoje, já há uma conscientização maior quanto à preservação dos recursos hídricos e uma crescente preocupação com a questão ambiental e a sustentabilidade. A nova legislação ambiental já contempla algumas dessas preocupações, e sua implementação, espera-se, vai minimizar os impactos negativos da ação do homem no meio ambiente.

No Brasil, ante a preocupação que é mundial pelos alimentos, o governo vem adotando políticas públicas que pretendem combater a fome e elevar a produção de alimentos mostrando soluções viáveis para o problema alimentar. A desigualdade socioeconômica entre o mundo rural e urbano, entre as diversas regiões do país, se reflete também em uma desigualdade alimentar. Da mesma forma, persiste a desigualdade alimentar entre as nações, correspondente a riqueza e ao desenvolvimento socioeconômico: os países desenvolvidos, localizados principalmente no hemisfério norte, e que possuem apenas 25% da população do planeta, consomem 50% dos alimentos produzidos no mundo. É claro que o desperdício na produção, armazenamento, transporte e consumo de alimentos também representam fatores relevantes nessas desigualdades.

Nesta linha de elaboração, o manejo adequado da água é fundamental, uma vez que o setor agrícola é o maior consumidor de água e os recursos hídricos são essenciais e estratégicos no desenvolvimento da agricultura.

Conservar e monitorar os recursos naturais nas zonas produtoras de alimentos, nas áreas florestais e bacias adjacentes é dever do Estado e da sociedade brasileira. Devem-se estabelecer normas para incentivos econômicos e sociais aos agricultores e empresas agroindustriais processadoras de bebidas e alimentos, a fim de reduzir a degradação dos solos e adotar políticas de gestão sustentável dos recursos.

Mostramos, anteriormente, de forma muito abrangente, questões referentes ao consumo da água, sua importância para a agricultura e os problemas associados ao uso inadequado de recursos hídricos, em especial o desperdício e a poluição da água. Estes problemas, extensivos a toda a população, atingem de forma dramática os agricultores, sendo maximizados principalmente quando se trata de pequenos e médios produtores rurais, visto que estes dispõem de recursos econômicos mais reduzidos e menor acesso à informação e às novas tecnologias.

A produção agrícola é um modo de produção econômica e em nossa sociedade capitalista, visamos o lucro. O lucro é, portanto, um dos objetivos dos produtores rurais, necessário para continuar mantendo em funcionamento seu agronegócio. Para maximizar o lucro é importante reduzir os custos da produção e assim otimizar os ganhos.

Hoje em dia já dispomos de muita informação técnico-agrícola, mas persiste um grande problema a ser enfrentado: como consolidar estas informações de forma clara e simples, com a menor intermediação possível para o pequeno produtor?

Ainda falta muito para que a chamada inclusão digital seja uma realidade no país, e principalmente, no mundo rural (CAVALCANTE, J.A.C. et al., 2009). Se os grandes conglomerados agrícolas já utilizam a tecnologia digital a serviço da otimização da produção, ainda é escassa a utilização de equipamentos computacionais na agricultura, principalmente em se tratando de pequenas e médias propriedades rurais.

Os principais custos do agronegócio são os gastos com fertilizantes, uso da água (irrigação) e eletricidade. A diminuição dos custos se dá através do melhor uso possível, isto é, usar apenas a quantidade necessária. Uma modelagem, como a que o INTELIAGRI executa envolve cálculos complexos; daí a necessidade desta ferramenta computacional para tornar mais acessível e rápido esses cálculos, ou melhor, a aplicação de seus resultados.

A proposta deste projeto foi a de quebrar este paradigma, mostrando que através de um sistema computacional de fácil acesso para o usuário é possível otimizar a gestão do agronegócio, minimizando custos e aumentando a produção. Este trabalho desenvolveu um sistema computacional que tem como compromisso a simplicidade no modo de usar (filosofia *user friendly*), por ser projetado com uma bem elaborada interface homem-máquina, intuitiva e capaz de efetuar os complexos cálculos matemáticos para o operador.

A grande velocidade do avanço da tecnologia dos computadores, traduzida pelo aumento da capacidade de processamento e a redução dos custos de aquisição dos mesmos, inclusive com a implementação de programas de financiamento do governo, favorece, hoje, a utilização de ferramentas computacionais para solução dos mais diversos problemas, com destaque, em nosso caso específico, para a produção agropecuária.

A necessidade de se reduzir a complexidade da gestão do agronegócio, foi o motor da investigação sobre técnicas de otimização agrícolas. O acesso a novas tecnologias digitais e o uso de programas e sistemas de computadores que ajudem na preservação dos recursos naturais através do uso na dose certa e os implementos agrícolas da mesma forma, necessários à produção, tem como principal entrave a dificuldade da maioria dos produtores rurais de utilizarem tais recursos por desconhecimento e mesmo pela percepção equivocada de complexidade desta tecnologia.

O uso de uma tecnologia ‘amiga do usuário’ diminui a necessidade de capacitação mais complexa do produtor, aumentando seu conhecimento pessoal (especialização) sobre a mesma, com uma dinâmica muito maior, incentivando-o a utilizar e se manter-se atualizado com as novas técnicas e ferramentas que vão surgindo.

No caso Brasileiro a agricultura familiar tem reconhecimento jurídico, mas pouco acesso ao crédito agrícola por não saber comprovar tecnicamente a viabilidade ótima de um determinado plantio. Com o desenvolvimento de códigos computacionais de fácil acesso como o INTELIAGRI em parcerias com cooperativas agrícolas, achamos que estamos contribuindo para o avanço da eficiência do uso da água, o planejamento ótimo de plantios e em geral ao fortalecimento tecnológico da agricultura irrigada.

Assim para vencer os desafios postos à demanda por produção de alimentos, sem desperdício e degradação dos recursos naturais, e sem tornar a natureza um pasto predatório, é necessário um maior investimento em pesquisa e inovação, sem descuidar da educação ambiental e da conscientização da população. Somente assim é possível assegurar a produção de alimentos numa perspectiva socioambiental, de forma sustentável, que significa a

utilização dos recursos de maneira eficiente, ou seja, converter os recursos limitados em produção útil e viável economicamente; mas diminuindo as repercussões sobre o meio ambiente durante a produção, manuseio e comercialização.

Muitos dos planos de combate à pobreza e de incentivos à produção de pequenos agricultores familiares, são planos quantitativos, excessivamente numéricos e pouco qualitativos, no sentido de não apresentar propostas em relação à assistência técnica e tecnológica, necessária para garantir uma produção rentável e sustentável tanto a nível econômico, reforçando a sua inclusão produtiva, como a nível ambiental, incentivando a sustentabilidade. Não basta produzir mais, é necessário garantir a sustentabilidade socioambiental e criar espaços para a agricultura familiar que resgatem a capacidade de compreensão do crescente padrão tecnológico da agricultura; como também a segurança e credibilidade financeira do setor. Foi neste sentido que apontamos a necessidade da geração de programas computacionais de fácil acesso que permitam ao pequeno produtor selecionar padrões mais elevados de cultivos e cronogramas de irrigação.

Entendemos que é necessária uma aproximação entre os centros de pesquisas e universidades com as cooperativas, a fim de facilitar o uso necessário das tecnologias existentes e por vir. De maneira geral é fundamental e urgente uma reforma agrária moderna que permita o resgate dos muitos brasileiros que se encontram num quadro de precariedade e pobreza no meio rural, viabilizando formas mais avançadas de produção. A sustentabilidade socioambiental da agricultura, seja ela familiar ou não, é compatível com os avanços e a ciência não deve estar a serviço apenas da lógica dos grandes blocos de capital; ao contrário, a disseminação do conhecimento e de formas mais eficientes de produção, tem condições de gerar aumento de produtividade, viabilizando trabalho decente e distribuição de renda.

Sempre houve interesse muito grande pela modelagem numérica, e com a facilidade e o barateamento dos computadores é natural que surjam cada vez mais ferramentas computacionais auxiliando nas pesquisas; e como desenvolvemos um modelo computacional, as possibilidades são muito amplas.

Como vimos o avanço das técnicas de inteligência artificial; no nosso caso específico, das redes neurais e dos algoritmos genéticos, em conjunto com o aumento da capacidade de processamento dos computadores, possibilita seu uso, cada vez mais, em aplicações, nos vários campos da ciência, gerando tecnologias inovadoras, como é o caso das aplicações em agromatemática.

Finalmente, a construção do INTELIAGRI como produto de inovação agropecuária do PPGCTIA, mostra que com boas ferramentas computacionais que utilizam tecnologia avançada, mas já consolidada, é possível impactar de forma menos agressiva o meio ambiente, utilizando cada vez mais os princípios de sustentabilidade, mas de forma simples para o homem do campo fornecendo uma receita líquida maior e assegurando uma qualidade de vida melhor.

Gostaríamos de salientar que durante nossas pesquisas e teste computacionais, com o uso de uma massa de dados advinda de outros pesquisadores, verificamos a viabilidade da ferramenta e sua aplicação, utilizando as técnicas e tecnologias apresentadas anteriormente. Assim, acreditamos que seja de real importância para a agricultura uma tecnologia inovadora que permite que dados complexos sejam traduzidos de forma simples para produtores rurais aumentando a sua renda.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P.E.P.; DURÃES, F.O.M. Uso e manejo de irrigação. editora Embrapa Informação Tecnológica; Brasília, DF, 2008, 528 p.

AFONSO, C.M. Sustentabilidade: Caminho ou Utopia? São Paulo, SP, editora Annablume, 2006, 74 p.

AMORIM, J.B.A. Qualidade da água subterrânea e riscos para irrigação, In: Embrapa Artigos Técnicos. Disponível em: <http://www.embrapa.gov.br/imprensa/artigos/2009/qualidade-da-agua-subterranea-e-riscos-para-irrigacao/>. Acesso em: 27/11/2011.

ANGELLA, G.A. Desarrollo de tecnologías para la optimización del riego. 2009. <http://inta.gob.ar/proyectos/aern-291631/>. Acesso 12/02/2013.

ANTON, H. Cálculo: um novo horizonte, v. 1, 6ª edição, Porto Alegre, editora Bookman, 2001, 578 p.

ARARIBÓIA, G. Inteligência Artificial. Rio de Janeiro, LTC, 1988, 282 p.

BALLONE, G.J. Neurônios e Neurotransmissores. In: PsiquWeb, Internet, disponível em: www.psiqweb.med.br, 2008. Acesso em: 20/11/2011.

BARROS, V.S.; COSTA, R. N. T.; AGUIAR, J. V. Função de produção da cultura do melão para níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu-CE, Irriga, Botucatu, v.7, n2, 2002, p. 98-105.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Infiltração da Água no Solo. Viçosa, 3ª edição, MG, editora UFV, 2009, 120 p.

BEALE, M. H.; HAGAN, M. T.; DEMUTH, H. B. Neural Network Toolbox – User Guide R2011b, EUA, Mathworks Inc. 2011, 404 p.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J.L. Ecologia de Indivíduos e Ecossistemas, 4ª edição, Porto Alegre, RS, editora Artmed, 2008, 752 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; Manual de Irrigação, 8ª edição, ed. UFV, Viçosa, 2006, 625 p.

BERNARDO, S. Produção agrícola e uso da água. In: GOMES, M.A.F.; PESSOA, M.C.P.Y. Planejamento Ambiental do Espaço Rural com Ênfase para Microbacias Hidrográficas – Manejo de Recursos Hídricos, Ferramentas Computacionais e Educação Ambiental. editora Embrapa Informação Tecnológica; Brasília, DF, 2010, p. 13-33.

BISHOP, C. M. Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford: Clarendon Press, 1995, 495 p.

BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.P. de L. F.; LUDERMIR, T.B. Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações. 2ª edição. Rio de Janeiro, editora LTC, 2007, 226 p.

BRASIL. ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Ed. Especial. ANA. Agência Nacional de Águas. Brasília : ANA, 2012. 215 p.

BRASIL. ANA. Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água - Panorama Nacional, vol. 1, Agência Nacional de Águas, Engecorps/Cobrape - Ministério do Meio Ambiente, Superintendência de Recursos Hídricos, Brasília, 2010, 72 p.

BRASIL. MEC. SETEC. Programa de Expansão da Educação Profissional. PAER. Pesquisa da Atividade Econômica Regional, ano-base 1998. Suplemento Inovação tecnológica. Brasília, DF, MEC/SETEC, 1999. In: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/inotec.pdf> Acesso em: em 01/11/2011.

BRASIL. MEC. SETEC. Documento-base. Educação profissional técnica de nível médio integrada ao Ensino Médio. Brasília, DF, MEC/SETEC, 2007. In: http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/documento_base.pdf. Acesso em: em 01/11/2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário 2006. Agricultura Familiar: primeiros resultados – Brasil, grandes regiões e unidades da federação*. Rio de Janeiro: IBGE, 2009, p. 1-267.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Livro Azul da 4ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável. Brasília:MCT/ Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010, 104 p.

BROWNSTON, L.; FARREL, R., KANT, E.; MARTIN, N. Programming Expert Systems in OPS5. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1986, 475 p.

BURDEN, R.L; FAIRES, J.D. Análise Numérica, São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2003, 740 p.

CAMPOS, M. M.; SAITO, K. Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos, Rio de Janeiro, editora Ciência Moderna, 2004, 235 p.

CARVALHO, D.F.; SOARES, A.A; RIBEIRO, C.A.A.S.; SEDIYAMA, G.C.; PRUSKI, F.F. Otimização do uso da água no perímetro irrigado do Gorutuba, utilizando-se a técnica da programação linear. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v.4, n.2, p. 203-209, 2000.

CAVALCANTE, J.A.C. Notas de aula de Cálculo I para Administração. Nova Iguaçu, RJ, DTL/IM/UFRRJ, 2009, (mimeo).

CAVALCANTE, J.A.C.; PAULA, L.A.L; LIMA, A.B.; SOREIRA, B.J.; GOMES, C.R. Inclusão Digital: Ampliando Oportunidades. IN: Anais do IV CBEU – Congresso Brasileiro de Extensão Universitária. Dourados, MS, UFGD, 2009.

CAVALCANTE, J.A.C. Sistema especialista em OPS5 para o processamento inteligente de alarmes em usinas nucleares. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997, 126 p.

CHAPMAM, S.J. Programação em Matlab para Engenheiros. São Paulo, Ed. Pioneira Thomson Learning, 2003, 482 p.

COPPIN, B. Inteligência Artificial, Rio de Janeiro, RJ, editora LTC, 2012, 636 p.

DAVIDOR, Y. Genetic algorithms: a survey. Dynamic, Genetic, and Chaotic Programming. New York, USA, B. Soucek and The IRIS Group (eds.), John Wiley & Sons, Inc., 1992. p. 323-338.

DAVIDOVICH, L. in BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Livro Azul. 4ª Conferência Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável. Brasília, DF, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), 2010, 104 p.

DEMANA, F.D.; WAITS, B.K.; FOLEY, G.; KENNEDY, D. Pré-Cálculo, 7ª ed., São Paulo, SP, editora Pearson Education Inc., selo Addison Wesley, 2009, 380 p.

HADDOK, E. O Mar Morto conseguirá sobreviver? In: Scientific American Brasil, edição especial ambiente, editora Duetto, São Paulo, SP, v.48, p.76-81, 2012.

HANSELMAN, D.; LITTLEFIELD, B. Matlab 6 - curso completo ed. Prentice Hall, 2003, 676 p.

HOLTZ, F. Sistemas Especialistas, editora Campus, 1984, 248 p.

HOWELL, T. A.; CUENCA, R. H.; SOLOMON, K.H.; Crop yield response. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. Management of farm irrigation systems, St. Joseph – American Society of Agricultural Engineers, p. 93-122, 1992.

ENGLISH, M.J.; RAJA, S.N. Perspectives on deficit irrigation. Agricultural Water Management, v. 32, p. 1–14. 1996.

ENGLISH, M.J. Deficit irrigation. I: Analytical Framework. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering of ASCE, New York, v.116, n.3, p. 399-412, 1990.

ENGLISH, M.J.; SOLOMON, K.H.; HOFFMAN, G.J. A paradigm shift in irrigation management, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.128, n.5, p. 267-277, 2002.

FAUSETT, L. Fundamental of Neural Networks - Architectures, Algorithms and Applications, editora Prentice Hall, 1994, 461 p.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente, Vocabulário Básico de Meio Ambiente, 4ª. ed. Rio de Janeiro, Petrobrás, Serviço de Comunicação Social, 1992, 246 p.

FERNEDA, E. Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação. Ci. Inf., Brasília, v.35, n.1, Apr.2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19652006000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20/11/2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-19652006000100003>.

FERREIRA, A.B. de H. Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.0. Curitiba, Paraná, editora Positivo, Positivo Informática, 2004, n.p.

FERREIRA, R.S. Matemática Aplicada às Ciências Agrárias: Análise de Dados e Modelos, 3ª ed. Viçosa, MG, editora UFV, 2005, 333 p.

FLEMMING, D.M.; GONÇALVES, M.B. Calculo A – Funções, limite, derivação e integração, 6ª ed. São Paulo, SP, editora Pearson Prentice Hall, 2006, 449 p.

FOLEY, J.A. É possível alimentar o mundo sem destruir o Planeta? In: Scientific American Brasil, edição especial ambiente, São Paulo, SP, editora Duetto, v.48, p 24-27, 2012.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, 626 p.

FRIZZONE, J.A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, CE, INOVAGRI, v.1, n.1, p.24-49, 2007.

FRIZZONE, J.A. Programação Matemática Aplicada a Projetos Hidroagrícolas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola-SBEA. 1995, 29 p.

FRIZZONE, J.A.; TEODORO, R.E.F.; PEREIRA, A.S.; BOTREL, T.A. Lâminas de água e doses de nitrogênio na produção de aveia (*Avena sativa* L.) para forragem, Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 52 n.3, p.578-586, 1995.

GILAT, A.; SUBRAMANIAM, V. Métodos Numéricos para Engenheiros e Cientistas – Uma introdução com aplicações usando o Matlab, Porto Alegre, Ed. Bookman, 2008, 480 p.

GOLDBERG, D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. EUA, Addison-Wesley, 1989, 432 p.

GOLEMAN, D.; BENETT, L.; BARLOW, Z. Ecoliterate: How Educators Are Cultivating Emotional, Social, and Ecological Intelligence, São Francisco, CA, EUA, editora Jossey-Bass, 2012, 192 p.

GOMES, M.A.F. A Água nossa de cada dia. In: Embrapa. Artigos Técnicos/2009. Disponível em: <http://www.embrapa.gov.br/imprensa/artigos/2009/a-agua-nossa-de-cada-dia/>. Acesso em: 27/11/2011.

GOMES, M.A.F.; PESSOA, M.C.P.Y. Planejamento Ambiental do Espaço Rural com Ênfase para Microbacias Hidrográficas – Manejo de Recursos Hídricos, Ferramentas Computacionais e Educação Ambiental, Brasília, DF, editora Embrapa Informação Tecnológica; 2010, 407 p.

GRAUPE, D. Principles of Artificial Neural Networks, 2^a. edição, Singapura, ed. World Scietific, 2007, 320 p.

GRIZENDI, E. Manual sobre orientações gerais sobre inovação, Projeto nº BRA/07/017 - Ministério das Relações Exteriores, 2011, 186 p.

GUEDES, C.A.M.; TEIXEIRA, M.R. Inovações e internacionalização na cadeia produtiva do etanol no Brasil: avaliação e perspectivas. In: Anais do 47º Congresso da SOBER –Sociedade Brasileira de Economia Rural. Desenvolvimento Rural e Sistemas Agroalimentares: O agronegócio no contexto de integração das nações. Porto Alegre: UFRGS -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. (cd-rom).

GUIA, L. Do Paleolítico ao Neolítico. In: Nota Positiva.com. Portugal, 2005. Disponível em: http://www.notapositiva.com/trab_professores/textos_apoio/historia/dopaleooneol.htm. Acesso em: 27/11/2011.

GUPTA, A.; PRASAD, E. B. Principles of Expert Systems, IEEE Press, 1988, 449 p.

HAYKIN, S. Redes Neurais: princípios e prática. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2008, 900 p.

HARMON, P.; KING, D. Expert Systems, Jonh Wiley & Sons, Inc., 1985, 283 p.

HOLLAND, J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems, Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1975, 183 p.

JACOBI, P. A água na terra está se esgotando? É verdade que no futuro próximo teremos uma guerra pela água? In: Geologo.com.br. Disponível em: <http://www.geologo.com.br/aguahisteria.asp>. Acesso em: 27/11/2011.

JAMES, M. Inteligência Artificial em Basic, editora Campus, 1985, 166 p.

JASON, D.J.; FRENZEL, J.F. Training product unit neural networks with genetic algorithms. IEEE Expert, vol.1, no.1, p. 26-33, 1993.

KAPRA, F.; STONE, M.K.; BARLOW, Z. Alfabetização Ecológica- A educação das crianças para um mundo sustentável. São Paulo-SP, editora Pensamento-Cultrix Ltda, 2006, 312 p.

KOVÁCS, Z.L. Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações. 4ª Ed. São Paulo: editora Livraria da Física, 2006, 180 p.

LaQA – Laboratório de Química Ambiental – USP,
<http://www.usp.br/qambiental/tratamentoAgua.html>. Acesso em: 02/12/2011.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. Metodologia Científica. São Paulo, SP, editora Atlas S.A. 1991, 270 p.

LIDEN, R. Algoritmos Genéticos – Uma importante ferramenta da inteligência computacional. 2ª ed. Rio de Janeiro, editora Brasport, 2008, 428 p.

- MACHADO, C.C.; BLANCO, F.F.; FRIZZONE, J.A.; COELHO, R.D.; FOLEGATTI, M.V. Modelo econômico para determinação do tempo de reposição na irrigação por sulco, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - AGRIAMBI, PB, DEAg/UFPB, v.6, n.1, p.7-11, 2002.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. Irrigação Princípios e Métodos, 3ª ed, Viçosa, MG, editora UFV, 2009, 355 p.
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. Irrigação por Aspersão em Hortaliças – Qualidade da Água, Aspectos do Sistema e Método Prático de Manejo, 2ª ed. Brasília, DF, editora Embrapa Informação Tecnológica, 2008, 150 p.
- MARQUES SILVA, P.A.; PEREIRA MAGELA, G.; REIS, R.; LIMA, L.A.; TAVEIRA, J.H. Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. Ciências Agrotécnicas, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1266-1271, 2008.
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das Agriculturas no Mundo – Do Neolítico à Crise Contemporânea, editora UNESP; Brasília, DF:NEAD, 2010, 568 p.
- MCCULLOCH, W.S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of Mathematical Biophysics, v. 5, p. 115-133, 1943.
- MOREIRA, I.V.D. Vocabulário Básico de Meio Ambiente, Fundação Estadual do Meio Ambiente – Rio de Janeiro, 4ª ed. Petrobrás- Serviço de Comunicação Social, 1992, 246 p.
- ORR, D.W. Prólogo. In: STONE, M.K.; BARLOW, Z. Ecological Literacy: Educating Our Children for a Sustainable World. Ed. Sierra Club Books, 2005, p. 9-11.
- PAZ, V.P.S.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; FOLEGATTI, M.V. Otimização do uso de água em sistemas de irrigação por aspersão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - AGRIAMBI, PB, DEAg/UFCG, v.6, n.3, p. 404-408, 2002.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, Planta e Atmosfera, Barueri, SP, editora Manole, 2008, 478 p.
- REIS, M.C. A água - importante componente dos seres vivos (para os mais jovens), 2003 In: <http://www.aguaonline.net/thematicarticle/content.php?id=24>. Acesso em: 02/12/2011.
- REZENDE, S.M. Apresentação. In: BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Livro Azul da 4ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável. Brasília, DF, MCT/ Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010, 104 p.
- RICH, E.; KNIGHT, K. A Inteligência Artificial. Editora Markon Books, 1988, 772 p.
- ROJAS, R. Neural Networks: A Systematic Introduction. Springer Verlag, 1996, 509 p.
- ROSS, M.H.; ROMRELL, L.J. Histologia – Texto e Atlas, 2ª ed. São Paulo, editora Medicina Panamericana Editora do Brasil, 1993, 779 p.

SANCHEZ, A.R.D.; DUARTE, W.S.; LIMA, V.N. Otimização da produção e renda de melão e melancia com restrições de água e nitrogênio. Irriga, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 1-9, 2010a.

SANCHEZ, A.R.D.; VENTURA, S.D.; CARVALHO, D.F.; SANTOS, R.D. Determinação de intervalos ótimos de irrigação utilizando a barreira logarítmica. Revista Brasileira de agricultura irrigada, v. 4, p. 128-138, 2010b.

SANCHEZ, A.R.D.; RODRIGUES PARGA P.C.; DO FORTE LEAL, V.; CARVALHO, D.F. O problema inverso de otimização na produção agrícola com restrições hídricas. Rev. Univ. Rural: Série Ciência Exatas e da Terra, Seropédica, RJ: EDUR, V. 26, n.1-2, p.01-11, 2007.

SANTOS, R.D. Modelagem matemática e experiência numérica na determinação de intervalos ótimos de irrigação. Monografia, UFRRJ, 2010, 54 p.

SCALOPPI, E.J. Sistemas de Irrigação Alternativos de Baixo Custo. Boletim Técnico, Botucatu, MG, editora Fepaf, 2011, 47 p.

SCHEID, F. Computação e Programação, Mc Graw Hill, 1984, 322 p.

SILVA, W.A. Modelagem matemática aplicada no planejamento da agricultura irrigada utilizando informações georeferenciadas. Tese Dout. Seropédica-RJ, UFRRJ, 2007, 98 p.

SLY, C.; STONE, M.K.; BROWN, K. Oak woodland learning activity: envisioning relationships in an ecosystem. Center for ecoliteracy. David Brower Center, Berkeley, CA, 2012, 38 p.

TRIGUEIRO, A. Prefácio. In: VEIGA, J.E.; ZATS, L. Desenvolvimento sustentável, que bicho é este? Campinas, SP, editora Autores Associados, 2008, n. p.

VEIGA, J.E.; ZATS, L. Desenvolvimento sustentável, que bicho é este? Campinas, SP, editora Autores Associados, 2008, n. p.

VEIGA, J.E. Reestruturação do Espaço Urbano e Regional no Brasil. In: LAVINAS, L.; CARLEIAL, L. M. F.; NABUCO, M.R.; ROLIM, C.F.C. org. São Paulo, editora Hucitec & ANPUR, 1993, 205 p.

VELLASCO, M.M.B.R. Redes Neurais Artificiais. Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada. Rio de Janeiro, RJ, PUC, 2007, 37 p.

VENTURA, S.D.; SANCHEZ DELGADO, A.R.; CARVALHO, D.F. experiência numérica na maximização da produção e receita agrícola do meloeiro e da alface americana. In: Anais do XLII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Bento Gonçalves, RS, SBPO, 2009.

WEIR, M.D. Cálculo (George B. Thomas Jr.), v. 1, 11ª ed., São Paulo, SP, editora Pearson Education Inc., sob selo Addison Wesley, 2009, 784 p.

ZULLO, J.J.; ASSAD, E.D.; SILVEIRA, H.P. Alterações devem deslocar culturas agrícolas. In: Scientific American Brasil, edição especial ambiente, v. 48. São Paulo, SP, editora Duetto, 2012, p. 70 - 75.

8 – GLOSSÁRIO

ADALINE - Acrônimo para neurônio linear: ADaptiveLINearElement.

Advecção - é a transmissão do calor por um movimento horizontal de massa de ar.

Aprendizagem – é o processo que, a partir dos resultados alcançados por uma decisão, valoriza ou não no futuro decisões semelhantes.

Biótico - Relativo aos seres vivos, ou induzido, ou causado por eles.

Biofilia – Afinidade com a vida, a terra, a água, o solo e o lugar.

Cromossomo - Unidade morfológica e fisiológica, visível ou não ao microscópio óptico, e que contém a informação genética. Cada espécie vegetal ou animal possui um número constante de cromossomos.

Decisão – é o processo que considerando as incertezas e as preferências, escolhe apenas uma ação dentre as diversas alternativas para o problema.

Dicotomia - Método de classificação em que cada uma das divisões e subdivisões não contém mais de dois termos.

Edafologia – o mesmo que pedologia

Fatores Estocásticos – fatores probabilísticos.

Fenótipo - Característica de um indivíduo, determinada pelo seu genótipo e pelas condições ambientais.

Filtro adaptativo – uma rede que contém atrasos e cujos pesos são ajustados a cada novo vetor de entrada apresentado. A rede se adapta as novas mudanças do sinal de entrada se elas ocorrerem.

Função multi-modal – Função que pode apresentar vários máximos e/ou mínimos locais e globais.

Gene - Unidade hereditária ou genética, situada no cromossomo, e que determina as características de um indivíduo; ou seja, unidade básica de informação..

Genótipo - O conjunto dos genes de um indivíduo.

Heurísticas – Algoritmos que não se tem certeza ou garantia da solução encontrada; normalmente tendem a encontrar uma solução ótima ser próximo desta.

Hiperplano – Em um espaço euclidiano a mais de três dimensões, o lugar geométrico dos pontos que obedecem a uma equação linear das coordenadas cartesianas.

Locus – posição específica do gene no cromossomo.

Neurônio – célula nervosa ou unidade funcional do sistema nervoso, responsável por receber informações e conduzi-las, como impulso para outras partes do sistema nervoso.

Pesos Sinápticos – Forças de conexão entre os neurônios; utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido.

Raciocínio – é o processo de inferências a partir de objetivos, fatos e conhecimentos visando obter possíveis ações. Ele está associado à previsão e ao planejamento.

Sinapse – Contatos especializados que transmitem as informações entre neurônios da cadeia.

SNC – Sistema Nervoso Central, constituído pelo encéfalo e medula espinhal, localizados na cavidade craniana e no canal vertebral.

SNP – Sistema Nervoso Periférico, constituído por nervos, gânglios e receptores é todo o tecido nervoso que não está no encéfalo e na medula espinhal.

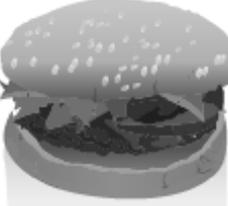
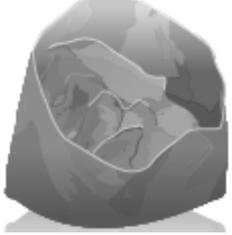
Sistema Nervoso – Constituído pelo SNC e SNP, composto por dois principais tipos de células: células nervosas (neurônios) e de sustentação (células da neuroglia, no SNP e células de Schwann e as células satélites dos gânglios, no SNC).

Pedologia - Ciência que estuda os solos; do grego “pedon” - solo ou terra

Pronaf - financia projetos individuais ou coletivos, que gerem renda aos agricultores familiares e assentados da reforma agrária a baixa taxa de juros.

9 – ANEXOS

ANEXO1 - Quantidade de água necessária para se produzir alimento.

 <p>Hamburguer – 2400 l.</p>	 <p>1 quilo de carne – 15000 l.</p>	 <p>Ovo – 135 l.</p>
 <p>Maça – 70 l.</p>	 <p>Fatia de Pão – 40 l.</p>	 <p>Pão com queijo – 90 l.</p>
 <p>xícara de chá – 35 l.</p>	 <p>Xícara de café - 140 l.</p>	 <p>Suco de maça – 190 l.</p>
 <p>Taça de vinho – 120 l.</p>	 <p>Copo de leite – 200 l.</p>	 <p>Copo de cerveja – 75 l.</p>
 <p>Saco batatas fritas – 185 l.</p>	 <p>Laranja – 50 l.</p>	 <p>1 kilo de trigo – 1500 l.</p>
	 <p>Batata – 25 l.</p>	 <p>Tomate – 13 l.</p>

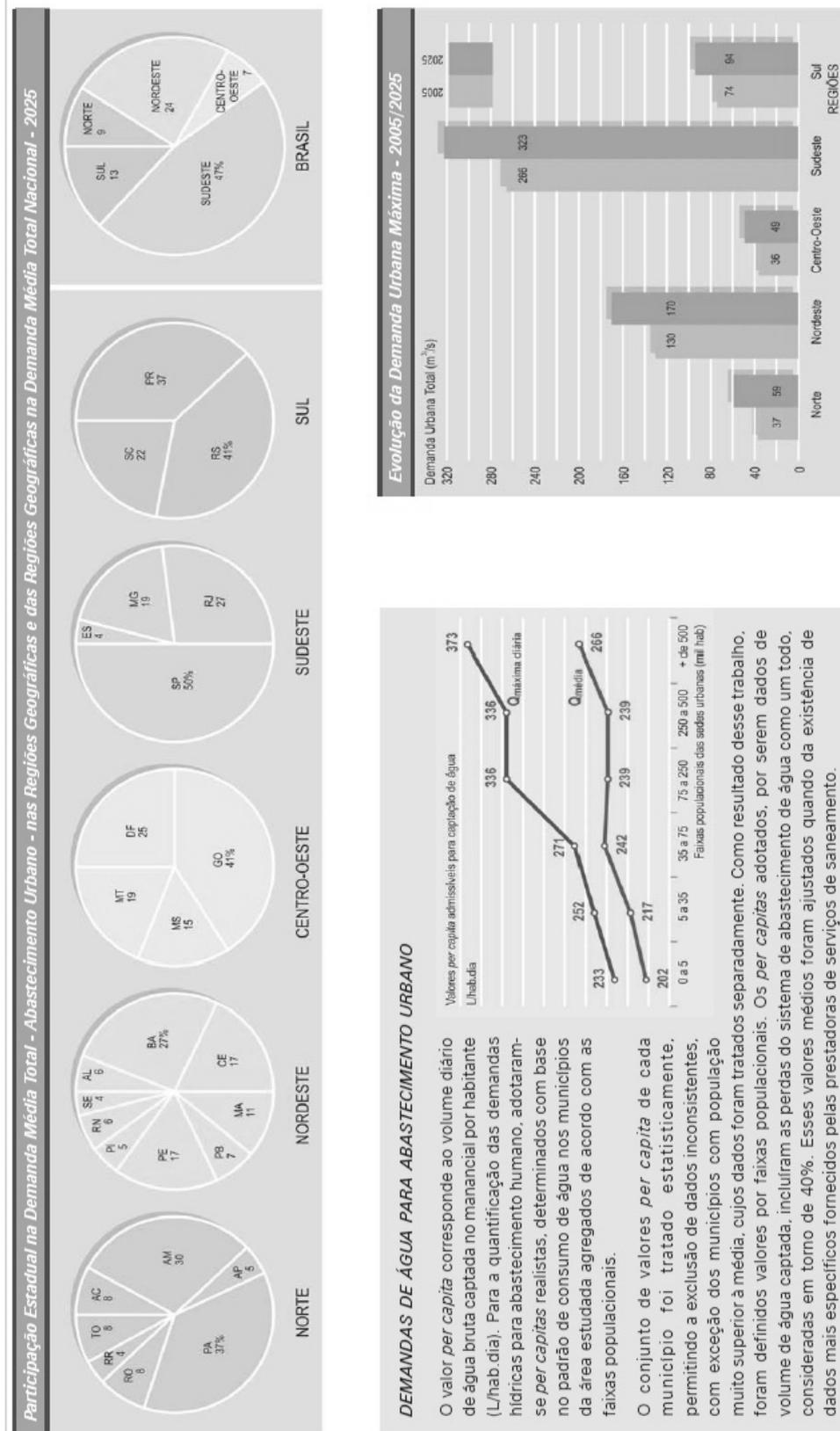
Fonte <http://www.fao.org/nr/water>

ANEXO 2 – Quadro comparativo de municípios por região

<i>ESTADOS E MUNICÍPIOS NA ABRANGÊNCIA DO ATLAS BRASIL</i>				
Região Geográfica	Área mil km ²	Unidade da Federação	Nº de Municípios	Total de Municípios
NORTE	3.870	Acre	22	449
		Amapá	16	
		Amazonas	62	
		Pará	143	
		Rondônia	52	
		Roraima	15	
		Tocantins	139	
NORDESTE	1.560	Alagoas	102	1.794
		Bahia	417	
		Ceará	184	
		Maranhão	217	
		Paraíba	223	
		Pernambuco	185	
		Piauí	224	
		Rio Grande do Norte	167	
Sergipe	75			
CENTRO-OESTE	1.610	Distrito Federal	1	466
		Goiás	246	
		Mato Grosso	141	
		Mato Grosso do Sul	78	
SUDESTE	927	Espírito Santo	78	1.668
		Minas Gerais	853	
		Rio de Janeiro	92	
		São Paulo	645	
SUL	577	Paraná	399	1.188
		Rio Grande do Sul	496	
		Santa Catarina	293	
BRASIL	8.544			5.565

Fonte: Atlas Brasil – Panorama Nacional – ANA, V.1, p.21, 2010

ANEXO 4 – Demanda de água por região e totalizado Brasil.



Fonte: Atlas Brasil – Panorama Nacional – ANA, V.1, p.26, 2010

Mapas de Risco Considerando o Aumento da Temperatura

Influência do clima na produção de café arábica no estado de Minas Gerais

A cultura do café no Brasil é um exemplo clássico da gravidade dos impactos dos fenômenos meteorológicos.

Influência do clima na produção de milho no Brasil

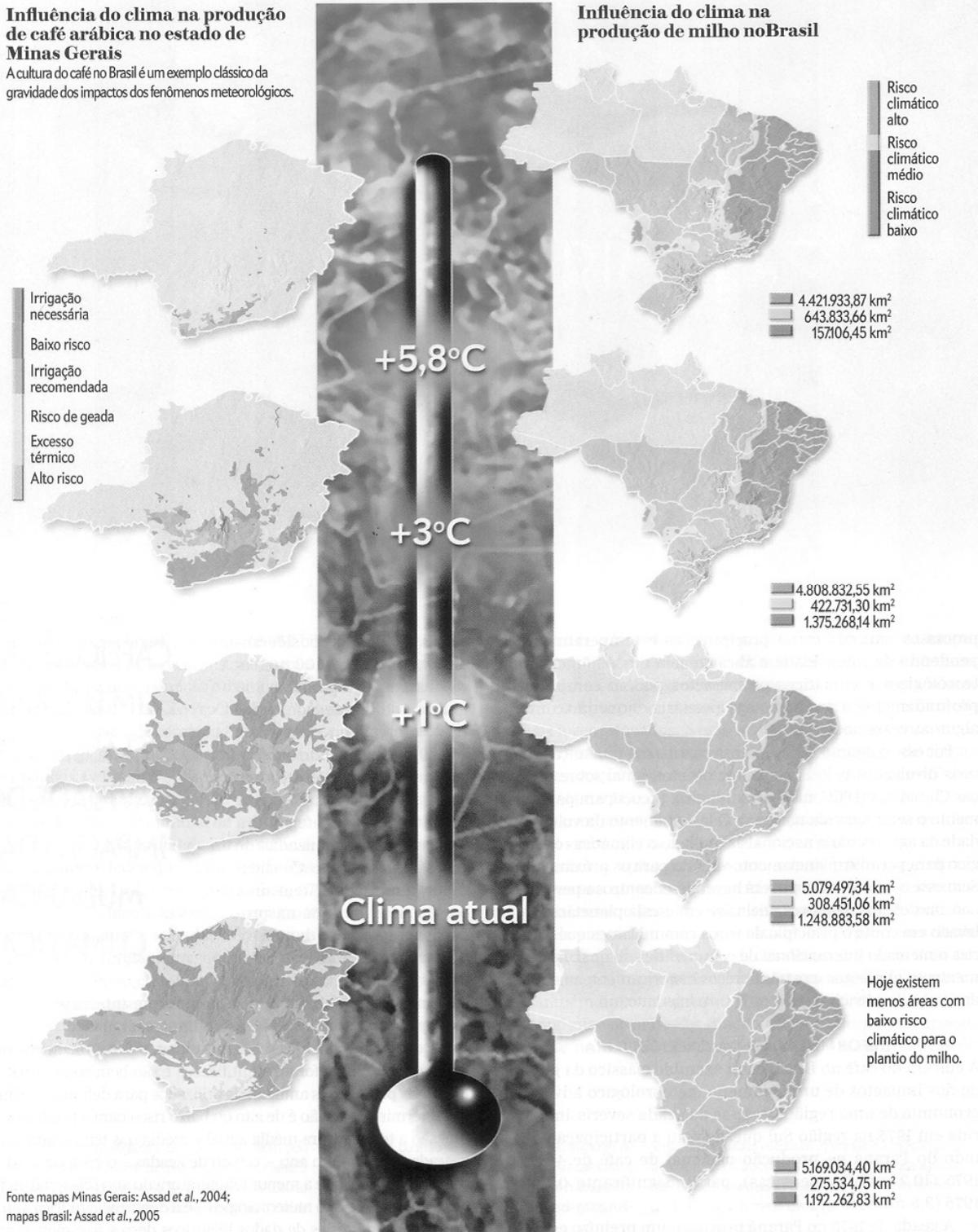


Figura 34 - Mapa de Risco - Café e Milho (fonte Scientific American Brasil p. 72)

ANEXO 6 – Modelos desenvolvidos para funções de produção. (Fonte Frizzone, 2005)

1) **De Wit** (1958)- desenvolveu um método para prever a produtividade das culturas a partir da água consumida.

Os primeiros experimentos foram conduzidos em vasos com o objetivo de identificar os fatores que determinam a relação transpiração-produção das culturas.

Encontrou uma relação linear entre a produção de matéria seca (MS) e a razão transpiração (T) / evaporação de tanque (Eo) para regiões áridas e semi-áridas como segue:

$$MS = m \left(\frac{T}{E_o} \right)$$

MS	– quantidade de matéria seca total acumulada	- (kg/vaso)
T	– transpiração total no mesmo período de tempo	- (kg/vaso)
Eo	– Evaporação média na estação de crescimento	- (mm/dia)
m	– Coeficiente de proporcionalidade	- (mm/dia)

O coeficiente m depende da disponibilidade de água do solo da espécie e variedade cultivada (valores típicos são: para sorgo 0,0252; trigo 0,0139 e alfafa 0,00662 mm/dia).

O valor de m no campo tem que ser reduzido em 10%.

Para regiões de clima temperado, sob condições não limitantes de água, a relação T/Eo não varia consideravelmente, de forma que a equação de MS pode ser reescrita como:

$$MS = nT$$

né dado em kg/kg e dependente da espécie vegetal.

Obs. n é o inverso da razão de transpiração $\frac{m}{E_o}$ denominada de eficiência de transpiração $\frac{MS}{T}$.

2) **Arkley** (1963) - postulou que a produção das culturas e a transpiração são relacionadas, mas a advecção pode afetar essa relação.

Analisando os mesmos fatores de DeWit foi introduzido um fator de correção climático para substituir Eo baseado na umidade relativa média mensal.

Ele também investigou a relação entre produção de matéria seca, transpiração e déficit de pressão de vapor.

Isso possibilitou combinar os resultados de produção e transpiração das áreas úmidas e áridas e ainda obter um alto coeficiente de correlação.

A equação proposta foi:

$$MS = \frac{KT}{(100-UR)} = 0,001 KT \left(\frac{e_o}{e_o - e_a} \right)$$

3) **Hanks** (1974) - utilizou a equação de DeWit e desenvolveu um modelo relacionado a transpiração relativa e produtividade relativa de matéria seca.

Considerou que para uma determinada cultura e época, os valores de m, K, UR, Eo, (e_o – e_a); são praticamente constantes sendo válida a relação:

$$\frac{MS}{MS_m} = \frac{T}{T_m}$$

MS	– produtividade de matéria seca
T	– transpiração acumulada durante o ciclo da cultura
MS _m	– produtividade de matéria seca máxima

T_m – transpiração máxima (quando não há restrição hídrica para a planta)

A equação acima assume que TR é constante e não afetada pela irrigação.

Tem-se demonstrado que a relação T/T_m é melhor que ET/ET_m como indicador das respostas relacionadas a fotossíntese e transpiração.

A transpiração relativa é um claro indicador das quantidades relativas de trocas gasosas (CO_2 e H_2O) que ocorrem na superfície das folhas através dos estômatos.

A utilização de valor relativo T/T_m ou ET/ET_m ao invés de T ou ET facilita a generalização dos modelos de função de produção permitindo um certo grau de transferibilidade das mesmas.

- 4) **Stewart et al (1977)** – o grupo mostra uma relação linear entre redução do rendimento das culturas e déficit estacional de evapotranspiração.

O coeficiente angular b de tal função é uma medida da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico, mas difere muito entre culturas e também entre variedades, sendo constante para uma dada variedade. Valores típicos de b são 2,34 – feijão; 1,26 – milho e 0,98 – sorgo, isso indica que o feijão é 85% mais sensível ao déficit de ET que o milho e este 25% mais sensível que o sorgo.

Embora a relação linear tenha representado bem a redução do rendimento relativo em função do déficit de evapotranspiração relativa, os autores destacam a necessidade de cuidados para a extrapolação de resultados.

$$\frac{Y}{Y_m} = 1 - \beta ET_d$$

Y – rendimento atual

Y_m – rendimento máximo

β – coeficiente angular da reta Y/Y_m versus ET_d (indicando a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico).

ET_d – déficit de evapotranspiração relativa $ET_d = 1 - \frac{ET}{ET_m} = \frac{ET_m - ET}{ET_m}$

Reescrevemos eq.9 como:

$$1 - \frac{Y}{Y_m} = \beta \left(1 - \frac{ET}{ET_m} \right) \quad (11)$$

$(1 - (Y/Y_m)) = (Y_m - Y)/Y_m$ – A redução do rendimento relativo.

$(1 - (ET/ET_m)) = (ET_m - ET)/ET_m$ – déficit de evapotranspiração relativa.

O problema no uso da eq. 11 deve-se a necessidade de determinar o valor de experimentos de campo.

Uma relação semelhante a eq. 11 foi proposta para a produção de matéria seca (Hanks-Ramussen 1982)

$$\frac{MS}{MS_m} = \left[1 - \beta^* \left(1 - \frac{ET}{ET_m} \right) \right] \quad (12)$$

β^* é o fator de proporcionalidade entre $(1 - (MS/MS_m))$ e $(1 - (ET/ET_m))$, indicando a partição de ET em E (evap. de água do solo) e T (transpiração).

Esses valores podem ser estimados pelas equações:

$$E = ET_m \left[1 - \left(\frac{1}{\beta^*} \right) \right] \quad (13) \quad \text{e} \quad T_m = \frac{ET_m}{\beta^*} \quad (14)$$

$\beta^* = 1$ significa que $E = 0$ e conseqüentemente $T_m = ET_m$

$\beta^* = 1,5$ tem-se $E = 0,33 ET_m$ e $T_m = 0,67 ET_m$

Os resultados obtidos por eqs. 11 e 12 são específicos para o método e o manejo de irrigação utilizado, sendo também influenciados pelo método de cálculo de ET_m .

- 5) **Doorenbos&Kassan** (1979) – Utilizaram o modelo de Stewart para desenvolver um método para estabelecer a relação entre água e rendimento das culturas.

Propuseram que o cálculo de Y_m fosse realizado pela aproximação de DeWit, modificada com alguns fatores de correção e o cálculo de ET_a e ET_m pelos métodos de Doorenbos e Pruitt.

Nesse modelo o efeito do suprimento de água sobre o rendimento das culturas é quantificado pelo fator de resposta da cultura

$$Ky = \frac{(1 - \frac{Y}{Y_m})}{(1 - \frac{ET}{ET_m})}$$

Um déficit hídrico pode ocorrer tanto de forma contínua durante todo o período de crescimento da cultura quanto de qualquer uma das fases específicas do crescimento: fase de estabelecimento, vegetativa, floração, formação da colheita e maturação.

Geralmente as culturas são mais sensíveis ao déficit hídrico durante a emergência, a floração e na fase inicial de formação da colheita, do que durante o período vegetativo, após o estabelecimento e maturação.

Isto mostra que a programação do momento de aplicação da água é tão importante quanto o nível de suprimento de água durante o período total de crescimento.

O planejamento do suprimento estacional deve considerar o fornecimento ótimo de água a cultura durante as fases do ciclo fenológico.

Em termo de manejo de água isto significa que para um suprimento hídrico limitado, a dotação de água deve atender as necessidades hídricas da cultura durante as fases mais sensíveis ao déficit hídrico, em vez de atender parcialmente as necessidades da cultura de maneira uniforme durante todo o período de crescimento.

Os valores de Ky para a maioria das culturas foram determinados supondo que a relação entre o rendimento relativo (Y/Y_m) e a evapotranspiração relativa (ET/ET_m) é linear e válida para um déficit hídrico de 50%, isto é,

$$\left(1 - \frac{ET}{ET_m}\right) = 0,5 \text{ (valores baseados em análise de dados experimentais)}$$

O conhecimento do déficit hídrico sobre o rendimento das culturas é importante para o planejamento da produção

- 6) **Para estádios fenológicos** – Os efeitos do deficit hídrico sobre o rendimento das culturas variam com a espécie e o estágio fenológico que ocorre. Existem estádios mais sensíveis que outros.

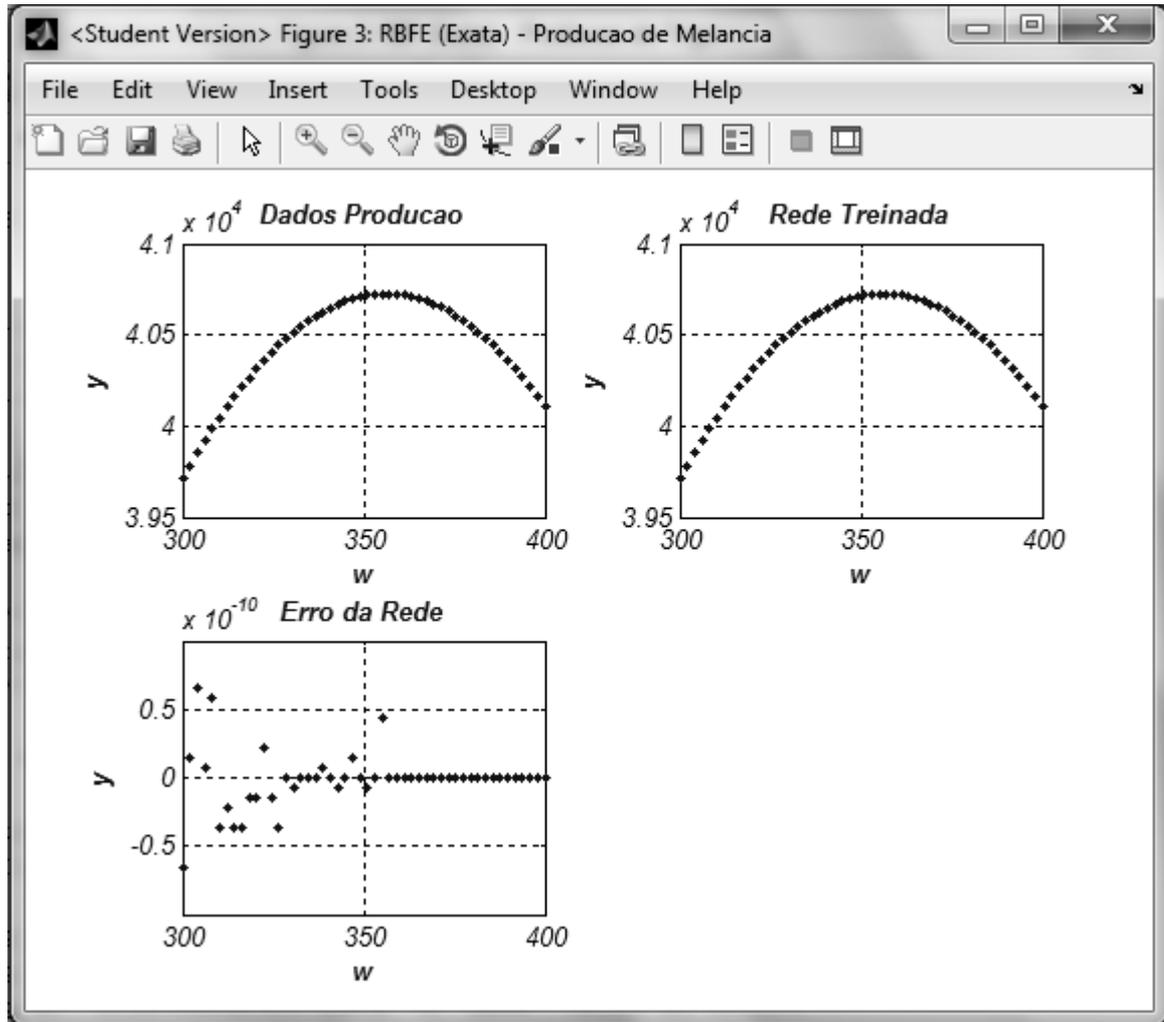
estádios - Fase, período, época, estação.

fenologia - Parte da botânica que estuda vários fenômenos periódicos das plantas, como a brotação, a floração e a frutificação, marcando-lhes as épocas e os caracteres. Estudo das relações dos processos biológicos periódicos com o clima.

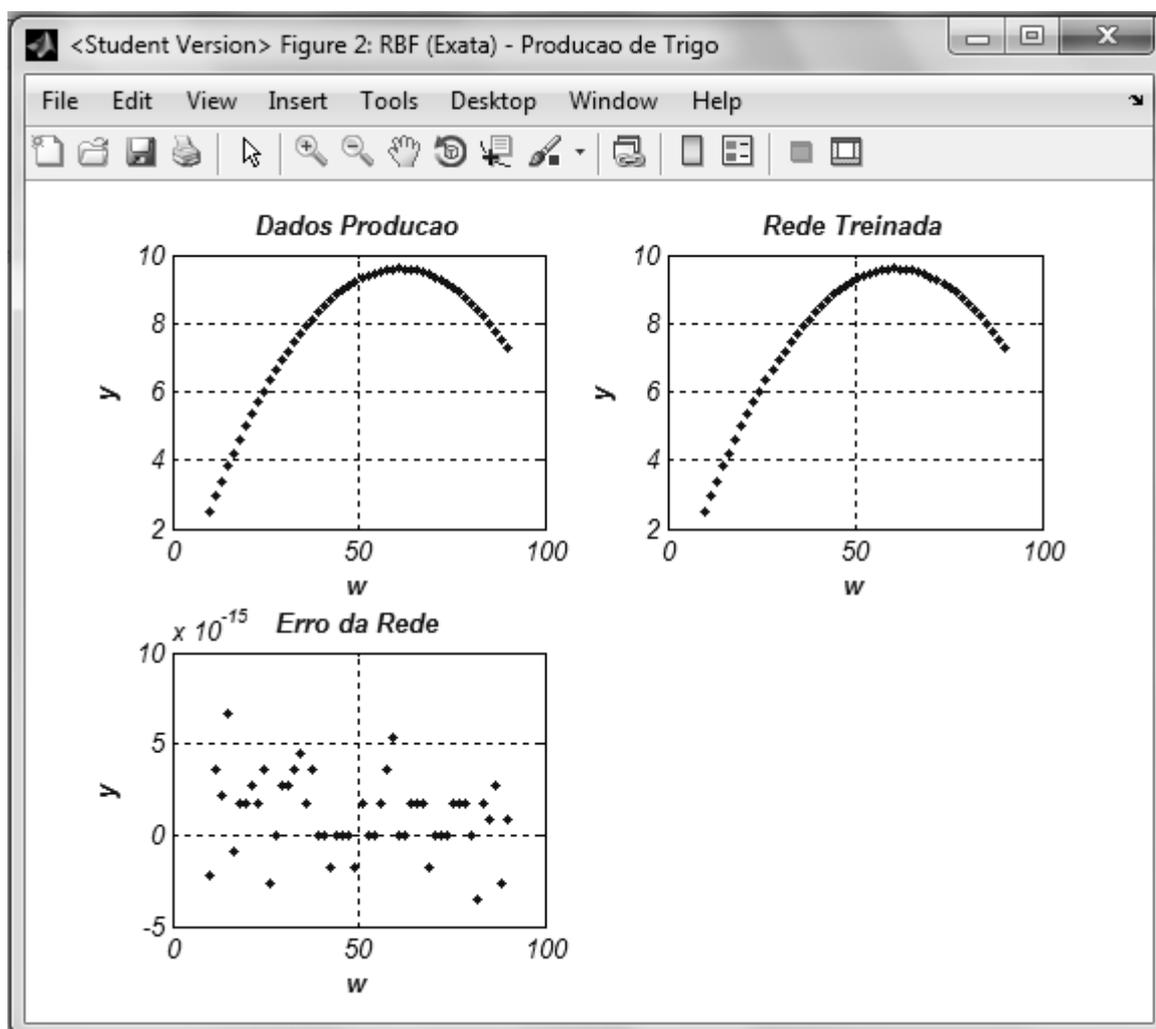
As culturas respondem negativamente ao déficit hídrico em determinado estágio fenológico; outras podem responder positivamente, aumentando o rendimento ou a qualidade do produto colhido (algodão, soja, abacaxi e cana).

A natureza da dependência entre estádios relativamente ao efeito do déficit ainda não foi claramente explicada.

ANEXO 7 – Aprendizagem da RNA para a função de produção da melancia



ANEXO 8 – Aprendizado da RNA para a função de produção de trigo



ANEXO 9 – Aprendizado da RNA para a função de produção do algodão

